

**SOLS ET PEDOGENESE
AU NIGER MERIDIONAL**

M. GAVAUD

Tome 1

**SOLS ET PEDOGENESE
AU NIGER MERIDIONAL**

M. GAVAUD

**O.R.S.T.O.M.
PARIS
1975**

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

CHAPITRE 1 - DESCRIPTION DU MILIEU NATUREL

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	3
1.1 Limites et organisation générale	3
1.11 Le Niger Occidental	4
1.12 Les bassins des Goulbi	6
1.13 La cuvette tchadienne	6
2. LE CLIMAT	8
2.1 Classifications	8
2.2 Les températures	10
2.3 Les précipitations	11
2.4 Etat hygrométrique de l'air	14
2.5 Les vents et les phénomènes associés	15
2.6 Les équilibres pluvio-thermiques et les indices d'aridité et de drainage	16
2.7 Ruissellement et érosion hydrique	18
2.8 Quelques effets du climat actuel sur la pédogenèse	20
2.9 Les climats anciens	22
3. GEOLOGIE	23
3.1 Structure générale	23
3.2 L'Ante-Birrimien	23
3.3 Le Dahomeyen	24
3.4 Le Suggarien	24
3.5 Le Birrimien	25
3.6 Le socle Pré-Cambrien du Niger central	27
3.7 L'Atacorien	27
3.8 Le Tarkwaien	28
3.9 Le Buem	28

3.10	L'Infra-Cambrien du Gourma	28
3.11	Le Voltaïen	29
3.12	L'Infra-Cambrien de la vallée du Niger	30
3.13	Le Crétacé	30
3.14	Le Paléocène et l'Eocène inférieur marin	32
3.15	Le Continental Terminal	33
3.16	La fin du Tertiaire et le Quaternaire	34
4. LE MODELE		36
5. LA VEGETATION		38
5.2	La Province Boréale Occidentale des formations steppiques et désertiques	39
5.3	La Province Boréale des forêts claires et des savanes boisées	42
5.4	La végétation des sols hydromorphes et halomorphes	45
5.5	Histoire des peuplements végétaux	46
6. L'UTILISATION DES SOLS		47
6.1	Les contraintes climatiques	47
6.2	Les contraintes édaphiques	49
6.3	Les cultures	50
6.4	L'élevage	53
6.5	Conclusion	53

CHAPITRE 2 - LE MANTEAU D'ALTERATION KAOLINIQUE

1. CARACTERES GENERAUX		57
2. LES KAOLINS SOUS CUIRASSE		59
2.1	Sur les granites calco-alcalins du Liptako	59
2.2	Sur schistes du Buem	64
3. LES KAOLINS SOUS ORES		65
3.1	Observations des géologues	65
3.2	Observations complémentaires	65
3.3	Données analytiques	66

4. ARENES ET CORTEX KAOLINIQUES DU NIGER ORIENTAL	67
4.1 Arènes sur granites calco-alcalins du Damagaram	68
4.2 Cortex d'altération sur granites alcalins	69
5. LES LACUNES DANS L'EXTENSION DU MANTEAU KAOLINIQUE	72
5.1 Les schistes et shales Birrimiens	72
5.2 Les schistes nigériens de Yassane	73
5.3 Les roches vertes Birrimiennes	73
5.4 Les grés crétacés	74
6. CONCLUSIONS	74
6.1 Nature du manteau kaolinique	74
6.2 Hypothèses sur le rôle du manteau dans l'évolution des sols et du modelé	75

CHAPITRE 3 - LA CUIRASSE SUPERIEURE

1. PHYSIOGRAPHIE	81
1.1 Caractères généraux	81
1.2 Localisation	82
1.3 Couverture pédologique et modelé	82
1.4 Histoire des sols et du modelé	85
1.5 Les facteurs d'évolution actuels sur les plateaux gréseux	87
2. ETUDE MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE	90
2.1 Etude morphologique	90
2.2 Etude micromorphologique	96
2.3 Analyses chimiques	117
2.4 Conclusions	119
3. LES SOLS REGIQUES A FACIES FERRUGINEUX DES PLATEAUX GRESEUX CUIRASSES	121
3.1 Morphologie	121
3.2 Propriétés analytiques	125
3.3 Conclusions	125

4. LES SOLS EVOLUES DES SITES DEPRIMES DES PLATEAUX	128
4.1 Les Sols ferrugineux lessivés à concrétions érodés de l'Ader Douchi	128
4.2 Les Sols Ferrugineux lessivés et/ou appauvris des grandes dépressions circulaires	129
4.3 Les Sols Ferrugineux peu lessivés des petites dépressions circulaires	129
4.4 Les Sols Ferrugineux rubéfiés des chanfreins des plateaux	130
4.5 Les Vertisols des dépressions circulaires de l'Ader Douchi	131
4.6 Conclusions	132
5. LES VARIATIONS DE LA PEDOGENESE SUR LA SURFACE SUPERIEURE	133
6. REFERENCES CARTOGRAPHIQUES	134

CHAPITRE 4 - LES CUIRASSES FERRUGINEUSES

1. PHYSIOGRAPHIE	139
1.1 Caractères généraux	139
1.2 Répartition et étagements régionaux	140
1.3 Couverture pédologique	146
2. ETUDE MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE	148
2.1 Caractères morphologiques de terrain	148
2.2 Caractères micromorphologiques	161
2.3 Analyses chimiques	178
2.4 Conclusions	180
3. LES CAILLOUTIS ET CONGLOMERATS FERRITISES	182
3.1 Les sites	183
3.2 Caractérisation morphologique et analytique	185
3.3 Conclusions	190
4. LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE MEUBLE DES CUIRASSES ET CONGLOMERATS	192
4.1 Les facteurs d'évolution externes actuels	192
4.2 Morphologie	194
4.3 Propriétés analytiques	204
4.4 Conclusions	205
5. LES VARIATIONS DE LA PEDOGENESE DES VERSANTS DE GLACIS CUIRASSES	207
6. REFERENCES CARTOGRAPHIQUES	209

CHAPITRE 5 - LES SOLS FERRALLITIQUES

1. PHYSIOGRAPHIE	213
1.1 Les sols rouges de Gaya	213
1.2 Les sols rouges du Samberra	216
1.3 Les sols rouges du bassin de la Tapoa	216
1.4 Les sols rouges fossiles des versants supérieurs	218
1.5 Conclusions	218
2. ETUDE MORPHOLOGIQUE	219
2.1 Les sols ferrallitiques et ferrugineux de Gaya	219
2.2 Les sols ferrugineux rouges du Samberra	225
2.3 Les sols rouges du bassin de la Tapoa	225
2.4 Conclusions	227
3. PROPRIETES ANALYTIQUES	228
4. CONCLUSIONS	231
4.1 Nature des sols rouge d'aspect ferrallitique	231
4.2 Classification	233
4.3 Répartition des sols ferrallitiques au Niger	234
5. REFERENCES CARTOGRAPHIQUES	235

CHAPITRE 6 - LES SOLS FERRUGINEUX OU APPAUVRIS INDURES OU LES TOPOSEQUENCES NON INDUREES SUR MATERIAUX KAOLINIQUES

1. LES FACTEURS DE FORMATION	239
1.1 Les matériaux	239
1.2 Le modelé	240
1.3 Pluviosité et facteurs biotiques	240
2. EVOLUTION GENERALE DES SOLS	244
3. LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES A CONCRETIONS SUR GRANITES DU NIGER OCCIDENTAL	248
3.1 Caractères locaux du modelé et de la répartition des sols	248
3.2 Etude morphologique	258
3.3 Etude analytique	258
3.4 Conclusions	259
4. LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES A PSEUDOGLEY SUR GRANITES DU NIGER CENTRAL	260
5. LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES-APPAUVRIS A CONCRETIONS SUR GRES ARGILEUX	262

5.1	Caractères locaux du modelé et de la répartition des sols	252
5.2	Etude morphologique	264
5.3	Propriétés analytiques	268
5.4	Les sols des dépressions de la surface supérieure	269
5.5	Conclusions	270
6.	LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES A CONCRETIONS ET LES SOLS FERRUGINEUX JEUNES SUR GRES ARGILEUX (Ct. 3)	271
6.1	Caractères locaux du modelé et de la répartition des sols	271
6.2	L'érosion des sols	274
6.3	Etude morphologique	276
6.34	Le passage des sols ferrugineux lessivés aux sols ferrugineux peu lessivés dunaires dans les vallées du Djermaganda	283
6.4	Etude analytique	287
6.5	L'évolution des sols ferrugineux des vallées sur grés	288
7.	LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES-APPAUVRIS HYDROMORPHES SUR GRES CRETACES	289
7.1	Caractères locaux du modelé et de la répartition des sols	289
7.2	Etude morphologique	290
7.3	Etude analytique	298
7.4	L'évolution des sols des glacis du continental hamadien	299
8.	LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES-APPAUVRIS HYDROMORPHES SUR ALLUVIONS ISSUS DE GRES (Ct. 3, Crétacé)	300
8.1	Caractères locaux du modelé et de la répartition des sols	300
8.2	Etude morphologique	301
8.3	Propriétés analytiques	302
9.	LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES-APPAUVRIS SUR GRES QUARTZITES	303
9.1	Les facteurs locaux d'évolution	303
9.2	Etude morphologique	304
9.3	Propriétés analytiques	308
10.	CONCLUSIONS	309
10.1	Nature et développement des sols ferrugineux lessivés-appauvris	309
10.2	Evolution	313
10.3	Classifications	314
11.	REFERENCES CARTOGRAPHIQUES	317

CHAPITRE 7 - LES SOLS BRUNS EUTROPHES, LES SOLS BRUNS
SUBARIDES DE GLACIS, LES VERTISOLS LITHOMORPHES OU LES
TOPOSEQUENCES SUR MATERIAUX A ARGILES GONFLANTES CALCIIQUES

1. GENERALITES	323
1.1 Définition de l'unité	323
1.2 Situation	324
1.3 Matériaux et roches-mères	324
1.4 Topographie	331
1.5 Erosion et régime hydrique	332
1.6 Répartition des argiles gonflantes dans les alluvions	333
1.7 Facteurs biotiques	335
1.8 Les grands types morphologiques et les toposéquences	338
2. ETUDE MORPHOLOGIQUE	343
2.1 Les sols regiques vertiques et les vertisols lithomorphes sur argiles sédimentaires de la zone sahélienne	343
2.2 Les sols bruns eutrophes et les vertisols lithomorphes sur roches ultra-basiques et sur schistes de la région soudanienne	350
2.3 Les sols subarides, bruns tirsifiés et brun-rouge de glacis, les vertisols lithomorphes et Topo-lithomorphes sur roches basiques du Birrimien	356
2.4 Les sols brun-rouge et bruns tirsifiés complexes, les vertisols topo-lithomorphes du Damagaram	371
3. ETUDE ANALYTIQUE	375
4. CONCLUSIONS	381
4.1 Développement des profils et principaux processus d'évolution	381
4.2 Les variations (toposéquences, âge, gradient pluviométrique)	381
4.3 Problèmes de classification	383
5. REFERENCES CARTOGRAPHIQUES	385

CHAPITRE 8 - LES SOLS RENDZINIFORMES, LES SOLS ALLUVIAUX
CALCIMORPHES, LES VERTISOLS CALCAIRES OU LES TOPOSEQUENCES
SUR MATERIAUX A ARGILES GONFLANTES CALCAIRES

1. DONNES GENERALES	391
1.1 Définitions	391
1.2 Modelés et matériaux	392
1.3 Facteurs biotiques	395

2. ETUDE DES SOLS	396
2.1 Les sols d'altération	396
2.11 Les para-rendzines noires	396
2.12 Les vertisols calcaires	399
2.2 Les sols sur matériaux d'apport	400
2.21 Les limons calcaires inactuels	400
2.22 Les sols alluviaux calcimorphes	400
2.23 Les vertisols topomorphes calcaires	404

3. CONCLUSIONS	409
3.1 Références cartographiques	411

CHAPITRE 9 - LES SOLS HALOMORPHES A STRUCTURE DEGRADEE OU
LES TOPOSEQUENCES SUR MATERIAUX A ARGILES GONFLANTES ALCALISEES

1. GENERALITES	415
1.1 Définition de l'unité	415
1.2 Situation	416
1.3 Roches-mères et matériaux	416
1.4 Le modelé	422
1.5 Les facteurs biotiques	425
1.6 Les grands types de sols et les toposéquences	426
2. ETUDE MORPHOLOGIQUE	431
2.1 Les sols ferrugineux lessivés	431
2.2 Les solonetz et les sols solonetziques	435
2.3 Les sols foncés de bas de toposéquence : bruns, bruns à alcali, vertisols à alcali	440
2.4 Les sols hydromorphes	445
2.5 Les sols sur matériaux complexes	447
3. PROPRIETES ANALYTIQUES	448
4. CONCLUSIONS	451
4.1 Les processus pédogénétiques et leur répartition	451
4.2 Histoire des sols	453
4.3 Classification des sols	454
5. REFERENCES CARTOGRAPHIQUES	456

CHAPITRE 10 - LES SOLS PEU EVOLUES HYDROMORPHES, LES SOLS
HYDROMORPHES LESSIVES-APPAUVRIS, LES SOLS A GLEY VERTIQUES
LES TOPOSEQUENCES SUR MATERIAUX A PHYLLITES POTASSIQUES

1. CARACTERES GENERAUX	459
1.1 Définition	459
1.2 Situation	460
1.3 Roches-mères et matériaux	460
1.4 Modelé et répartition des sols	461
1.5 Végétation, cultures	463
2. ETUDE MORPHOLOGIQUE	465
2.1 Les sols sur schistes d'Ydouban	465
2.2 Les sols sur schistes Birrimiens	476
3. CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES	477
4. CONCLUSIONS	481
4.1 Les processus d'évolution	431
4.2 Comparaison avec des toposéquences analogues	482
4.3 Histoire des sols	484
4.4 Classifications	484
5. REFERENCES CARTOGRAPHIQUES	485

CHAPITRE 11 - LES SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES ET LES
SOLS SUBARIDES BRUN-ROUGE OU LES TOPOSEQUENCES SUR
MATERIAUX SABLEUX

1. DEFINITIONS ET FACTEURS DE FORMATION	489
1.1 Présentation	489
1.2 Caractères généraux des sols sableux	490
1.21 La tradition pédologique en matière de sols sableux	490
1.22 Propriétés principales des sols sableux du Niger	492
1.221 Morphologie	493
1.222 Constitution minéralogique	500
1.223 Propriétés analytiques	500
1.224 Régime et bilan hydrique	508
1.23 Affinités pédologiques	515
1.3 Aspects physiques de la couverture sableuse	518
1.31 Les formes dunaires	518
1.32 Les plaines sableuses des dallols, goulbis et de la cuvette tchadienne	532
1.33 Recouvrements et remblais à sols sablo-argileux	556
1.34 Stratigraphie	573
1.35 Conclusions	576

1.4	Constitutions des matériaux	580
1.41	Classification	580
1.42	Le plasma minéral	584
1.43	Le squelette	587
1.5	Les facteurs biotiques	591
1.51	La végétation	591
1.52	Les zoomorphoses	617
1.53	Effets de l'utilisation	619
1.54	Conclusions	625
1.6	Conclusions	627
1.61	Nature et genèse des toposéquences à sols ferrugineux et brun-rouge sur matériaux sableux	627
1.62	Les grandes familles de sols sableux	632
2.	CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE	639
2.1	Les sols ferrugineux peu lessivés à lessivés (F.3)	639
2.11	Les toposéquences méridionales (ferrugineux au sens strict)	639
2.12	Les toposéquences septentrionales (sols brun-rouge)	663
2.13	Situation et principales caractéristiques des sols ferrugineux peu lessivés à lessivés	698
2.14	Références cartographiques	703
2.2	Les sols ferrugineux peu lessivés et leur faciès brun rouge	705
2.21	Présentation	705
2.22	Les toposéquences des vallées ensablées sur grès du Niger Moyen	706
2.222	Les toposéquences dans la zone moyenne (400-750 mm)	707
2.223	Les toposéquences dans la zone-sud (750-875 mm)	716
2.224	Les toposéquences dans la zone nord (moins de 400 mm)	719
2.225	Conclusions	721
2.226	Un ensemble analogue : la série de Dan Gona	723
2.23	Les toposéquences ne contenant que des sols bien drainés et rubéfiés	724
2.231	Série des dunes des plateaux du Moyen Niger	724
2.232	Les sols des glacis gréseux ceinturant la Korama (Bandé)	726
2.233	La série de Madaroumfa	728
2.234	Les sols des dunes basses des plateaux du sidérolithique	731
2.235	Caractéristiques communes aux séries rubéfiées bien drainées	734
2.24	Les toposéquences ne renfermant que des sols rubéfiés à raies	736
2.241	Les sols des ensablements très aplanis de Maradi	736
2.242	Les sols à faciès brun-rouge de la région de Dakoro	746
2.244	Les sols brun-rouge de Chinielga	754
2.245	Caractéristiques des séries rubéfiées à raies	757
2.25	Les séries rubéfiées des dunes d'obstacle	759
2.251	Dunes d'obstacle du Koutous	760
2.252	Dunes d'obstacle du Damagaram	761
2.253	Ensablements des chaos granitiques de Zinder	762

2.254	La série de Koukalata	764
2.255	Observations diverses	765
2.256	Conclusions	765
2.26	Toposéquences à majorité de séries rubéfiées à raies et/ou à action de nappe de profondeur	766
2.261	Toposéquences des ensablements recouvrant les bas glacis des granites du Liptako	766
2.262	Séquences du remblai du Kadzel (terrasse de Difa)	782
2.263	Les sols ferrugineux du remblai du Goulbi de Maradi	792
2.264	La série de Souloulou	798
2.265	Les sols brun-rouge du remblai éolisé des Maggia	800
2.266	Conclusions	801
2.27	Toposéquences à minorité de sols rubéfiés et à majorité de sols moins bien drainés (horizons B 7,5 YR et 10 YR) souvent à ségrégations, concrétions, raies	804
2.271	Les sols ferrugineux peu lessivés des interfluves de la dépression de Dosso	804
2.272	Les sols ferrugineux peu lessivés à concrétions de la série de Koutoumbou	807
2.273	La série d'Ajekoria	812
2.274	Les toposéquences à sols à horizons B discontinus et/ou à horizons éluviaux très épais	816
	2.2741 Série de Tagae	817
	2.2742 Série de Belbedji	818
	2.2743 Série de Samia Andi	819
	2.2744 Conclusions	822
2.275	Les séries à horizon B discontinu très décoloré (Zouzourma et Gayakoli)	822
2.276	Les effets maxima de la réduction du drainage dans la famille 2	826
2.28	Toposéquences des aires à massifs dumaïres longitudinaux du Niger oriental et central	830
2.29	Toposéquences des aires à massifs dumaïres longitudinaux du Niger occidental	843
2.210	Les toposéquences à sols subarides brun-rouge des massifs d'ondulations dumaïres réticulées	850
2.211	Principales caractéristiques des sols ferrugineux peu lessivés et de leurs faciès subarides (F.2)	858
	2.2111 L'organisation du profil	858
	2.2102 Les toposéquences, effets des variations du drainage local	861
	2.2103 Les effets du drainage général : nature et extension relative des séries	862
	2.2104 Un héritage des sols fossiles : la fertilité potentielle	863
	2.2106 Le choix des terrains de cultures et ses conséquences	865
	2.2107 Références cartographiques	866
2.3	Les sols ferrugineux peu lessivés à non lessivés et leurs faciès subarides (F.1)	870
2.31	Les toposéquences à majorité de sols bien drainés et/ou rubéfiés	870
	2.311 Les sols des cordons longitudinaux	870

2.312	Les sols des grands massifs de dunes transversales	874
2.313	Observations diverses	881
2.314	Les sols rajeunis et les sols anthropiques	885
2.32	Les séries à raies	387
2.33	Les toposéquences à sols à action de nappe et/ou brunis constants et étendus : les sols des plaines sableuses du Mangao au bassin de la Korama	890
2.34	Les toposéquences à sols à action de nappe : les sols des niveaux T.3 des Dallols	906
2.35	Principales caractéristiques des sols ferrugineux non lessivés à peu lessivés et de leurs faciès subarides	915
2.351	Le profil	915
2.352	La toposéquence	917
2.353	Le drainage général	917
2.354	L'héritage du substrat	917
2.355	Les variations en latitude	918
2.356	Le choix des terrains de culture	918
2.36	Références cartographiques	919

E. CLASSIFICATION REGIONALE 921

3.1	Critères	921
3.2	Nomenclature des séries les plus importantes	926

CHAPITRE 12 - LES SOLS LES MOINS DIFFERENCIÉS SUR MATERIAUX SABLEUX : SOLS BRUNS ET SOLS ÉVOLUANT VERS LES SOLS FERRUGINEUX

1.	PRESENTATION	937
2.	LES SOLS BRUNS DES MARGES PERILACUSTRES	939
2.1	Modèle	939
2.2	Facteurs biotiques	943
2.3	Les sols Eoliens et les sols à croûtes organiques	943
2.4	Les sols A-C bruns	945
2.5	Les sols bruns du remblai du Kadzel	948
2.6	Résumé	949
3.	LES SOLS BRUNS DES CORDONS DE VALLÉES	950
4.	LES SOLS BRUNS À CARACTÈRES HYDROMORPHES HÉRITÉS ET LES SOLS ÉVOLUANT VERS LES SOLS FERRUGINEUX DES NIVEAUX T.2 DES GOULBI	951
5.	LES SOLS BRUNS À CARACTÈRES HYDROMORPHES HÉRITÉS ET LES SOLS ÉVOLUANT VERS LES SOLS FERRUGINEUX DES NIVEAUX T.2 DES DALLOLS	957
6.	CONCLUSIONS	964
6.1	Évolution récente et subactuelle de matériaux très sableux	964
6.2	Le régime hydrique, facteur décisif d'utilisation	967
6.3	Références cartographiques	968

CHAPITRE 13 - LES SOLS HYDROMORPHES, LES SOLS ALLUVIAUX,
 LES VERTISOLS TOPOMORPHES ET LES SOLS SALES PAR
 L'EVAPORATION D'UNE NAPPE

1. DONNÉES GÉNÉRALES

1.1	Définitions	973
1.2	L'hydromorphie dans les sols du Niger et sa classification	976
1.3	Les sites de l'hydromorphie	980
1.4	Les modes d'engorgement	982
1.5	Végétation et utilisation	984

2. ETUDE DES SOLS

2.1	Les sols hydromorphes minéraux à gley et pseudogley de surface ou d'ensemble, encore régulièrement inondés	987
2.11	Les sols hydromorphes du lit majeur du Niger	987
2.12	Les sols hydromorphes du lit majeur du Gorouol	997
2.13	Sites divers	1007
2.2	Les sols hydromorphes minéraux généralement à pseudogley de surface, les sols peu évolués d'apport mal drainés, parfois alcalisés, irrégulièrement inondés par épandage des régions sahéliennes	1012
2.21	Les alluvions argileuses vertiques	1012
2.211	Vertisols et sols à alcali bruns de l'Azaouak	1012
2.212	Vertisols topomorphes des plaines argileuses du Damergou	1016
2.22	Les alluvions complexes à action de nappe étendue mais inactuelle en tout ou partie	1017
2.221	Les vertisols topomorphes, les sols peu évolués d'apport bruns et mal drainés, les sols hydromorphes et halomorphes des alluvions du Kadzel	1017
2.222	Les vertisols topomorphes, les sols à encroûtement calcaire de nappe, les sols à alcali non lessivés des dépôts de colmatage du sud-ouest de la cuvette tchadienne (Dungass-Halwa)	1027
2.3	Les sols hydromorphes et halomorphes de nappe	1032
2.31	Les sols gley et pseudogley de profondeur ou d'ensemble, les sols salins, les sols à alcali non lessivés des dépressions des sables de la cuvette tchadienne	1032
2.32	Les sols à gley d'ensemble ou de surface et les sols salins des rives du lac Tchad	1052
2.33	Les sols à gley et pseudogley de profondeur ou d'ensemble, les sols salins, les sols à alcali des Dallols	1058

3. CONCLUSIONS

3.1	L'hydromorphie d'origine externe et l'halomorphie des matériaux récents	1067
3.11	Les effets pédogénétiques des divers modes d'engorgement	1067

3.12	Les types principaux de sols hydromorphes et halomorphes	1072
3.2	Tableau général de l'hydromorphie dans les sols du Niger	1075
3.3	Références cartographiques	1079

CHAPITRE 14 - LES ETAPES DE L'EVOLUTION DES SOLS DU NIGER MERIDIONAL

1.	ESQUISSE DE L'HISTOIRE DES SOLS	1084
2.	L'ACQUIS A L'OREE du QUATERNAIRE	1085
2.1	Les montinsules du Moumio	1085
2.2	Le catamorphisme des roches basiques Birrimiennes	1085
2.3	Le manteau d'altération Paléocène et les grès Tertiaires	1086
2.4	La cuirasse supérieure	1087
3.	LA PREMIERE PERIODE DE PEDOGENESE, A SOLS FERRUGINEUX LESSIVES INDURES	1088
3.1	Les cuirasses ferrugineuses du haut modelé (M.I)	1088
3.2	Les sols ferrugineux lessivés à concrétions et cuirasse du bas-modelé	1090
4.	LA SECONDE PERIODE DE PEDOGENESE	
4.1	Les sols litho-dépendants des bas-glacis nus	1092
4.11	Les toposéquences à sols ferrugineux lessivés à taches et concrétions et à sols hydromorphes lessivés et acides	1093
4.12	Les toposéquences à sols ferrugineux lessivés, à solonetz, à argiles noires	1094
4.13	Les toposéquences à argiles noires calciques	1096
4.14	Les toposéquences à sols calcimorphes	1097
4.15	Les toposéquences à sols hydromorphes lessivés	1097
4.2	Les sols ferrugineux dystrophes	1099
5.	LA TROISIEME PERIODE DE PEDOGENESE A SOLS BRUNS ET A SOLS HYDROMORPHES	1102
5.1	Les sols bruns	1102
5.2	Les sols hydromorphes et les sols halomorphes	1103
5.3	Les transformations actuelles des sols bien drainés	1104
5.4	Le déséquilibre entre les sols et la végétation et ses conséquences	1106

ANNEXES

1	Description de la structure des sols sur le terrain	3
2	Courbes de répartition de la matière organique en fonction de la profondeur	10
3	Calculs élémentaires concernant le lessivage	14
4	Granulométrie des sables	18
5	Morphoscopie des sables	71
6	Fractionnement de la matière organique de sols du Niger	96
7	Extrait de la classification des sols de G. AUBERT (1965)	100
8	Méthodes d'analyses chimiques et physiques des échantillons de sols	109
9	Nomenclature des horizons du sol	113

REPERTOIRES

I	Liste des planches
II	Liste des tableaux
III	Bibliographie

I N T R O D U C T I O N

Le mémoire rassemble et coordonne les données recueillies lors des cartographies prévues dans le cadre général du programme d'études pédologiques établi en 1961 par la mission BURGEAT. Les travaux firent l'objet d'une convention principale entre le Ministre de l'Economie Rurale de la République du Niger et le Directeur Général de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer pour une reconnaissance à petite échelle et de conventions secondaires pour des études de détail. Couvrant la totalité du Niger méridional, ils avaient pour but de "définir les types de sols, les possibilités agronomiques de chacun de ces types, l'ordre de grandeur de la superficie de chacun". Divisés en trois tranches successives d'est en ouest, ils furent exécutés de novembre 1961 à mars 1967 par G. BOCQUIER (1961-1962), R. BOULET (1962-1964), M. GAVAUD (1961-1967), pédologues O.R.S.T.O.M. Ils sont exposés dans les ouvrages suivants :

- ✓ - carte pédologique de reconnaissance de la République du Niger au 1/500 000, feuilles Zinder, Maradi, Niamey, accompagnée d'un texte explicatif en cinq tomes;
- ✓ - carte pédologique de l'Ader-Douchi au 1/100 000 avec rapport;
- ✓ - carte pédologique des périmètres de Keita, Adouna, Taboyé au 1/5 000 avec rapport;
- ✓ - carte pédologique du bassin du Gorouol-Beli au 1/50 000 et au 1/100 000 avec rapport.

Dans cette synthèse du premier inventaire des sols du Niger méridional, on rétablit l'unité de conception rompue par l'échelonnement des travaux et on intègre les améliorations dans la connaissance des sols ou de leur genèse dues à cette prospection systématique, à des examens de laboratoire complémentaires, à des recherches menées dans d'autres parties de l'Afrique de l'ouest. Par son origine cartographique, par les

méthodes de prospection extensive employées, par les caractères mêmes de la répartition des sols du Niger, cet ouvrage est orienté surtout vers la géographie des sols. L'unité d'exposition est un paysage cartographiable à petite échelle dont les éléments topographiques sont couverts de la même succession de sols ou de successions apparentées. Il lui correspond la même combinaison de processus ou mécanismes pédogénétiques étendue à cet élément topographique élémentaire. Au Niger, de tels ensembles se sont succédés dans le temps dans un ordre bien déterminé, ce qui leur vaut des modèles spécifiques, des limites bien tranchées.

A l'intérieur de chacun, les substrats sont minéralogiquement apparentés, la végétation et l'utilisation bien définies. Un type pédologique y est toujours spécialement développé, sinon dominant et son apparition est liée à celle du modèle. En décrivant successivement chacune de ces unités autonomes, on parcourt à la fois les paysages les plus caractéristiques du Niger, les étapes les plus importantes de son histoire, finalement les chapitres essentiels de la Classification des sols de cette zone climatique.

Chapitre Premier

**D E S C R I P T I O N D U
M I L I E U N A T U R E L**

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

1.1 LIMITES ET ORGANISATION GENERALE

La carte pédologique de reconnaissance du Niger méridional s'étend à toute la zone suffisamment pluvieuse pour être cultivée et à la frange méridionale des pâturages sahéliens. Elle est limitée au nord par les isohyètes 250mm dans sa partie orientale et 350mm dans ses parties centrale et occidentale, au sud par la frontière de Nigéria (650mm) et du Dahomey (875mm), à l'ouest par la frontière de Haute-Volta, au nord-ouest par la frontière du Mali. Elle forme une bande de 255.000km² très étirée en longitude de 0°30'E à 13°E mais plus resserrée en latitude de 12°N à 15°N.

D'ouest en est, elle s'organise en trois bassins :

- le Niger occidental ou bassin du Moyen Niger, sur grès du Continental Terminal; il est limité à l'ouest par un versant sur le socle Pré et Infra-Cambrien, à l'est par la cuesta de l'Ader Douchi;
- le Niger central, ou bassin des Goulbi (Y.URVOY, 1942) sur Crétacé continental et marin;

- le Niger oriental ou bassin de la cuvette tchadienne séparé du précédent par une série de petits massifs de collines gréseuses et cristallines.

Du nord au sud, elle est traversée par trois zones climatiques successives, ayant chacune un contenu pédologique distinct :

- le sahel, à moins de 350 mm ou 450 mm de pluies; le paysage est généralement formé de glacis très mous, fortement ensablés, à reliefs résiduels peu nombreux; il est couvert de steppes d'épineux ou herbeux, pâturés, parfois cultivés en millet; la couverture pédologique est constituée de Sols ou de Faciès Subarides, la plupart dunaires, quelques-uns autochtones et alors diversement argileux;
- la zone soudanienne nord, jusqu'à 750 ou 800 mm de pluies; les glacis sont très souvent dominés des restes étagés de vieux modelés cuirassés; de larges fenêtres s'ouvrent dans la couverture dunaire ancienne; des savanes, arborées ou boisées ont été créées par la culture extensive du millet, du sorgho, de l'arachide; les Sols Ferrugineux Peu Lessivés ou Lessivés, dominent;
- la zone soudanienne sud. les glacis fonctionnels sont eux-mêmes concrétionnés, cuirassés ou gravillonnaires; la couverture dunaire n'est plus représentée que par quelques édifices isolés aux pieds de reliefs; elle est souvent peu peuplée et des îlots de forêts claires y ont été conservés; les Sols Ferrugineux Lessivés sont souvent exclusifs; les premiers Sols Faiblement Ferrallitiques y font leur apparition.

1.11

Le Niger occidental

Il est drainé par le Niger dont seuls les affluents de rive droite, sur le socle (Gorouol, Dargol, Goroubi, Dyamangou, Tapoa) ont encore une alimentation saisonnière. Les affluents de rive gauche, les Dallol Bosso et Maouri, largement ouverts dans les grès, sont ensablés et ne connaissent plus qu'un écoulement phréatique.

Le cœur du bassin est l'immense cuvette cuirassée des grès du Moyen Niger, découpée en plateaux tabulaires par des vallées sèches aux sols sableux rouges.

Le Djermaganda en est la partie sahélienne, très déblayée, aux sols très érodés. L'Arewa, ou dépression de Dosso, doit à sa situation de n'avoir été que fort peu incisé et d'être remblayé de sables aux sols jaunâtres moins bien drainés. Le Samberra est à la limite de la zone soudanienne sud. Des sites déserts, des sols revivifiés, témoignent d'une population jadis plus dense. Tout au sud le Dendi, ou région de Gaya, près du fleuve, offre un paysage plus amène de cultures variées avec des restes de savanes boisées ou de forêts claires.

Une première cuesta discontinue sépare au nord et à l'est les plateaux du Moyen Niger d'une auréole déprimée de glacis très mous creusés dans un faciès plus argileux du Continental Terminal. Les sols, autochtones ou dunaires, sont très pauvres et acides. La brousse arbustive qui les recouvre, du canton d'Anzourou à celui d'Illela, est presque déserte. Les grès sidérolithiques de la base du Continental Terminal en émergent sur une ligne méridienne située à 5°E et se relèvent fortement vers l'est jusqu'à 6°E où ils sont brusquement interrompus par un escarpement dominant le bassin des Goulbi. Cet entablement ferrugineux est profondément creusé par les vallées de l'Ador Douchi et de la Maggia. Leurs alluvions et leurs versants, atteignant les marnocalcaires et les argilites à phosphates de l'Eocène et du Meestrichtien, portent des sols très riches qui ont fixé une population relativement dense.

La bordure occidentale, sur socle, est formée successivement, du nord au sud :

- du Gourma, pays de glacis schisteux, sans eau et sans sols en dehors des dunes, recouvert d'une brousse épineuse impénétrable;
- du Liptako nord (Tera) aux glacis argileux incultes partiellement fossilisés de massifs dunaires longitudinaux aux sols de bonne qualité;
- du Liptako sud (Torodi) hérissé de buttes tabulaires cuirassées, où la vie se concentre aux abords des vallées;
- du canton de Tamou presque entièrement couvert de sols gravillonnaires où les seuls sites cultivables étaient, avant que ne fût constituée la réserve du W, les remblais, très ravinés, de la Tapoa et de la Mekrou.

Le mémoire rassemble et coordonne les données recueillies lors des cartographies prévues dans le cadre général du programme d'études pédologiques établi en 1961 par la mission BURGEAT. Les travaux firent l'objet d'une convention principale entre le Ministre de l'Economie Rurale de la République du Niger et le Directeur Général de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer pour une reconnaissance à petite échelle et de conventions secondaires pour des études de détail. Couvrant la totalité du Niger méridional, ils avaient pour but de "définir les types de sols, les possibilités agronomiques de chacun de ces types, l'ordre de grandeur de la superficie de chacun". Divisés en trois tranches successives d'est en ouest, ils furent exécutés de novembre 1961 à mars 1967 par G.BOCQUIER (1961-1962), R.BOULET (1962-1964), M. GAVAUD (1961-1967), pédologues O.R.S.T.O.M. Ils sont exposés dans les ouvrages suivants :

- carte pédologique de reconnaissance de la République du Niger au 1/500 000, feuilles Zinder, Maradi, Niamey, accompagnée d'un texte explicatif en cinq tomes;
- carte pédologique de l'Ader-Douchi au 1/100 000 avec rapport;
- carte pédologique des périmètres de Keita, Adoune, Taboyé au 1/5 000, avec rapport;
- carte pédologique du bassin du Gorouol-Beli au 1/50 000 et au 1/100 000 avec rapport.

Dans cette synthèse du premier inventaire des sols du Niger méridional, on rétablit l'unité de conception rompue par l'échelonnement des travaux et on intègre les améliorations dans la connaissance des sols ou de leur genèse dues à cette prospection systématique, à des examens de laboratoire complémentaires, à des recherches menées dans d'autres parties de l'Afrique de l'ouest. Par son origine cartographique, par les

méthodes de prospection extensive employées, par les caractères mêmes de la répartition des sols du Niger, cet ouvrage est orienté surtout vers la géographie des sols. L'unité d'exposition est un paysage cartographiable à petite échelle dont les éléments topographiques sont couverts de la même succession de sols ou de successions apparentées. Il lui correspond la même combinaison de processus ou mécanismes pédogénétiques étendue à cet élément topographique élémentaire. Au Niger, de tels ensembles se sont succédés dans le temps dans un ordre bien déterminé, ce qui leur vaut des modelés spécifiques, des limites bien tranchées.

A l'intérieur de chacun, les substrats sont minéralogiquement apparentés, la végétation et l'utilisation bien définies. Un type pédologique y est toujours spécialement développé, sinon dominant et son apparition est liée à celle du modelé. En décrivant successivement chacune de ces unités autonomes, on parcourt à la fois les paysages les plus caractéristiques du Niger, les étapes les plus importantes de son histoire, finalement les chapitres essentiels de la Classification des sols de cette zone climatique.

Chapitre Premier

**D E S C R I P T I O N D U
M I L I E U N A T U R E L**

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

1.1 LIMITES ET ORGANISATION GENERALE

La carte pédologique de reconnaissance du Niger méridional s'étend à toute la zone suffisamment pluvieuse pour être cultivée et à la frange méridionale des pâturages sahéliens. Elle est limitée au nord par les isohyètes 250mm dans sa partie orientale et 350mm dans ses parties centrale et occidentale, au sud par la frontière de Nigéria (650mm) et du Dahomey (875mm), à l'ouest par la frontière de Haute-Volta, au nord-ouest par la frontière du Mali. Elle forme une bande de 255.000km² très étirée en longitude de 0°30'E à 13°E mais plus resserrée en latitude de 12°N à 15°N.

D'ouest en est, elle s'organise en trois bassins :

- le Niger occidental ou bassin du Moyen Niger, sur grès du Continental Terminal; il est limité à l'ouest par un versant sur le socle Pré et Infra-Cambrien, à l'est par la cuesta de l'Ader Douchi;
- le Niger central, ou bassin des Goulbi (Y.URVOY, 1942) sur Crétacé continental et marin;

- le Niger oriental ou bassin de la cuvette tchadienne séparé du précédent par une série de petits massifs de collines gréseuses et cristallines.

Du nord au sud, elle est traversée par trois zones climatiques successives, ayant chacune un contenu pédologique distinct :

- le sahel, à moins de 350 mm ou 450 mm de pluies; le paysage est généralement formé de glacis très mous, fortement ensablés, à reliefs résiduels peu nombreux; il est couvert de steppes d'épineux ou herbeux, pâturés, parfois cultivés en millet; la couverture pédologique est constituée de Sols ou de Faciès Subarides, la plupart dunaires, quelques-uns autochtones et alors diversement argileux;
- la zone soudanienne nord, jusqu'à 750 ou 800 mm de pluies; les glacis sont très souvent dominés des restes étagés de vieux modelés cuirassés; de larges fenêtres s'ouvrent dans la couverture dunaire ancienne; des savanes, arborées ou boisées ont été créées par la culture extensive du millet, du sorgho, de l'arachide; les Sols Ferrugineux Peu Lessivés ou Lessivés, dominent;
- la zone soudanienne sud. les glacis fonctionnels sont eux-mêmes concrétionnés, cuirassés ou gravillonnaires; la couverture dunaire n'est plus représentée que par quelques édifices isolés aux pieds de reliefs; elle est souvent peu peuplée et des îlots de forêts claires y ont été conservés; les Sols Ferrugineux Lessivés sont souvent exclusifs; les premiers Sols Faiblement Ferrallitiques y font leur apparition.

1.11

Le Niger occidental

Il est drainé par le Niger dont seuls les affluents de rive droite, sur le socle (Gorouol, Dargol, Goroubi, Dyamengou, Tapoa) ont encore une alimentation saisonnière. Les affluents de rive gauche, les Dallol Bosso et Maouri, largement ouverts dans les grès, sont ensablés et ne connaissent plus qu'un écoulement phréatique.

Le coeur du bassin est l'immense cuvette cuirassée des grès du Moyen Niger, découpée en plateaux tabulaires par des vallées sèches aux sols sableux rouges.

Le Djermaganda en est la partie sahélienne, très déblayée, aux sols très érodés. L'Arewa, ou dépression de Dosso, doit à sa situation de n'avoir été que fort peu incisé et d'être remblayé de sables aux sols jaunâtres moins bien drainés. Le Samberra est à la limite de la zone soudanienne sud. Des sites déserts, des sols ravinnés, témoignent d'une population jadis plus dense. Tout au sud le Dendi, ou région de Gaya, près du fleuve, offre un paysage plus amène de cultures variées avec des restes de savanes boisées ou de forêts claires.

Une première cuesta discontinue sépare au nord et à l'est les plateaux du Moyen Niger d'une auréole déprimée de glacis très mous creusés dans un faciès plus argileux du Continental Terminal. Les sols, autochtones ou dunaires, sont très pauvres et acides. La brousse arbustive qui les recouvre, du canton d'Anzourou à celui d'Illela, est presque déserte. Les grès sidérolithiques de la base du Continental Terminal en émergent sur une ligne méridienne située à 5°E et se relèvent fortement vers l'est jusqu'à 6°E où ils sont brusquement interrompus par un escarpement dominant le bassin des Goulbi. Cet entablement ferrugineux est profondément creusé par les vallées de l'Ader Douchi et de la Maggia. Leurs alluvions et leurs versants, atteignant les marnocalcaires et les argilites à phosphates de l'Eocène et du Méestrichtien, portent des sols très riches qui ont fixé une population relativement dense.

La bordure occidentale, sur socle, est formée successivement, du nord au sud :

- du Gourma, pays de glacis schisteux, sans eau et sans sols en dehors des dunes, recouvert d'une brousse épineuse impénétrable;
- du Liptako nord (Tera) aux glacis argileux incultes partiellement fossilisés de massifs dunaires longitudinaux aux sols de bonne qualité;
- du Liptako sud (Torodi) hérissé de buttes tabulaires cuirassées, où la vie se concentre aux abords des vallées;
- du canton de Tamou presque entièrement couvert de sols gravillonnaires où les seuls sites cultivables étaient, avant que ne fût constituée la réserve du W, les remblais, très ravinnés, de la Tapoa et de la Mekrou.

1.12

Les bassins des Goulbi

Les Goulbi de Tarka et N'Kabba sont des vallées sèches moins incisées que les Dallols, entièrement remblayées de sables à sols gris et bruns. La nappe phréatique trop profonde explique qu'elles soient moins cultivées et qu'elles servent surtout de voie de pénétration aux troupeaux nomades. Elles drainaient, vers le Niger, un ensemble très aplani de bas-glacis gréseux, depuis presque entièrement recouverts de dunes. Au nord-est les têtes du Goulbi de Tarka sont encore localement alimentées en eaux de ruissellement par les collines argileuses à bad-lands du Damergou, dominé par quelques reliefs tabulaires cuirassés. Au nord, des dunes réticulées à steppe de Commiphora recouvrent l'extrémité méridionale du "plateau" du Tegama. Au nord-ouest, elles sont remplacées par des ensablement plus puissants parcequ'adossés à la cuesta de l'Adér Douchi, à savane arborée de Sclerocarya, bien conservée parce que les puits y sont fort rares. C'est le "désert" des Mousgous.

Le sud a été fossilisé par des alluvions quaternaires dont les produits d'érosion ont finalement formé les plaines sableuses à sols rouges de Maradi, très densément cultivées. Le goulbi qui les traverse est encore fonctionnel. Ses alluvions fines et micacées, issues du socle cristallin de Nigéria, donnent les meilleures terres locales.

Au sud-ouest, les glacis du Gober doivent leur dénudation, leur végétation steppique, à ce qu'ils n'ont été que partiellement fossilisés de dunes et à des excès culturels anciens.

1.13

La cuvette tchadienne

Du sud-ouest au nord-est, la bordure en est formée par :

- l'auréole gréseuse centrée sur le massif de buttes cuirassées tabulaires de Korgom; elle paraît abruptement creusée par la cuvette, le contact étant assez continûment cuirassé; quelques mètres de sables très

densément cultivés la recouvrent;

- le Damagaram, ensemble de glacis argileux dominés de barres quartzitiques et de chaos granitiques; ces reliefs ont filtré les sables éoliens en longs cordons aux sols relativement riches;
- le Mounio, massif de monticules de roches micro-grenues enfermant au nord quelques plaines argileuses et complètement noyées de sables au sud;
- le Koutous, ensemble de petits plateaux tabulaires gréseux dont les eaux de ruissellement alimentent encore quelques cultures situées sur les dunes d'obstacles accrochées aux versants.

La cuvette tchadienne proprement dite n'est qu'une immense plaine de sables très meubles où les nuances du modelé dunaire, les marges péri-lacustres anciennes, quelques colmatages fluvio-lacustres et la zonation de la végétation mettent quelque variété :

- entre le Damagaram et le Mounio et au-delà de Gouré vers le nord-est, de puissantes rides transversales sont l'extrémité occidentale de l'erg du Manga-Kanem, qui s'étend jusqu'en République du Tchad;
- enfoncé dans l'auréole gréseuse de Korgom, s'étend un paysage de marais phréatiques drainés par la Korama;
- immédiatement au sud, d'anciennes rivières venues de Nigéria ont partiellement colmatés de limons calcaires la région de Dungass ce qui, la pluviosité aidant, lui vaut d'être plus cultivée que le reste de la cuvette;
- la partie centrale, ou Manga, est une interminable steppe herbeuse trouée de dépressions, les fayas, qui sont cultivées lorsqu'elles ne sont pas salées; cela est relativement fréquent vers le nord-est, d'où le nom de Tchidi-N'gourbaybé (pays-jument); les salines du Mandaram sont au sud-ouest, dans une zone de ré-alimentation phréatique;
- les plaines du Manga s'achèvent sur un rivage ancien et complexe successivement formé par les profonds sillons à dépôts lacustres du Tioldé, par le cordon et les plages à sols bruns de Tal et de Sayam;
- en arrière d'un second cordon jouxtant le lac, la Komadougou a édifié un remblai (Difa) sableux à sols rubéfiés et des plaines alluviales à levées et cuvettes de décantation, aux sols plus

juvéniles gris et bruns; l'ensemble forme le Kadzel, paysage austère de brousses épineuses, habité seulement en bordure de la Komadougou;

- la plage actuelle du lac, prolongée vers le large par des prairies hydrophiles et flottantes, par un archipel d'anciens sommets dunaires, est le pays Boudouma.

2. L E C L I M A T

2.1 CLASSIFICATIONS

Les caractéristiques climatiques les plus saillantes sont :

- deux passages zénithaux rapprochés, le 15 mai et le 28 juillet sur le quatorzième parallèle nord (500mm);
- une seule saison des pluies, estivale, courte, à vents sud-ouest de mousson venant du golfe de Guinée;
- une saison très sèche, de 7 à 10 mois, à vents nord-est d'harmattan soufflant du Sahara;
- une insolation très forte, de l'ordre de 3 000 heures par an, des températures excessives, une hygrométrie moyenne très faible;
- une pluviosité décroissant régulièrement vers le nord-nord-est, de 875mm dans le Dendi (Gaya) à 250mm sur la rive nord du lac Tchad (N'Guigni) pour la région cartographiée.

L'excès thermique fait de la pluviosité la base des

subdivisions climatiques. Selon la terminologie d'Aubreville (1949) le climat Saharien atteint le nord de la carte pédologique à N'Guigni. De là jusqu'à 400mm, est le domaine du climat Sahélo-Saharien et au-delà jusqu'à 1 100mm celui du climat Sahélo-Soudanais.

L'héritage paléo-climatique est considérable dans les sols, de telle sorte que le gradient pluviométrique actuel ne modifie que la végétation et les épipédons dans une mesure qui varie fortement selon les familles. Les limites qu'il fait ainsi apparaître sur les matériaux sableux, les plus étendus en latitude, ne coïncident pas toutes avec celles des climats d'Aubreville, mais peuvent se rapprocher davantage de celles qu'utilisent les hydrologues et les climatologues :

- les Sols Eoliens des dunes vives se généralisent à moins de 100mm, limite septentrionale du climat Sahélien nord des climatologues;
- à moins de 250mm, les sols Brun-Rouge sont détruits par une érosion composite hydrique et éolienne qui leur substitue des Sols Gris Subdésertiques à croûtes organiques; cet isohyète limite au sud le climat Sahélien nord des climatologues et approche de la limite méridionale (300mm) du climat Subdésertique des hydrologues;
- le Faciès Subaride Brun-Rouge des épipédons disparaît à plus de 350-410mm de pluies, limite donnée par Aubreville et les climatologues (450mm, Sahélien sud);
- entre 750 et 800mm, l'apparition de formations ligneuses denses, savanes boisées, forêts claires, se matérialise par une variété plus sombre, plus organique des épipédons des Sols Ferrugineux; en même temps, la morphologie de Sol Ferrugineux Peu Lessivé disparaît et, sur des sables argileux kaoliniques, apparaissent des reliques de Sols Faiblement Ferrallitiques, ces deux modifications étant surtout un legs des climats anciens; les climatologues et les hydrologues utilisent l'isohyète de 750mm comme limite méridionale, les premiers du climat Soudanien nord, les seconds du climat Sahélien.

La classification des climatologues (100-250-450-750) coïncide donc assez bien avec les subdivisions génétiques de cette grande famille, mais aucune n'est valable pour toutes. Certaines limites ne sont prévues nulle part : les épipédons Subarides des sols sur argiles smectitiques calciques apparaissent vers 650mm. Beaucoup sont le résultat de toute l'histoire du paysage : l'altération à argiles gonflantes alcalisées disparaît au Niger à plus de 550 mm,

alors que dans d'autres territoires, elle atteint 900mm. Les mêmes sols peuvent chevaucher plusieurs zones climatiques sans grandes modifications, tels les Sols Ferrugineux Lessivés sur argiles gréseuses du Continental Terminal, immuables entre 300 et 700mm.

Les divisions climatologiques sont donc un cadre de référence toujours imprécis et souvent inadéquat, aussi avons-nous choisi de ne pas référer les sols à ces dernières mais, directement, à la pluviosité.

3.2 LES TEMPERATURES

2.21 Variation annuelle

Le cycle annuel des valeurs moyennes et extrêmes passe partout par deux minima et par deux maxima :

- en avril ou mai est un premier maximum, très accusé, les températures moyennes variant entre 32° et 34° et les maxima absolus approchant de 45°;
- en août la mousson abaisse les températures dont les moyennes se situent entre 27° et 28°;
- en octobre la fin des précipitations provoque un second maximum (29° à 31°);
- en décembre ou janvier le refroidissement solsticial donne les températures les plus basses de l'année (21,5° à 26°).

Ainsi, la période relativement fraîche de décembre à février contraste avec les rigueurs thermiques d'avril-mai. La saison des pluies apporte une faible amélioration qu'efface rapidement la pointe de septembre-octobre.

2.22 Variations latitudinales

L'amplitude diurne est plus élevée dans les stations septentrionales qui sont plus fraîches en hiver, les minima

étant abaissés. Elles sont plus chaudes en été. Cette compensation réduit à 2,5° l'écart entre les moyennes annuelles, de l'ordre de 28° à 29°; elle situe la région la plus chaude entre 400 mm et 800 mm.

2.23 Les températures du sol

Elles sont relevées au centre de la zone la plus chaude, à Zinder et à Niamey. Les thermomètres sont placés à 10 cm du sol ("température au sol"), à 30 et 60 cm de profondeur.

Les températures au sol accusent les extrêmes diurnes. En saison sèche, des pointes de 60° ont été notées, ce qui est plus que suffisant pour suspendre l'activité végétative. Les moyennes mensuelles suivent le cycle annuel des températures sous abri, avec un décalage moyen positif de l'ordre de 3°.

Comme le retard théorique de pénétration de l'amplitude annuelle à 60 cm n'est que de six jours, les températures moyennes mensuelles varient parallèlement à celles de l'air. Le sol est toujours plus chaud à 60 cm qu'à 30 cm, plus chaud que l'air sous abri. Il en résulte un flux thermique dirigé vers la surface qui ne peut qu'accentuer l'évaporation, ce d'autant plus que le sol est plus sec.

2.3 LES PRECIPITATIONS

2.31 Variation saisonnière

Tous les hyétogrammes annuels ont la même forme. Les pluies commencent au sud en avril, au nord en juin; elles culminent en août, elles s'achèvent fin septembre. N'Guigmi a la particularité d'avoir un maximum secondaire en juin. La pluviosité est d'autant plus concentrée qu'elle est plus faible, ce qui réduit d'autant son efficacité.

2.32

P r é c i p i t a t i o n s

j o u r n a l i è r e s e t e x c e p t i o n n e l l e s

(C.AUVREY, 1960 - P.DUBREUIL - R.LEFEVRE, 1962)

Les précipitations sont des tornades de courte durée dont le hyétogramme est sensiblement constant :

- une période préliminaire de quelques minutes à intensité moyenne de 20 à 30 mm/h;
- un corps de 10 à 30 minutes où l'intensité est supérieure à 60 mm/h; le paroxysme, d'une durée souvent inférieure à 5 minutes, peut atteindre 150 à 200mm/h;
- une traîne de 30 minutes à 2 heures à intensité inférieure à 10 mm/h.

Les durées des différentes phases diminuent vers le nord mais les intensités ne sont pratiquement pas modifiées.

La hauteur de la plupart des pluies est faible :

- 6 à 7,5 mm pour les pluies de fréquence 50%
- 11 à 16 mm pour les pluies de fréquence 30%
- 24 à 34 mm pour les pluies de fréquence 10%

L'accroissement de la pluviosité vers le sud n'est pas dû à des averses plus fortes mais à des averses plus fréquentes, ce qui autorise à toutes les latitudes un lessivage potentiel des horizons superficiels (cf p.514).

Lorsque la pluviosité varie entre 200 et 750 mm, la hauteur de précipitation décennale se situe entre 90 et 120 mm.

2.33

V a r i a t i o n i n t e r - a n n u e l l e

Elle est très élevée, et d'autant plus forte que la pluviosité est plus faible. Sur l'isohyète de 200 mm, l'écart réduit est de l'ordre de 40%, sur celui de 850, il est de 15%. Cette dispersion compromet fréquemment les chances de réussite de cultures sèches sahéliennes. En

revanche la probabilité pour que des horizons profonds hérités de climats plus humides participent encore aux échanges hydriques ne s'annule jamais complètement, même si elle est fortement réduite.

2.34

V a r i a t i o n s é c u l a i r e

Les relevés météorologiques ne remontent pas au-delà de 1920. En utilisant le parallélisme des variations de la pluviosité et de l'hydraulicité des grands bassins (Nil, Niger, Chari) A. BOUCHARDEAU et R. LEFEVRE (1957) ont estimé les vicissitudes pluviométriques postérieures à 1870 dans le bassin du Tchad :

- une période humide antérieure à 1890
- une période sèche, particulièrement sévère en 1910-1920.

Selon R.G. VERYARD (1963) on a enregistré un peu partout dans le monde une diminution de la pluviosité à la fin du XIXème siècle, sensible surtout en bordure des zones arides tropicales et due à un rétrécissement de la zone pluvieuse inter-tropicale.

FAURE (1965) a relevé des fluctuations phréatiques dans le Manga, liées à la pluviosité :

- 1860 : haut niveau
- 1910-1930 : bas niveau
- 1932-1939 : haut niveau
- 1941-1946 : bas niveau
- 1960-1963 : haut niveau

Ces fluctuations provoquent un balancement en latitude des zones de culture et d'érosion des sols.

2.35

T r a c é d e s i s o h y è t e s a n n u e l l e s

Approximativement ouest-est au Niger occidental et central, les isohyètes s'infléchissent vers le sud-est dans la cuvette tchadienne, plus sèche à latitude égale. Le gradient pluviométrique est de 100mm pour 100 km en

moyenne ce qui, à partir de 400mm, entraîne un passage assez rapide du paysage de savane sèche à Sols Subarides, aux dunes semi-fixées à Sols Gris Subdésertiques.

2.4 ETAT HYGROMETRIQUE DE L'AIR

2.41 Humidité absolue

La courbe annuelle de la tension de vapeur d'eau est une oscillation simple avec un minimum en janvier et un maximum en août. Elle reflète fidèlement le mouvement des masses d'air séparées par le F.I.T. En latitude, ce sont surtout les minima qui s'abaissent, cela à partir de 800mm de pluies.

2.42 Humidité relative

Elle dépend à la fois des températures et de ce même déplacement des masses d'air :

- les conditions estivales sont à peu près partout les mêmes; pendant trois mois, de juillet à septembre, l'humidité relative est de 65 à 80% et le déficit de saturation de 7 à 12 mb;
- l'air se dessèche ensuite régulièrement jusqu'en février au sud et jusqu'en mars-avril au nord; à moins de 700 mm de pluies, l'abaissement des températures est suffisant en décembre et janvier pour que simultanément le déficit de saturation et l'hygrométrie diminuent; cette particularité n'existe pas plus au sud où la saison fraîche est moins accentuée et où, dès le mois de janvier, l'air commence à se réchauffer tout en continuant à se dessécher quelques semaines; les moyennes mensuelles minima de l'hygrométrie sont de 20% au nord et de 30% au sud; les minima absolus sont de 1%, mesurés en avril à Zinder;
- l'air se réhumidifie ensuite jusqu'au mois d'août, ce qui déclenche le réveil de la végétation près d'un mois avant les premières pluies.

La siccité de l'air est un élément climatique majeur du Niger. Dans le Sahel du Niger oriental, l'hygrométrie est inférieure à 50% pendant 9 mois, pendant 6 mois à Niamey, pendant 5 mois dans le Dendi.

2.43

P o u v o i r é v a p o r a n t d e l' a i r

Mesuré par l'évaporomètre Piche, il varie parallèlement au déficit de saturation. La pointe évaporatoire la plus forte est due aux masses d'air continentales, en mars-avril; le minimum principal se situe pendant la mousson en août-septembre; il est suivi d'un palier de décembre à février, ou d'un minimum secondaire pendant la même période en zone sahélienne. Elle est toujours très forte et croît irrégulièrement avec la latitude, de 1870mm par an à 3400 mm.

L'évaporation en bac Colorado mesurée dans des territoires de pluviosité similaire croît du sud au nord de 2400 à 3000 mm par an.

2.5

LES VENTS ET LES PHENOMENES ASSOCIES

Les vents humides de la mousson soufflent des secteurs sud à ouest pendant six mois au plus (avril à septembre) puis sont remplacés le reste de l'année par le courant nord à est de l'harmattan. Le changement de régime de mars à mai est une période d'instabilité directionnelle et de renforcement sporadique pendant laquelle se produisent les "tornades sèches" et les vents de sables ou de poussières.

Leurs vitesses sont faibles, inférieures à 4 m/s dans 75 à 80% des observations. Les vents de plus de 7 m/s, théoriquement susceptibles de déclencher l'érosion éolienne, soufflent, pendant quelques heures chaque fois, de 15 à 40 jours par an, dont 10 à 25 se situent en saison sèche et peuvent alors être efficaces. En fait, on enregistre que de 2 à 10 vents de sables par an, les maxima se situant à Tahoua et à Maine-Soroa. Ils atteignent la fréquence annuelle de 30 en bordure du Sahara (Agadez) où les sols sont fortement éolisés. Le record

de Maïne-Soroa est dû à ce que la station est aux pieds de dunes ravivées par la surpécoration. En règle générale l'érosion éolienne ne se déclenche au Niger à plus de 250 mm de pluies, qu'après destruction préalable des horizons de surface par l'homme, par ses troupeaux ou par l'érosion hydrique.

Les brumes sèches sont plus nombreuses dans la bande pluviométrique comprise entre 400 et 600 mm de pluies (20 à 70 journées) que dans le Sahel (1 à 13 journées) plus nombreuses dans les stations à sols dégradés où les vents de sables sont déjà plus fréquents. Les chutes de poussières éoliennes qu'elles provoquent sont généralement faibles et indécélables dans les sols :

<u>Niamey, 1956</u>		
<u>nombre de jours dans l'année</u>	<u>visibilité</u>	<u>poussière en mg/m³</u>
	(m)	
2	500-1000	100
5	1000-2000	30
12	3000-4000	18

La cuvette tchadienne fait exception où l'enrichissement en fines et la saturation de matériaux excessivement sableux paraît ne pas avoir d'autres causes. La source de ces poussières est la surface friable des Sols Halomorphes si communs dans cette région où nous avons récolté le 18 février 1962 une poudre à carbonate et sulfate de calcium et de magnésium.

2.6 LES EQUILIBRES PLUVIO-THERMIQUES ET LES INDICES D'ARIDITE ET DE DRAINAGE

2.6.1 L'évapotranspiration potentielle calculée (F.A.O, 1967)

Les variations de l'évapotranspiration (Penmann) sont parallèles à celles du déficit de saturation et à celles

de la radiation nette (radiation globale diminuée de l'émission infra-rouge du sol). Minimum en août et décembre-janvier, elle est maximum en mai et en septembre-octobre. De l'isohyète 875 mm à l'isohyète 200 mm, elle croît de 1800 mm/an à 2100 mm/an.

2.62

L' é v a p o t r a n s p i r a t i o n r é e l l e e t l e d r a i n a g e

(TURK, 1955 - CHARREAU - BONFILS, 1962)

Les données ci-dessous doivent être rapportées à des sols sableux. Ce sont sur eux qu'ont porté la plupart des mesures et ils se rapprochent le plus du modèle idéal que se donnent les climatologues qui calculent des bilans hydriques (cf p.510).

L'évapotranspiration réelle est limitée par les réserves en eau du sol, par la pluviosité, car l'évapotranspiration potentielle est toujours excessive. Elle est donc maximum en août et s'annule pratiquement en saison sèche. Le drainage à deux mètres de profondeur ne commence qu'après reconstitution des réserves en eau du sol, pratiquement annulées par la saison sèche; il se prolonge pendant une durée qui ne déborde le mois d'août que dans les régions méridionales. Sous couvert graminéen, il croît de 0 à 280 mm lorsque la pluviosité passe de 470 à 875 mm. En sol nu, il s'annule pour 360 mm de pluies. Selon AUDRY (1967) il serait toujours nul sous une végétation ligneuse naturelle suffisamment dense. Les hydrogéologues (PLOTTE, 1961 et DEGALLIER, 1964) situent entre 400 mm et 500 mm le seuil d'alimentation des nappes du Liptako et du Gourma. La variabilité du drainage est supérieure à celle de la pluviosité, comme on peut le constater sur le tableau des extrêmes ci-contre : à Say il varie de 1 à 10, alors que la pluviosité varie de 1 à 2,5. La conséquence en est que nul ne s'est soucié d'en calculer complètement la distribution. On se contente généralement de la valeur correspondant à la pluviosité moyenne. A cause de cette dispersion, la probabilité pour que les horizons les plus profonds s'humectent dans les régions les plus sèches, n'est jamais nulle : d'une certaine façon, les paléosols ne sont jamais tout à fait morts. Toutefois le gradient latitudinal de cette probabilité n'a pas beaucoup de

rapports avec le gradient de différenciation des sols. Elle décroît par exemple de moitié entre Tahoua (380 mm) et Tillabery (480 mm) alors que les sols paraissent pratiquement identiques dans leur morphologie et ne diffèrent statistiquement que par les taux de matière organique et les pH des horizons de surface qui seuls réagissent à la variation de pluviosité.

Peu de données concernent les sols plus argileux. CLAUD (1967) a montré qu'avec une pluviosité de l'ordre de 600 mm, les Solonetz Solodisés du Guera (République du Tchad) ne s'humectent pas à plus de 15 cm de profondeur, ce qui entraîne une obsolescence complète des horizons B.

2.63 Les indices climatiques

Nous donnons ci-contre les valeurs des indices climatiques les plus utilisés pour les corrélations à petite échelle. Ils n'ont pas d'utilité dans le cadre d'une étude régionale telle que celle-ci où les facteurs locaux, lithologiques ou paléoclimatiques, sont prépondérants.

2.7 RUISSELLEMENT ET EROSION HYDRIQUE

Le coefficient d'écoulement varie entre 3 et 12% dans de petits bassins de la zone climatique du Niger méridional (Annales Hydrologiques O.R.S.T.C.M.). Il atteint 8% dans la Maggia où de toute évidence l'érosion hydrique est forte. L'étude des sols a montré que le déterminisme de cette dernière était multiple :

- il dépend de la texture et de l'organisation pédologique, les sols sableux et à profil homogène étant moins érodibles parce que plus perméables que les sols plus argileux à morphologie plus contrastée;
- l'érosion hydrique croît à l'inverse de la pluviosité car le couvert végétal est alors réduit, le brassage des matériaux diminue moins vite que le transport, l'association avec l'érosion éolienne est extrêmement efficace;

- de grandes surfaces ont été décapées et remaniées en reg pendant les invasions dunaires anciennes, dans les ergs ou sur leurs bordures. Peu perméables, elles accroissent localement le ruissellement;
- la juxtaposition de surfaces imperméables et perméables est néfaste à ces dernières. Certaines dunes anciennes ont été ainsi complètement arasées;
- les défrichements ont parfois rompu un pseudo-équilibre entre une végétation inapte à se régénérer et des sols ou une topographie héritée de climats plus humides. L'érosion hydrique est alors accélérée et va jusqu'au ravinement
- de grandes surfaces ont été stérilisées par un décapage aréolaire déclenché par l'homme; fréquentes en zone à pluviosité marginale (Gorouol, Kadzel) on les croit provoquées par une sur-utilisation pendant des périodes pluviométriquement fastes.

Enfin, l'état général des sols du Niger est de ce point de vue assez mauvais. On a vite recensé les aires en bon état de conservation : les ensablements aplanis qui vont du sud-ouest de Zinder à Maradi, ceux de la dépression de Dosso, les réserves forestières méridionales, à l'exception du remblai de la Mekrou, les plaines sableuses du Liptako à l'ouest du Niger.

Cette agressivité du climat nigérien est confirmée globalement par la corrélation générale de F. FOURNIER (1958-1960) entre la dégradation spécifique ou ablation annuelle par unité de surface et le produit de la pluviosité mensuelle p par le facteur de concentration p/P , P étant la pluviosité annuelle. Elle situe le Niger méridional dans la région de l'Afrique de l'ouest où cette érosion normale est des plus fortes, de 1500 à 2000 t/Km²/an, soit de 55 à 75 cm de sol par millénaire, ce qui est considérable. L'érosion normale diffère cependant de l'érosion réelle des sols : elle est plus faible dans la zone sahélienne, alors qu'en fait les sols y sont davantage détruits ou remaniés. La formule de FOURNIER ne peut donc être utilisée pour prévoir les petites régions les plus atteintes. Cette différence tient à ce qu'elle n'intègre pas l'héritage paléoclimatique et plus encore à ce qu'elle estime surtout le transport potentiel des matériaux sur de grandes distances dans les bassins exoréiques, alors que les

transports à courte distance suffisent à détruire les sols. Or ces derniers ont leur maximum en zone semi-aride (A.SCHUMM et R.F.HADLEY, 1961).

2.8 QUELQUES EFFETS DU CLIMAT ACTUEL SUR LA PEDOGENESE

La sécheresse et les fortes températures sont plus défavorables à la synthèse chlorophyllienne ou à la minéralisation, de telle sorte que les taux de matière organique sont médiocres dans tous les sols, même ceux qui sont inondés temporairement.

Les altérations siallitiques qui demandent une forte humidité et en même temps le lessivage d'une grande partie de l'hydrolisat, n'existent plus que dans des cortex, ou bien sont fossiles. Les altérations à argiles gonflantes correspondent mieux aux drainages actuels qui assurent le confinement des solutions qui leur sont nécessaires. Cependant, si elles sont plus récentes que les précédentes, elles ne sont plus nécessairement actives hors des aires d'efflux des eaux de ruissellement, car les pluies ne peuvent plus les pénétrer que sur quelques décimètres.

La faiblesse de l'altération empêche les roches dégagées par l'érosion, généralement du front de vieilles altérites, de se recouvrir de sols qui ne soient pas squelettiques. Les roches à grain fin, surtout basiques, les grès à ciment ferrugineux ou siliceux, ne s'altèrent en aucune façon. Les granites à grain moyen se desquament et par désagrégation granulaire, libèrent de petites quantités d'arène. Les grès à ciment argileux sont plus sensibles à ce mode d'attaque, ainsi que certains grès-quartzites Voltaïens, mais à 800 mm de pluies. Les calcaires ne sont partiellement dissous que dans leurs fissures. La délapidification des pélites et argilites est au contraire facile partout, surtout si l'argile est gonflante.

La concentration estivale des pluies en un petit nombre d'averses entraîne en tous lieux l'existence d'un "lessivage potentiel" (AUDRY, 1967) au moins sur quelques

décimètres, mais il n'existe de sols très récents lessivés que vers 800 mm de pluies. Plus au nord, on ne peut constater que l'amenuisement très progressif des horizons lessivés anciens vers les hautes latitudes, ou des traits localisés du lessivage du fer et de l'argile, cutines, raies, dans des sols gravillonnaires, dans de vieilles cuirasses, dans des apports sableux sur un substrat moins perméable. Ce mécanisme paraît donc persister tout en s'affaiblissant relativement à l'érosion superficielle jusque dans la zone sahélienne, pourvu que certaines conditions de chimisme et de régime hydrique soient réunies.

L'équilibre entre la lixiviation des bases et leur libération par la minéralisation est régulièrement déplacé en faveur de cette dernière lorsque la pluviosité décroît. Cette modification continue est également subie par le pH qui atteint la valeur 7, dont on convieut qu'elle définit les faciès subarides, entre 400 et 450 mm sur matériaux sableux.

On ne peut toutefois mettre en évidence de régime exsudatif, c'est-à-dire de migration per ascensum prépondérante, que si le niveau phréatique est très peu profond, de l'ordre du mètre. Il produit alors des concentrations salines sur toute l'étendue latitudinale du Niger et, sur matériaux sableux, un type très particulier de concrétionnement ferrugineux. Il semble toutefois que la redistribution du calcaire d'anciens horizons carbonatés soit de ce type ascendant sous la seule action des eaux pluviales entre 600 et 200 mm de pluies. On peut encore rattacher à ce type de circulation, mais à très fine échelle, les vernis ferrugineux si communs sur les débris rocheux ou ferrugineux parsemant les glacis à moins de 650 mm de pluies.

La rubéfaction, effet ordinaire de régimes hydriques très contrastés, ne se manifeste actuellement qu'en surface de glacis sahéliens à sols contenant des argiles gonflantes (vertisols, horizons B de sols solonchiques). Elle est douteuse à plus de 400 mm sur des matériaux très sableux vieux de 5 000 millénaires; elle est absente de sols de même texture plus récents.

Le climat nigérien, peu favorable à la pédogenèse hors des sites hydromorphes, ne conserve pas davantage les couvertures de sols hérités de périodes plus favorables. L'homme a aidé beaucoup à cette destruction en ruinant des végétations marginales à pouvoir de régénération insuffisant.

La succession de sols, telle qu'elle sera reconstituée à la fin de ce travail, fait apparaître une diminution continue de la pluviosité pendant tout le Quaternaire, une alternance de périodes de pédogenèse réputées plus humides et de périodes d'érosion et d'incision réputées plus sèches, des éléments exotiques qui réfutent une stricte identification des climats anciens à des climats actuels qui se seraient déplacés en latitude.

au début du Quaternaire, la surface supérieure du Niger méridional est soumise à un pédoclimat très humide et à une très forte évapotranspiration. Pendant tout le Pléistocène, le cuirassement est possible jusqu'au désert actuel lors des périodes de pédogenèse; la pluviosité devait atteindre 1 200 mm où elle n'est que de 25 mm, dans l'hypothèse d'une certaine ressemblance des pédoclimats anciens et actuels (R. MAIGNIEN, 1958), avec une répartition annuelle plus contrastée que lors du cuirassement supérieur. Pendant les périodes d'érosion, l'hydraulicité est très forte, ce qui n'est plus le cas dans la zone subaride actuelle.

Les sols de la fin du Pléistocène et de l'Holocène correspondent à des pluviosités moins élevées, quoique plus fortes encore que de nos jours. Cette période est néanmoins marquée par deux désertifications, l'une vers -40 000 BP jusqu'à l'isohyète 1 000 mm, l'autre vers -20 000 BP jusqu'à l'isohyète 650 mm. Les sols rouges dunaires impliquent une pluviosité de l'ordre de 1 000 mm sur l'isohyète actuel de 100 mm après le premier aride. L'alimentation des nappes phréatiques et la couverture végétale continue lors de la période des lacs Holocènes (-10 000 BP) qui a suivi le second aride, demandent un minimum de 500 mm sur l'isohyète de 25 mm (FAURE, 1966). Les encroûtements calcaires de remblais anciens de l'Adar Douchi et de la cuvette tchadienne paraissent étrangers à la pédogenèse actuelle et suggèrent un abaissement des températures lors de la formation des sols rouges sur matériaux sableux.

Le dessèchement se poursuit après 5 400 BP. Il est attesté par le retrait du lac Tchad de la cote 320 m jusqu'à son rivage actuel, par la disparition de la rubéfaction, par celle des horizons B texturaux sur les

sables des cordons, par le recul des populations d'agriculteurs vers le sud.

3 G E O L O G I E

3.1 STRUCTURE GENERALE

Le Niger central et occidental est recouvert d'un ensemble isoclinal de couches à faible pendage s'abaissant de l'Air vers la cuvette centrée sur la région de Dosso-Dogondouchi et limitée à l'ouest par le môle Infra-Cambrien du Liptako. Les grès du Continental Intercalaire, du Continental Hamadien, les calcaires Paléocènes, les grès du Continental Terminal affleurent successivement en auréoles approximativement concentriques. Le Niger oriental est formé d'une seconde dépression subsidente, la cuvette tchadienne, limitée au nord-est par les reliefs cristallins du Damagaram et du Mounio.

3.2 L'ANTE-BIRRIEN DU LIPTAKO (M. Jeambrun - F. Machens, 1962)

Il se réduit à des enclaves d'embréchites, de migmatites, d'anatextites à biotite, chlorite, muscovite situées dans la région de Gothèye, de Mossipaga. Son comportement vis-à-vis de l'altération est celui des granites syncinématiques.

3.3 LE DAHOMEYEN
(R.Pougnnet, 1957)

Il n'est connu que par des affleurements de gneiss kaolinisés dans le manteau d'altération infra-continentale situés entre Gaya et la région du W.

3.4 LE SUGGARIEN DU DAMAGARAM ET DU MOUNIO
(H.Faure, 1962)

Il est formé de granites abondants et diversifiés mêlés à des séries anciennes calcaires et magnésiennes qu'ils métamorphosent fortement. Ils isolent des enclaves concordantes de quartzites à tectonique souple, à virgations non fracturées. On y a décrit :

- des granites anciens d'anatexie, calcoalcalins, localement porphyroïdes (Kelle). Ils contiennent des enclaves de roches métamorphiques antérieures à la Série de Geza;
- la série de Geza composée de schistes, de roches calcaires et magnésiennes métamorphosées, de quartzites donnant les reliefs les plus élevés du Damagaram (Geza, Illela);
- la série d'Atilafia à quartzites, schistes et mica-schistes (Birbiroua, Wacha);
- les mica-schistes, para-gneiss, cipolins, quartzites du Mounio;
- les granites intrusifs ultimes recourent les Séries précédentes; ils sont hyperalcalins, à riebeckite et aegyrine, associés à des micro-granites, des rhyolithes et des trachytes.

Le Damagaram a été nivelé par le manteau d'altération paléocène. Les quartzites seules font saillie, les granites ne formant que des chaos de boulders et les

roches métamorphiques basiques disparaissant sous des flats d'argiles gonflantes. Le Mounio, tardivement exhumé de sous une couverture de grès Crétacés, a pu conserver un puissant relief différentiel. Les roches micro-grenues et alcalines s'élèvent en inselbergs groupés en anneaux autour de plaines d'argiles gonflantes dont le soubassement est formé des Séries anciennes.

3.5

LE BIRRI MIEN DU LIPTAKO
(M. Jeambrun, E. Machens, 1962)

C'est une puissante série volcano-sédimentaire, redressée à la verticale, généralement métamorphisée dans la zone des micaschistes supérieurs (séricite, chlorite) parfois dans la zone des gneiss. Lors de son orogénèse, des batholites concordants avec la direction nord-est des plissements se sont mis en place. A ces granites syncinématiques, s'ajoutent les enclaves de migmatites pré-Birrimiennes dont la direction est quelconque. En fin de mouvement, ces séries stabilisées ont été recoupées par des granites intrusifs et par des venues basiques. La dégradation de la chaîne a produit la série discordante quartzo-felspathique du Tarkwaïen.

3.51

S é r i e s é d i m e n t a i r e

Des schistes gris ou mauves en sont le faciès caractéristique sinon le plus fréquent (quartz, plagioclases, séricite, biotite). Ils sont interstratifiés avec des schistes argileux rouges à kaolinite. Les schistes tuffacés jaunes ou rouges sont les plus communs avec des grauwackes roses et brunes, parfois bréchoïdes. Parmi les faciès plus rares, citons les schistes quartzeux, les quartzites, les jaspes, les schistes graphiteux, les schistes à oligiste, à chiastolite, etc...

3.52

Les roches

métamorphiques basiques

Les plus communes sont des roches à texture massive, à cassure vive, de couleur vert sombre ou vert clair : méta-andésites, méta-basaltes, gabbro métamorphique, amphibolite para. Près de Makalondi et Tientiengafoulbé, est un complexe ultrabasique à serpentines (antigorite, chrysotile) chloritisées et silicifiées. Dans la région de Kalkom-Fayra, des amphibolites feldspathiques ont été injectées de filonnets concordants de granites, produisant des migmatites hétérogènes associées à des gneiss et à des micaschistes.

3.53

Les granites

syncinématiques

Les faciès les plus communs sont calco-alcalins, à grain moyen à biotite. L'association biotite et amphibole est fréquente, surtout dans des diorites ou métadiorites quartziques. Plus rares sont celles à biotite et muscovite, à amphibole et chlorite. Des granites porphyroïdes à biotite et microcline ont été observés sur de grandes surfaces en rive est du Niger (Boni).

3.54

Les granites intrusifs

Ce sont des grano-diorites et des diorites quartziques à biotite et amphibole, des granites calco-alcalins à biotite, des granites alcalins à biotite chloritisée, des monzonites quartzifères, etc...

3.55

Les filons et massifs

intrusifs basiques

Les filons, très nombreux dans le lit du Niger, sont à dolérite ou à gabbro doléritique. Les massifs sont à gabbro à olivine.

3.56

I n t e r p r é t a t i o n d e s a l t é r a t i o n s

Le Birrimien a été profondément kaolinisé. Exhumé à une date relativement récente, le front d'altération, nivelé en dehors de reliefs résiduels dus à des roches plus résistantes (andésites, gabbros à grains fins, granites alcalins) subit une altération différente bisiallitique, effet d'un climat plus sec et héritage de la zonation du vieux manteau. La Série sédimentaire n'a apparemment pas été kaolinisée et occupe dans le paysage la même place que les kaolins. On en a inféré qu'elle était elle-même un faciès d'altération, conclusion à laquelle on a pu également parvenir par la considération d'un degré de métamorphisme trop faible (DUCELLIER, 1963). Cette interprétation a été étendue aux roches métamorphiques elles-mêmes (WACKERMANN, 1967) tenues pour des faciès profonds d'un manteau d'altération de roches massives basiques (gabbro). Elle a pour mérite d'expliquer qu'un pareil foisonnement de types pétrographiques ne produise que trois matériaux de sols, à argiles kaoliniques, à argiles illitiques, à argiles smectitiques carbonatées.

3.6

LE SOCLE PRE-CAMBRIEN DU NIGER CENTRAL

La bordure d'un massif cristallin de Nigeria affleure au sud de Maradi. Ce sont des granites calco-alcalins, des schistes et des quartzites.

3.7

L'ATACORIEN DE LA REGION DU W (R.Pougnet - P.Aicard, 1956)

Les quartzites attribuées à cet étage sont des roches massives, sans muscovite, de couleur claire, affleurant très localement dans les rapides du Barou sur la Mekrou

3.8

LE TARKWAÏEN DU LIPTAKO

Ce faciès quartzique et feldspathique issu de la destruction des chaînes Birrimiennes ne joue qu'un rôle très effacé de relief résiduel, notamment dans le bassin du Gorouol.

3.9

LE BUËM DE LA RÉGION DU W DU NIGER

Il affleure en une bande de collines basses orientées au N-NE, formées de grès quartziques, de grès jaspés, de schistes jaunâtres sériciteux, à pendage de 50° vers l'est. Toutes ces roches sont parcourues d'un réseau serré de filonnets de quartz et, dans la région de la basse Mekrou, sont fortement kaolinisées.

3.10

L'INFRA-CAMBRIEN DU GOURMA OU NIGÉRIEN (Reichelt, 1961)

La transgression de l'Infra-Cambrien n'est représentée au nord-ouest que par les termes inférieurs du groupe d'Ydouban :

- les grès-quartzites de Firgoum, à conglomérats, en sont l'horizon de base discordant sur le Birrimien; épais de 10 à 20 m, ils forment un affleurement linéaire remarquablement continu de la frontière voltaïque jusqu'aux falaises des grès Tertiaires;
- la formation I est un complexe très épais (1 000 à 1 500 m) et hétérogène de schistes argileux, sériciteux, chloriteux, gris, jaunes, rougeâtres, parfois calcaires et sableux, à horizons lenticulaires de grès, de quartzites, de brèches, de grès calcaires ou dolomitiques, de dolomies, de jaspes; régionalement on la subdivise en Faciès Nord, au centre et au sommet de l'échelle stratigraphique, à horizons quartzitiques lenticulaires, et en Faciès de Labbezenga à

séricito et chloritoschistes;

- la formation II ou Série de Yassane est un ensemble homogène de schistes argileux rouges, gris ou noirs, encore épais de 500 m.

Le tout est fortement plissé, avec une direction principale N-O et une direction secondaire N-E, "vestige posthume de la tectonique ancienne du socle Birrimien transparaisant sous la couverture superficielle". Ces roches n'ont pas été kaolinisées, ayant elles-mêmes la composition d'un éluviat (Yassane). Les produits d'altération récents sont caractérisés par leur texture limoneuse, leur richesse en hydromicas, leur imperméabilité et leur impénétrabilité par les racines.

3.11

LE VOLTAÏEN DU W DU NIGER (SÉRIE DE L'OTI)

Il n'offre que rarement son faciès classique de grès siliceux roses subhorizontaux (Tyerikwanou, sur la Tapoa). Il se présente le plus souvent sous l'aspect de grès, de grès-quartzites, lités, conglomératiques, entrecroisés, fauves, roux ou clairs, à pendage de 25° à 40° vers l'est ou le sud-est. Il est parcouru de filons de quartz et de jaspes (mines anciennes de Toudou). Les grès reposent en discordance sur des argilites redressées et plissées qui affleurent dans de petits affluents de la Mekrou ou au confluent du Dallol Bosso et du Niger. La Série disparaît presque entièrement sous une carapace de cuirasses et de grès continentaux. La surface infra-continente, exhumée par la Mekrou, la Tapoa et le Niger, est formée d'une succession de barres quartzitiques séparées par de profondes dépressions correspondant à des septa schisteux altérés et ravinés. L'altérite schisteuse qui a été conservée est riche en sulfates d'alumine et de potasse.

La délapidification actuelle des argilites produit des argiles gonflantes dans de petites plaines aux sols vertiques auxquelles leur imperméabilité fit jadis attribuer le nom de "marais du Kodjar". La désagrégation granulaire des grès, rendue possible par

la présence de minéraux altérables dans le squelette et de petites quantités d'argile dans le ciment, donne une arène très acide et pauvre en bases évoluant actuellement en Sols Ferrugineux Lessivés.

3.12 L'INFRA-CAMBRIEN DE LA VALLEE DU NIGER

Des affleurements limités de grès Voltaïens (Gassa) de grès-quartzites Voltaïens (Tondibia, Say) d'argilites et d'arkoses de la Série de l'Oti (vallée de la Dyamangou) sont dégagés par l'érosion du Niger et de ses affluents de sous la couverture des grès Tertiaires. Les roches siliceuses formaient des reliefs de la surface infra-continentale et, lorsqu'elles ont été exhumées assez tôt, ont favorisé localement l'extension de glacis cuirassés en bloquant temporairement l'enfoncement du niveau de base.

3.13 LE CRETACE (J.Greigert, 1957 - H.Faure, 1966)

3.131 Le Crétacé Inférieur ou Continental Intercalaire

Il est situé au nord du quinzième parallèle, à l'est de l'Ader Douchi où il est représenté par le Groupe du Tegama et, à l'est du Damergou, par la formation terminale de ce dernier, d'Echkar. Les matériaux de ces grandes zones d'épandage fluviatiles ont été arrachés à des altérites minces, montmorillonitiques, élaborées par un climat alterné, tropical ou tempéré, sur le socle cristallin du Niger et du Mali occidentaux, du Sokoto, du Damagaram, du Djaddo méridional. Ce sont des grès hétérogènes, feldspathiques, grossiers, à graviers et galets, à stratification entrecroisée, à bois silicifiés et intercalations d'argiles sableuses. En moyenne, les argiles de la formation comptent 50% de montmorillonite, 20% de kaolinite, 30% d'illite. Ces roches très tendres ont un modelé récent, fortement ensablé. Les sols autochtones sont une toposéquence à Sols Ferrugineux et à Sols Solonchiques.

3.132

L e C r é t a c é S u p é r i e u r

C o n t i n e n t a l o u

C o n t i n e n t a l H a m a d i e n

Il recouvre le Niger central entre l'Ader Douchi à l'ouest, le Damagaram à l'est et le Crétacé Supérieur au nord. D'ouest en est, il est formé d'auréoles successivement attribuées au Sénonien-Danien, au Turonien Supérieur, à la formation compréhensive (Cénomanién-Sénonien) du Koutous. La sédimentation continentale n'a guère été modifiée par l'accroissement de l'altération de type biostasique, enregistrée par les dépôts marins. Ce sont toujours des grès hétérogènes, feldspathiques, à ciments argileux, à lits ou lentilles d'argiles violette. Ils contiennent des bois silicifiés, des galets de quartz et quartzite fortement éolisés (marges du Damagaram). La répartition des argiles est analogue : montmorillonite de 50 à 60%, kaolinite de 20 à 30%, illite ou chlorite 10%. Les plateaux du Koutous, au nord du Mounio, portent les traces d'une altération kaolinique attribuée au Paléocène et des cuirasses conglomératiques à galets d'oolithe ferrugineuse du Tertiaire Continental. A cette exception près, le modelé est récent et sa couverture de sols compte une plus forte proportion de Sols Ferrugineux moins bien drainés que le Crétacé Inférieur.

3.133

L e C r é t a c é S u p é r i e u r m a r i n

La transgression marine du Cénomanién Supérieur et du Turonien Inférieur a déposé en bordure du Damergou des grès fins, des silts, des argilites feuilletées à montmorillonite (60%) parfois à attapulгите ou glauconie, intercalées de dalles calcaires minces fossilifères (Neolobites, Nigericeras, Pseudotissotia). Près de Dakoro, l'extrémité méridionale du bassin Turonien donne de minces affleurements de calcaires jaunes, de lumachelles et d'argilites.

Les dépôts du Turonien Supérieur et du Sénonien Inférieur, largement représentés par des calcaires blancs au nord du parallèle 15°N, se réduisent au Niger méridional à des argilites, des grès fins et des lumachelles

à lamellibranches en quelques points du Damergou. Au Senonien la mer se retire vers l'ouest et vers le sud, vers le Niger occidental, le Mali, le Sokoto.

Du Senonien Supérieur au Paléocène, se produit une seconde transgression dont le maximum de sédimentation se situe dans l'Ader Douchi où un complexe de dépôts marins et continentaux enchevêtrés a été divisé en trois Séries :

- les grès de base (Lower Sandstones);
- les marno-calcaires du Maestrichtien;
- les grès supérieurs (Upper Sandstones) fins et sombres, à argilites gypsifères.

Les calcaires étant peu altérables, ce sont les glacis et bad-lands à Vertisols sur argilites qui ont le plus d'importance dans le paysage. Dans l'Ader Douchi, les grès fins ont donné des matériaux très érodibles à Sols Ferrugineux ou à sols bruns.

3.14

LE PALEOCENE ET L'EOCENE INFERIEUR MARIN (J.Greigert, 1957 - H.Faure, 1966)

Le continent, étendu au Crétacé Terminal, au socle du Gourma et du Liptako, du Damagaram, du Hoggar et du Djado, couvert d'une végétation très dense, subit une altération kaolinique intense dont seule la phase soluble parvient dans un bassin marin étendu du Sokoto au détroit Soudanais. Les dépôts, profondément incisés par les Maggia, sont constitués de 35 m de calcaires à intercalations marno-argileuses (montmorillonite) encadrés par deux séries symétriques de marno-calcaires en plaquettes et d'attapulgites papyracées. Les calcaires des versants de l'Ader Douchi sont parvenus à une quasi immunité vis-à-vis des eaux météoriques après avoir été lapiazés à la fin du Pléistocène et fortement dissous pendant toute la durée de ce dernier.

LE CONTINENTAL TERMINAL
(J.Greigert, 1957)

L'ancien domaine marin de l'Eocène Inférieur et une partie du domaine continental d'altération sont recouverts à l'Eocène Supérieur de mers peu profondes aux eaux agitées où les hydroxydes de fer, antérieurement immobilisés dans des sols indurés (1), précipitent en oolithes. Ce sidérolithique est en continuité avec les formations marines. Il est discordant sur les altérites kaoliniques, la surface de contact montrant souvent des concentrations alumineuses (bauxite pisolitique, alunite). Puis de grands fleuves déposent dans un bassin continental centré sur le Niger occidental, de l'Oligocène au Miocène, des grès kaoliniques arrachés au manteau d'altération, la masse principale provenant, selon FAURE (1966) du Hoggar.

J.GREIGERT a distingué dans ce Continental Terminal trois ensembles :

- à la base le sidérolithique, affleurant largement dans la Série limonitique de l'Ader Douchi (Ct.1). Ce sont des dalles de grès ferrugineux oolitiques ou pisolithiques (limonite + kaolinite + halloysite + quartz) à joints de sables et d'argiles, d'oolithes libres; on y a également décrit des couches plus énigmatiques d'argiles noires ou vert sombre, bourrées d'oolithes à débris charbonneux et blocs de résine; les galets à oolithes pris dans une cuirasse ferrugineuse quaternaire de la formation de Zaouzaoua (Damergou) et de Boula-Koura (Koutous) sont des restes de l'érosion de la formation;
- le complexe argilo-sableux (Ct.2) série de dépôts marécageux ou fluviatiles, roches argileuses bariolées, grès fins, sables, argilites noires à débris végétaux et pyrite, carapaces de grès ferrugineux;
- au sommet les grès argileux du Moyen-Niger (Ct.3) série homogène de grès kaoliniques bariolés, percés

(1) La surface d'altération de l'Eocène Inférieur n'est nulle part indurée en cuirasse au Niger méridional, mais des témoins cuirassés d'âge similaire ont été souvent décrits en Afrique de l'Ouest, au Fouta-Djalon (MICHEL, 1959), en Haute-Volta (BOULET, 1968) etc...

de tubulures anastomosées, à intercalations ferrugineuses oolithiques; on leur attribue les grès à tubulures et jaspes bordant la cuvette tchadienne à l'ouest (Korgom, Bandé).

La minéralogie du Continental Terminal ne lui a permis que de produire des Sols Ferrallitiques, des Sols Ferrugineux Lessivés, des Sols Hydromorphes acides et lessivés, variablement indurés. Sa résistance à l'érosion est par contre assez variable, chaque ensemble lithologique ayant donné un paysage différent :

- le sidérolithique forme depuis la fin du Tertiaire un entablement arasé dans lequel les Maggia se sont péniblement élargies pendant tout le Quaternaire;
- le complexe argilo-sableux, fort tendre, a au contraire été largement disséqué et ne porte que des glacis récents à Sols Ferrugineux Lessivés à concrétions;
- les grès du Moyen-Niger, de dureté intermédiaire, offrent un étagement complet de versants partiellement cuirassés à restes de Sols Ferrallitiques et Ferrugineux.

3.16 LA FIN DU TERTIAIRE ET LE QUATERNAIRE (H.Faure, 1966 - F.Pirard, 1964)

3.161 Les mouvements postérieurs au Continental Terminal

Les bordures du bassin poursuivent leur mouvement positif : axe Air-Koutous, Gourma. La surface Mio-Oligocène se déprime encore un peu dans la région Dosso-Dogondouchi. Les vieilles fractures du socle jouent au travers de la couverture sédimentaire et en guideront le découpage par l'érosion. La cuvette tchadienne commence une subsidence d'une toute autre ampleur puisqu'elle atteindra mille mètres sous la basse Dillia.

3.162

Le groupe du Tchad

Il n'est connu au Niger que par sondages ou par des croûtes ferrugineuses au nord du Menga :

- 150 m : argiles sableuses deltaïques des "Sables Inférieurs";
- 130 m : argiles lacustres d'un Paléotchad;
- 30 à 40 m : sables argileux, à couverture de limons rouges et gravillons ferrugineux des "Sables Moyens"; équivalent possible du Villafranchien des terrasses à galets;
- 150 à 200 m : argiles à très rares passées sableuses;
- 100 à 150 m : sables argileux des "Sables Supérieurs";
- cote 400 m : croûte ferrugineuse au sommet des Sables Supérieurs; possiblement contemporaine du "cuirassement du bas-glacis marquant la fin de l'érosion massive des zones périphériques";
- couverture pré-dunaire : nappe deltaïque arrachée aux sables du groupe du Tchad de la bordure de la cuvette et étalée en direction de son centre (Tchidi N'Gourbaybe); le remblai à sols rouges du Kadzel pourrait en être un reste.

3.163

Mise en place et

évolution des sols

(M.GAUAUD, 1968)

A la fin du Pliocène, une cuirasse très épaisse de climat chaud et très humide scelle la surface du bassin Miocène et de ses bordures. Pendant tout le Pléistocène, une diminution fluctuante de la pluviosité et l'abaissement des niveaux de base produiront une succession d'entailles tapissées de cailloutis peu

épais indurés en cuirasses pendant les récurrences humides. La pluviosité et l'héritage du manteau d'altération Paléocène, suffisent à maintenir une pédogenèse de matériaux kaoliniques, Ferrugineux ou, localement, Ferrallitiques. L'aridité devient ensuite suffisante pour que sur le bas-modelé, le dernier et le moins creusé, l'altération et la pédogenèse dépendent étroitement de la nature minéralogique du substratum. Cette deuxième période de pédogenèse est notamment caractérisée par l'apparition de surfaces considérables de sols à argiles gonflantes, vertiques ou halomorphes. Elle est interrompue un temps par une période d'érosion sub-désertique, suivie de la mise en place de deux ergs successifs, l'un vers 40 000 BP, l'autre vers 20 000 BP, accompagnés de remplais de tarissement. Elle reprend et s'achève avec la période humide des lacs Holocènes (12 000 à 5 400 BP) pendant laquelle les dunes acquièrent ou parachèvent une couverture de Sols Ferrugineux, rouges pour la plupart. Le retrait du lac Tchad de sa marge de 320 m est le début de la troisième et dernière période de pédogenèse, pendant laquelle ne se formeront plus que des Sols Bruns et des Sols Hydromorphes, sur des remaniements dunaires mineurs et des colmatages argileux de lit majeur.

Les études géomorphologiques portant sur le Niger méridional sont fragmentaires (J.VOCT, 1959) ou anciennes (Y.URVOY, 1942). Des données plus récentes et générales ont été recueillies à l'occasion des levés géologiques (H.FAURE, 1962 - F.PIRARD, 1964) et pédologiques. Ainsi les formes de terrains n'ont pas été définies indépendamment des sols mais révélées par leur répartition. Elles ne peuvent être étudiées en détail qu'avec leur couverture pédologique. Leur classification finale, telle qu'elle ressortira de cette étude, est la suivante :

- de hauts plateaux tabulaires à entablement ferrugineux, restes d'une surface de cuirassement généralisé fin Tertiaire, homologue du "relief intermédiaire" de J.VOGT. Il n'y a pas au Niger méridional de restes de surfaces d'aplanissement cuirassées plus anciennes, bien que des inclusions de cette cuirasse supérieure en indiquent l'existence passée;
- des plateaux tabulaires ou monoclinaux, des cuvettes perchées, des interfluves cuirassés, restes de deux à trois modelés étagés à glacis peu inclinés se raccordant à des niveaux de base successifs de plus en plus bas; ils sont creusés dans des formations kaoliniques et recouverts d'une nappe détritique ou résiduelle à éboulis, pavages et cailloutis fluviaux; ces derniers définissent autant de terrasses également ferritisées;
- des glacis plus récents et fonctionnels, en roche dure ou tendre, mais toujours sur altération argileuse de nature très variée, d'extension plus septentrionale; l'altérite est généralement fossilisée par un horizon grossier, lui-même recouvert d'un sol meuble; ce niveau graveleux est dû à une ablation différentielle des fractions fines du sol, processus entrant dans la pédogenèse normale de nombreux sols, qui a pu être accentué pendant des crises érosives lors de péjorations climatiques sèches;
- quelques reliefs résiduels en roche nue, de signification variable; les uns sont des témoins d'une topographie différentielle exhumée de sous une couverture gréseuse Crétacé (Mounio) ou Tertiaire (quartzites du W); les autres sont des volumes inaltérés jadis inclus dans un épais manteau d'altération (Liptako);
- des vallées où sur une nappe de graviers repose un remblai de sables fins généralement argileux et rubéfiés dans lequel s'emboîte un second remblai à sols moins bien drainés et plus juvéniles, lui-même colmaté d'argiles ou d'alluvions plus hétérogènes correspondant à peu près au lit majeur actuel;
- des vallées sèches creusées dans les grès, à fond très large et plat, presque entièrement remblayées de sables très pauvres en fins et éolisés, également étagés en deux niveaux principaux; ce sont les Dallol des grès Tertiaires et les Goulbi des grès Crétacés;

- deux systèmes dunaires successifs à sols rouges inégalement évolués et différant souvent par leur géométrie;
- un troisième ensemble de formes éoliennes mineures et très localisées à sols juvéniles bruns;
- la cuvette tchadienne est presque entièrement masquée de sables pédologiquement analogues à ceux des Dallol, localement déformés de trains dunaires comparables au second système d'ergs; deux hauts niveaux lacustres y ont laissé des plages et des cordons sableux portant les mêmes sols bruns que les formes mineures éoliennes; la Komadougou en a colmaté la partie centrale de dépôts où l'on reconnaît un remblai supérieur rubéfié et des argiles de lit majeur.

5 LA VÉGÉTATION

5.1 CLASSIFICATION

L'aridité appauvrit la végétation et en diminue le volume vers les hautes latitudes. Les unités forestières d'A. AUBREVILLE (1949) décrivent cette zonalité au niveau de la strate ligneuse. Deux d'entre elles partagent le Niger méridional. La Province Boréale Occidentale des Formations Steppiques et Désertiques a pour limites sud les isohyètes 400 mm à 450 mm qui sont également celles de la plupart des Sols ou Faciès Subarides. Elle envoie des irradiations jusqu'à 650 mm sur des glacis argileux peu perméables. La Province Boréale des Forêts Claires et des Savanes Boisées, aux formations souvent dégradées parce que cultivées, occupe le reste du territoire jusque dans l'extrême sud où les affinités guinéennes que l'on a pu y signaler (Gaya) ne

suffisent pas à transformer l'aspect résolument soudanien de la végétation.

Les groupements floristiques, le taux de couverture et sa géométrie, la répartition relative des strates, dépendent en second rang de facteurs édaphiques tels que la perméabilité, la richesse en bases, le régime hydrique. Ces derniers prennent plus d'importance vers le nord autant parce que les sols se diversifient que parce que la diminution de la pluviosité accroît la spécificité des régimes hydriques.

Les graminées sont l'essentiel de la strate herbacée. Leurs groupements ont un déterminisme analogue à celui des unités forestières quoique plus simple. Jusqu'à 400-450 mm s'étendent des prairies annuelles sahéliennes. Des prairies sahélo-soudanaises leur succèdent jusqu'à 700-800 mm, remplacées au delà par la savane vivace à Andropogonées soudanaises. Partout des steppes herbeuses vivaces exploitent les sols les plus sableux. Les prairies clairsemées à espèces d'ombre des sols compacts, les prairies des Sols Hydromorphes et Halomorphes sont d'autres spécialisations édaphiques.

5.2 LA PROVINCE BOREALE OCCIDENTALE DES FORMATIONS STEPPIQUES ET DESERTIQUES

Le facteur sol a une telle importance dans cette région climatique que l'unité de la végétation n'en est que vaguement physionomique, les steppes et les savanes arbustives à épineux au sens large y dominant. Aucune formation mieux définie ne peut en être tenue comme représentative.

5.21 Les savanes arborées et les steppes arbustives des sols perméables

Sur les sols relativement riches en bases, à pH neutre, croissent des savanes arborées ou arbustives à Acacia

raddiana, localement associé au *Salvadora persica*, à l'*Acacia senegal* (dépressions). Leur couvert actuellement très ouvert doit certainement beaucoup à la dégradation pastorale car vers 400 mm des reliques de forêts claires sont connues. La strate graminéenne est sahélienne (*Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*). On les trouve sur les ensablements du socle, sur la bordure du Damergou, sur les marges périlacustres du lac Tchad.

Les steppes arbustives à *Commiphora africana*, localement associé à une anthropophile, l'*Euphorbia balsamifera*, s'étendent sur des sols plus pauvres en bases, souvent plus compacts. La strate herbacée sahélienne s'enrichit en espèces méridionales adaptées aux sols acides (*Ctenium*, *Heteropogon*) ou plus argileux (*Cymbopogon schoenanthus*). La strate ligneuse et les graminées vivaces (*Cymbopogon*, *Andropogon laniger*) s'adaptent passivement au modelé en se concentrant dans les dépressions des modelés dunaires, plus humides. L'aspect photographique réticulé qui en est la conséquence est caractéristique des dunes très aplanies recouvrant les glacis sur grès continentaux et sur schistes illitiques qui s'étendent du Koutous à l'est au Gourma à l'ouest.

5.22

L e s s t e p p e s a r b u s t i v e s e t l e s
b r o u s s e s d e s s o l s
p e u p e r m é a b l e s

Les steppes arbustives à *Acacia seyal* sont propres aux glacis à argiles gonflantes calciques (sols vertiques, brun-rouge et bruns tirsifiés, brun eutrophes) ce qui leur donne une extension latitudinale étendue (250-650 mm). Les plus septentrionaux sont très clairsemés (Damergou) et se concentrent dans les lignes de drainage. Une espèce saharienne, l'*Acacia flava*, y est présente. Les steppes situées vers 400 mm de pluies compensent l'insuffisance de l'infiltration par une disposition contractée isohypse de brousse tigrée. Une pelouse claire et naine (*Schoenefeldia gracilis*, *Tripogon minimus*) recouvre pauvrement des bandes fonctionnant surtout comme surface de ruissellement. Elle alterne avec des bandes de fourrés, de bois armés où aux seyal se mêlent diverses espèces bénéficiant de l'accroissement local de l'humectation (*Acacia senegal*, *raddiana*; *Boscia senegalensis*; *Balanites aegyptiaca*). Des *Cymbopogon* et des espèces sciaphiles (*Pennisetum*) caractérisent la strate graminéenne. Les variations parallèles

de l'état physique et de la structure des sols, alternativement compacts, laminaires et poreux, verticalement fissurés, assurent la stabilité de cette adaptation active qui va parfois jusqu'à créer une mosaïque de sols (brun-rouge et brun tirsifié). Elle diminue de régularité et disparaît lorsque le substrat perd en homogénéité, gagne en perméabilité ou lorsque la pluviosité croît. Cela s'observe sur les toposéquences plus diversifiées à smectites sodiques (granites, certains grès crétacés) où entrent des sols à horizons sableux. Les espèces de sols acides (*Commiphora*) ou planiques (*Lansea humilis*) y sont alors relativement plus nombreuses. Sur les chaos rocheux du Damagaram, du Mounio (*Lansea fructicosa*) sur les versants complexes des Maggia, la disposition des steppes d'*Acacia* est encore anarchique. Tout au sud, les dernières d'entre elles sont surcimées par les espèces de la savane boisée (*Lansea acida* et *microcarpa*, *Sterculia*, *Acacia sieberiana*).

Une formation apparentée à la précédente est celle des alluvions complexes du Kédzel, aux textures variées mais aux sols uniformément peu perméables et à pH élevés. Des *Acacia raddiana* forment la strate principale avec des *Acacia seyal*, *senegal*, des *Commiphora*. Une sous-strate de buissons xérophytes à *Cordia rothii*, gharaf et *Grewia tenax* et une prairie sahélienne (*Schoenefeldia gracilis*) la complètent.

La végétation des sols acides est représentée par la steppe arbustive irrégulièrement contractée à *Commiphora africana* et *pedunculata* mêlée d'espèces de sols très compacts (*Combretum micranthum*) qui s'étend sur les sols ferrugineux lessivés-appauvris des argilites kaoliniques continentales (Ct.2) jusqu'à plus de 600 mm de pluies. La strate graminéenne se concentre sous les buissons (*Pennisetum pedicellatum*, *Eragrostis*, *Cymbopogon*, *Schoenefeldia*). Les glacis des schistes d'Ydouban, à sols squelettiques acides et hydromorphes, sont recouverts de fourrés immenses presque uniquement composés de *Dichrotrachys glomerata*.

5.23

L e s s t e p p e s h e r b e u s e s
v i v a c e s

Les sables très meubles et pauvres en fines de la cuvette tchadienne, des vallées sèches, des grandes

rides dunaires sont presque entièrement dépourvus d'arbres et sont recouverts de touradons gros et espacés de l'*Aristida longiflora*, très localement de l'*Hypparhenia dissoluta*, entre lesquels croît la strate prairiale sahélienne. Les quelques arbres qui la parsèment appartiennent à la savane à *Acacia raddiana* ou à des irradiations de formations plus méridionales à *Combretum glutinosum*, *Terminalia avicennoides*, *Sclerocarya birrea* ou aux palmeraies à *Hyphaene thebaica* dans les vallées sèches et la cuvette. Il apparaît que dans quelques cas, elle puisse être une forme de dégradation de la savane à *Acacia raddiana*, stable dans des conditions d'exploitation modérée. Détruite, elle est remplacée par la prairie à *Cenchrus* et *Aristida mutabilis*.

L'éolisation subdésertique des matériaux sableux favorise d'abord cette formation puis sa substitution par une steppe plus clairsemée à *Panicum turgidum* et *Aristida plumosa*, sans sous-strate annuelle, spécifique des dunes semi-fixées.

5.24 La végétation des Sols Hydromorphes

Lorsque l'engorgement n'est pas trop prononcé et permanent, la végétation conserve un reste de zonalité sahélienne. Ce sont les bois armés à *Acacia seyal*, *pubescens*, *nilotica* des alluvions argileuses, les landes à buissons herbacés d'*Indigofera*, de *Bergia suffruticosa* des bordures sableuses de mares.

5.3 LA PROVINCE BOREALE DES FORETS CLAIRES ET DES SAVANES BOISEES

La végétation est progressivement unifiée vers le sud par la généralisation des toposéquenses à sols kaoliniques désaturés. Les peuplements des enclaves de sols smectitiques peuvent en effet y être considérés comme des irradiations sahéliennes jusqu'au sud du Niger où les groupements climatiques (à *Terminalia macroptera*)

particuliers à ce substrat font défaut. L'étendue de cette Province permet d'y pratiquer une subdivision zonale nuancée par les caractéristiques du substrat.

5.31 L e s s a v a n e s a r b o r é e s
à C o m b r é t a c é e s

Elles limitent au nord la Province sur des sols de prédilection qui sont les Sols Ferrugiueux Peu Lessivés, la plupart sur la couverture sableuse éolisée ancienne. Le Combretum glutinosum, ubiquiste, y est diversement associé au Terminalia avicennoides sur les sols les plus secs, très sableux ou septentrionaux, au Sclerocarya birrea sur les sols point trop désaturés (Crétacé, Birrimien), au Combretum nigricans sur les sols très acides et pauvres en calcium (Continental Terminal, alluvions de Maradi). La prairie sahélo-soudanaise à Ctenium elegans, Heteropogon hagerupii, Loudetia hordeiformis, forme la strate graminéenne. Un arbrisseau, le Guiera senegalensis et un arbre souvent planté, le Faidherbia albida, sont caractéristiques des terres de culture dont l'abondance explique la physionomie très claire de ces savanes. Leur extension commune se situe entre 450 et 600 mm de pluies. Les Sclerocarya et les Terminalia entrent jusqu'à 300 mm dans la Province steppique sur des dunes à sols très perméables, en peuplements souvent monospécifiques et rabougris, avec une strate prairiale sahélienne. Inversement, les savanes à Combretum descendent vers le sud jusqu'à 700-800 mm avec les sables acides dérivés des grès continentaux du Niger occidental.

5.32 L e s s a v a n e s b o i s é e s

Les espèces précédentes sont surcimées entre 600 et 800 mm de pluies par des arbres tels le Bombax costatum (Continental Terminal) le Boswellia dalzielli (alluvions de Maradi) le Prosopis africana et le Butyrospermum parkii qui subsistent seuls dans les jachères dont l'arbuste caractéristique est le Bauhinia reticulata. L'aspect boisé n'a été conservé que dans des réserves forestières ou dans des régions défavorables aux établissements permanents (biseau sec de Kirtachi). Le

tapis graminéen est la prairie sahélo-soudanaise progressivement envahie par la savane vivace à Andropogonées dès 650 à 700 mm de pluies.

5.33 Les forêts claires

Elles n'occupent plus que des surfaces limitées au sud du Niger, pour la plupart à plus de 800 mm, sur des Sols Ferrugineux Lessivés. L'*Anogeissus* en est l'espèce la plus commune, capable de remonter jusqu'au Sahel dans des galeries ripicoles. Il est associé au *Pterocarpus erinaceus*, à l'*Azelia africana*, au *Burkea africana* (Voltaïen) à l'*Isobertinia doka*. Les sous-strates ligneuses sont les espèces de savanes précédentes, outre quelques arbustes plus spécifiques : *Bauhinia thonningii*, *Crossopteryx febrifuga*, *Ferethia canthioides*, *Gardenia*. Le tapis herbacé est la savane à Andropogonées vivaces : *Andropogon gayanus*, parfois *Cymbopogon giganteus*.

5.34 Brousses et halliers à Combrétacées et Acacia lianescentes

Ces formations se substituent aux savanes et dans une moindre mesure, aux forêts claires lorsque des horizons B ferritisés ou certains grès sont dénudés par l'érosion, tous substrats ayant en commun d'être kaoliniques, ferrugineux, désaturés, imperméables. Inféodées aux reliques des modelés cuirassés et concrétionnés, elles parviennent jusque dans la Province steppique où elles s'enrichissent d'espèces sahéliennes tolérantes à l'acidité et à la compacité (*Commiphora*). Elles s'étendent très largement dans la zone des savanes arborées ou boisées et se restreignent dans la zone des forêts claires aux cuirasses les plus compactes où elles prennent l'aspect très particulier des prairies à bouquets d'arbres des bowé. La strate buissonnante caractéristique est formée de *Combretum micranthum*, des *Acacia macrostachya* et *ataxacantha*. Elle est surcimée de quelques arbres empruntés au stock local des savanes : *Combretum*, *Sclerocarya*, *Bombax*, *Anogeissus*. Le tapis herbacé est sciaphile (*Pennisetum*) avec des espèces saxicoles (*Loudetia togoensis*). Diverses

dispositions contractées naissent de l'adaptation à l'insuffisance des réserves hydriques. Les brousses annelées des toposéquences autochtones érodées sur grès crétacés en sont un cas très particulier où des aréoles nues à restes de sols smectitiques, sont entourées d'anneaux arbustifs sur concrétions ou sables de vieilles nebkas. Les entablements de la surface supérieure sur grès sidérolithique et plus encore sur grès du Moyen N'iger portent de belles brousses tigrées stabilisées par les différences physiques entre les sols dénudés, excessivement compacts, et les sols couverts finement structurés. Elles disparaissent à plus de 750-800 mm de pluies, ou sur les glacis plus accidentés et moins continûment cuirassés. Là persiste encore une répartition en gros buissons ou bosquets.

5.35

L e s s t e p p e s h e r b e u s e s
v i v a c e s

Les *Aristida longiflora* descendent jusqu'à 650 mm sur les hautes rides dunaires et jusqu'à 875 mm dans les Dallols, avec une sous-strate prairiale sahélo-soudanaise, parfois encore sahélienne dans les vallées sèches dont les sols conservent localement des pH élevés. La transition avec la savane à *Andropogonées* soudaniennes est assurée vers 500 mm par l'apparition du *Cymbopogon giganteus*, puis de l'*Andropogon gayanus*. Les arbres (*Combretum*, *Terminalia*, *Sclerocarya*) sont plus denses que dans la Province steppique. Certains sont caractéristiques des dépressions à nappe phréatique élevée: *Hyphaene thebaica*, *Parinari macrophylla*, *Borassus flabellifer* (plus de 700 mm) *Vitex*.

5.4

LA VEGETATION DES SOLS HYDROMORPHES
ET HALOMORPHES

Elle varie selon la durée de l'engorgement et la texture des sols. Aux valeurs moyennes de ces facteurs correspondent assez souvent des savanes arborées à *Myrtagyna inermis* avec une strate graminéenne vivace de Vétivers. Aux valeurs fortes correspondent des prairies

prostrées (*Echinochloa stagnina*). Les roselières (*Echinochloa pyramidalis*, massettes) sont communes dans les marais phréatiques à substrat sableux. Leurs bordures, ainsi que celle du lac Tchad, sont salées et couvertes d'une prairie à *Sporobolus spicatus* localement parsemée de *Tamarix gallica*. On peut encore citer les concentrations forestières en galeries sur les alluvions un peu surélevées bordant des lits mineurs (à Anogeissus, à *Khaya senegalensis*, à *Faidherbia albida*).

5.5

HISTOIRE DES PEUPELEMENTS VÉGÉTAUX

L'adaptation édaphique de la végétation a suggéré qu'elle pouvait avoir une histoire parallèle à celle des sols. Dans cette hypothèse, le fonds primitif est celui des forêts méridionales encore liées aux Sols Ferrugineux et Ferrallitiques les plus anciens qui ont longtemps recouvert la totalité du Niger. Un sous-ensemble, à l'origine des brousses à Combrétacées actuelles, en a été isolé par la dénudation des horizons indurés. Un premier stock sahélien encore adapté aux sols acides est apparu au nord à la suite de l'aridification progressive; celui des *Commiphora* et de leurs compagnes. Une deuxième population a suivi, celle des *Acacia*, lorsque les argiles gonflantes se sont étendues sur les glacis. Les épisodes désertiques ont laissé des substrats les uns imperméables et érodés, les autres très filtrants et dunaires. Des steppes d'épineux sur les premiers, herboux sur les seconds, ont été les peuplements pionniers. Des espèces du sous-bois des forêts claires ont facilement recolonisé les dunes, jusqu'à pénétrer dans une partie de la zone sahélienne. L'une ou l'autre des populations sahéliennes se sont cantonnées sur leur partie nord, selon le chimisme local qui avait déjà déterminé leur répartition sur les sols autochtones. Seule la brousse à Combrétacées a été capable de reconquérir une partie des modelés à sols peu perméables désaturés, avec une réussite très inégale, élevée sur les entablements ferrugineux, très moyenne sur les argilites du Continental Terminal où les *Commiphora* dominent encore à 600 mm de pluies.

Les réserves forestières montrent que primitivement la très vaste étendue de savanes arborées et boisées qui sépare entre 400 et 800 mm de pluies les steppes sahéliennes

des forêts claires n'existait pas ou du moins devait être beaucoup plus réduite. Ces campagnes ouvertes sont dues à la pratique millénaire de la culture extensive et itinérante à la houe qui a éliminé une partie de la strate ligneuse et favorisé les prairies aux dépens de la savane vivace. Ces premiers défrichements ont précipité des déséquilibres latents et accéléré l'érosion normale de sols, notamment sur des remblais fluviatiles.

6 L'UTILISATION DES SOLS

6.1 LES CONTRAINTES CLIMATIQUES

6.1.1 La zonation des pâturages et des cultures pluviales

Elle est fort nette au Niger parce que les sols les plus utilisés, étant fort perméables et bien drainés, dépendent pour leurs réserves hydriques beaucoup plus de l'équilibre pluviométrique du site que d'un appoint supplémentaire d'eau de ruissellement ou de nappe.

Il n'y a pratiquement que des pâturages à moins de 350 mm de pluies. La culture n'y est cependant pas absolument impossible. On y voit encore quelques champs de pénicillaires à grand écartement sur des dunes très filtrantes (E.2). Les aléas pluviométriques y empêchent une véritable sédentarisation.

Entre 350 et 450 mm, les millets s'étendent progressivement, associés au niébé. De 450 à 600 mm, le sorgho

et l'arachide apparaissent en cultures intercalaires, surtout sur les sols brunis à drainage réduit des dépressions.

De 600 à 800 mm, l'arachide est cultivable dans tous les sites, avec des variétés à long cycle. Elle est associée au sorgho qui prend relativement plus d'importance, au millet qui reste la culture principale, au niébé. C'est là la zone agricole la plus peuplée et la plus riche du Niger.

A plus de 800 mm, le coton, jusque là cultivable uniquement sur des sols riches et irrigués, peut être cultivé sur des terres plus pauvres et étendues. Dans les champs de céréales, dont le modelé n'est plus à plat mais billonné, le sorgho tend à prendre le premier rang et le maïs fait son apparition.

6.12

Le calendrier agricole

Il se divise en trois périodes :

- juin-septembre : mois pluvieux, à forte hygrométrie (78%) chauds (27°) à insolation basse et à ETP relativement forte (0,5 et 5,2 mm/jour) cultures tropicales pluviales;
- octobre-février : saison fraîche (25° en décembre) sèche (25% d'hygrométrie) à forte ETP (5,0 mm/jour) à forte insolation relative (0,75); c'est l'époque des cultures irriguées ou de décrue, tropicales ou de climat tempéré (blé dur, légumes);
- mars-mai : saison très chaude (33,5°) et sèche (30%); période de repos végétatif; survie difficile des cultures pérennes qui en zone sahélienne ne peuvent persister qu'en phréatophytes ou abondamment irriguées (ETP : 6,3 mm/jour) avec brise-vents.

Les agriculteurs nigériens ont, d'une façon générale, davantage développé les techniques d'utilisation des Sols Ferrugineux Peu Lessivés, les plus légers, que celles convenant à des sols plus lourds qui, il est vrai, occupent des surfaces de beaucoup plus faibles.

Les sols sableux à sablo-argileux les plus recherchés ont soit des réserves minérales meilleures (socle du Liptako et du Damagaram, grès crétacés d'Ajekoria, grès de Magaria-Matameye) soit un modelé aplani limitant les pertes d'eau (Maradi, sud de la ligne Zinder-Guezaoua) soit une nappe phréatique point trop profonde (vallées sèches). Les plus pauvres, les plus acides (sur Ct.2, entre Dogondouchi et Birni N'Konni) ceux qui ont en même temps les pentes les plus fortes (vallées du Moyen Niger) sont délaissés en totalité ou en partie. Les plus sableux, dont les réserves hydriques sont de l'ordre de 20 à 30 mm/m (dunes E.2) sont abandonnés aux troupeaux sauf à la limite nord des cultures où leur très grande perméabilité leur redonne un certain avantage.

Les cuirasses et les sols gravillonnaires forment des surfaces inutilisables considérables, surtout au Niger occidental. Mais les Sols Ferrugineux Lessivés qui ont conservé quelque épaisseur ne sont que rarement cultivés, au sud du territoire (région de Gaya).

Les sols sur argiles gonflantes ne sont pas, ou du moins peu souvent, cultivés, bien qu'à la différence des précédents ils soient chimiquement riches. C'est que des travaux de petite hydraulique sont nécessaires à leur humectation et que leur ameublissement n'est pas réalisable avec l'outillage courant. Les Vertisols calcaires de l'Ader Douchi réalisent naturellement cet ameublissement et peuvent être irrigués au chadouf (blé dur) ou par épandage de crue (sorgho, coton).

Les Sols Hydromorphes sont inégalement utilisés. Ils peuvent être totalement délaissés en dépit de leur qualité (Gorouol). La culture de décrue des sols argileux est relativement peu répandue (nord de la vallée du Niger) bien qu'elle soit un mode de production du sorgho très important dans certains territoires

sahéliens (Tchad, Mauritanie). L'extension des rizières inondées a longtemps été freinée par l'absence d'aménagements dans la vallée du Niger, alors que la faible réussite des riz pluviaux dans le cours inférieur des Dallols est imputable aux sols, trop sableux et à pH trop élevés.

Les cultures phréatophiles connaissent un certain succès, au moins en ce qui concerne la canne de bouche, dans le bassin de la Korama, dans la région des lacs du Mandaram, en divers points du Dallol Maouri. Mais il s'en faut de beaucoup pour que cette possibilité soit partout pleinement exploitée (Dallol Bosso).

6.3 LES CULTURES

6.31 Surfaces totales

Sur les 18 750 000 ha de terres cultivables, 2 250 000 ha étaient cultivés en 1960, soit 12%. Ce taux est de l'ordre de 25% dans une région relativement peuplée comme le foyer Haoussa du Niger oriental et tombe à 0 dans les déserts situés entre le Djernaganda et les Maggia. Pour faible qu'il paraisse, il limite la conservation et la fertilité naturelle des sols à un niveau assez bas, dont les rendements font foi.

6.32 Répartition des cultures principales

Elle est connue avec précision grâce à une enquête FAO de 1960. Le millet vient largement en tête, surtout dans les régions sahéliennes. Suivent les niébés et le sorgho, ce dernier plus fréquent au sud ou, en culture pure, sur les alluvions verticales des Maggia. L'arachide n'est vraiment importante que de Maradi à Matameye, localisation moins pédologique qu'économique.

Les facteurs de la localisation des cultures sont, dans le contexte technique local, les suivants :

- 1 cultures de saison chaude
 - 1.1 limite pluviométrique de 300 mm ou moins; sols d'autant plus sableux que la pluviosité est plus basse (Sols Subarides, Sols Ferrugineux Peu Lessivés, faciès brunis des dépressions) : pénicillaires et niébés;
 - 1.2 limitation pluviométrique
 - 1.21 pas de limitation édaphique : sorgho pluvial (450 mm) et manioc doux;
 - 1.22 limitation édaphique
 - sols sableux (Ferrugineux Peu Lessivés) : arachide
 - sols perméables mais à réserves hydriques et minérales élevées :
 - à 400 mm sols alluviaux calcimorphes, vertisols calcaires : coton irrigué
 - à 800 mm sols bruns eutrophes, sols ferrugineux peu lessivés à lessivés : coton pluvial
 - à 800 mm comme ci-dessus et sols ferrugineux lessivés : maïs pluvial;
 - sols peu perméables, non sableux, à pH acide :
 - riz pluvial (800 mm) ou inondé;
- 2 cultures irriguées de saison fraîche ou pérennes
 - 2.1 sols très perméables (alluvions récentes sableuses)
 - cultures maraîchères
 - 2.2 sols perméables mais à réserves minérales et hydriques élevées :
 - vertisols calcaires, sols alluviaux calcimorphes; blé dur (irrigué) et coton (épandage)
 - 2.3 sols à nappe proche de la surface
 - riches en matière organique : patate douce
 - sableux : canne de bouche, manioc, dattier (moins de 750 mm de pluies)
 - 2.4 sols argileux, en général des Vertisols Hydro-morphes
 - sorgho de décrue, riz.

La planimétrie des cartes pédologiques faite par les Services de l'Agriculture du Niger a fait ressortir

que les terres aptes à certaines spéculations sont occupées :

- à 17% par l'association mil-sorgho
- à 10% par le sorgho et par l'arachide.

Le retard, par rapport au millet, de la diffusion de l'arachide et du sorgho tient à des causes très différentes, économiques pour l'une, techniques pour l'autre qui s'accomode de sols lourds traditionnellement délaissés.

Une autre caractéristique de l'agriculture nigérienne est l'association des principales cultures sur 70% de la surface cultivée. On ne renonce à cette garantie contre les aléas climatiques que sur les sols ne convenant qu'à une seule culture (terres à sorgho de décrue ou irriguées par épandage) ou situés à la limite nord où l'on ne peut risquer que le mil.

6.33 Les rendements

Les rendements des cultures sèches sont peu élevés et croissent avec la pluviosité. En 1960, le millet avait produit de 300 à 500 kg de grain à l'hectare pour des pluviosités de 300 mm à 500 mm, soit de 1 000 à 1 500 kg de matière sèche totale, valeur du même ordre de grandeur que celle des pâturages naturels. Si dans le Sahel le facteur limitant est très vraisemblablement la pluviosité, des travaux de P.VIDAL (1962) sur des sols "diors" du Sénégal analogues aux Sols Ferrugineux Peu Lessivés du Niger ont montré que vers 670 mm, les réserves d'azote ne suffisaient plus à l'utilisation complète de l'eau du sol (125 mm/m entre PF 2,7 et 4,2).

Les exportations correspondantes en éléments fertilisants sont également médiocres :

	N	P2O5	K2O
quantités exportées en Kg/ha pour l'ensemble des cultures de mil, de sorgho, de niébé, d'arachide	10,8	2,6	5,6
mêmes valeurs ramenées à l'ensemble des terres cultivables	1,3	0,3	0,68

mais, le temps et l'érosion aidant, elles ont suffi à amener la fertilité des sols au bas niveau qui est actuellement le leur.

6.4

L'ELEVAGE

L'association permanente de l'élevage et de l'agriculture n'est que localement réalisée, en pays Haoussa par exemple. Les troupeaux nomades descendent du Sahel en saison sèche vers les terres de culture méridionales débarassées de leurs récoltes. Les axes de pénétration sont souvent les pâturages édaphiques des sols très sableux des grandes rides dunaires, des vallées sèches, de la cuvette tchadienne. Le bétail prend toutefois beaucoup de sa nourriture dans les champs, en échange d'une fertilisation organique appréciée. En début de saison des pluies, le bétail regagne les steppes septentrionales où il se cantonnera pendant tout l'hivernage.

Les pâturages sahéliens sont en bon état car ils ne peuvent être longuement utilisés faute de puits suffisamment nombreux. La destruction des sols par surpécoration a été constatée aux abords de points d'eau permanents, surtout sur les sols éolisables des grandes crêtes dunaires, où peuvent apparaître des champs de nebka vives. En dehors de ce cas très particulier, l'action des troupeaux sur les sols paraît actuellement assez faible.

3.5

CONCLUSION

L'utilisation des sols par les agriculteurs a été suffisamment longue pour que, en dépit de son caractère extensif, elle ait profondément modifié le couvert végétal et les caractéristiques édaphiques qui lui sont liées, tels les taux de matière organique, l'épaisseur et la structure des épipédons, le régime hydrique. L'équilibre entre la fertilité naturelle, la pluviosité, les techniques traditionnelles a atteint un palier très bas sur les terres sableuses, trop exclusivement recherchées.

Chapitre II

LE MANTEAU

D'ALTERATION KAOLINIQUE

1. C A R A C T E R E S G E N E R A U X

Des grès, des cuirasses, ont protégé de l'érosion des lambeaux épais d'horizons d'altération kaolinique, plus rarement alumineux, actuellement dispersés sur tout le Niger. L'uniformité et la nature de leur mode de gisement, de leurs caractères minéralogiques et chimiques, permettent de les identifier à ce même manteau d'altération qui se serait développé sur les continents émergés du Paléocène (GREIGERT, 1967) en milieu biostasique, alimentant de sa phase migratrice soluble les dépôts marins du centre du Niger (FAURE, 1966 a). Des mouvements tectoniques auraient favorisé l'érosion inégale de ces altérites et l'accumulation du matériel résiduel dans la cuvette tertiaire du Niger Moyen, dont les grès continentaux ont effectivement la minéralogie d'un "reliquat" d'altération (PEDRO, 1964). Il paraît encore vraisemblable que c'est dans ce matériau, où il existait encore, cela tout particulièrement au Niger Occidental, que se sont enfoncés les glacis quaternaires dont les sols convergent alors vers ceux des aires correspondantes sur grès kaoliniques. Dans ces régions très anciennement kaolinisées, ce n'est en effet qu'à la fin du Quaternaire, sur les glacis inférieurs, qu'apparaissent des produits d'altération différents, à argiles smectitiques, soit que le front ancien n'ait été que tardivement rattrapé par l'érosion, soit que la kaolinisation se soit maintenue.

Les kaolins ne sont qu'un horizon très caractéristique d'un profil dont on connaît mal la zonation minéralogique et chimique, les niveaux inférieurs en étant inaccessibles aux moyens ordinaires de prospection. L'absence de coupes naturelles complètes enlève de la rigueur aux assimilations de profils partiels fondées sur un schéma de succession morphologique, tel que celui qu'utilisent les hydrogéologues (DEGALLIER, 1964) :

- " zone "marécageuse" au sommet, puis kaolins,
- " sables feldspathiques (ou arène) roche altérée,
- " roche saine

dont les termes inférieurs peuvent être ceux de plusieurs types d'altération. Sur les formes basses, juvéniles du modelé, on ne peut encore séparer avec certitude les niveaux d'altération récents de ce qui pourrait provenir des profondeurs de la vieille lithomarge. Les traces d'altération sont difficiles à apprécier, nulles ou se limitant à une redistribution plasmatisée, sur les roches peu susceptibles de kaolinisation, très siliceuses ou ferrugineuses ou déjà kaoliniques. Elles ne sont alors jamais suffisamment caractéristiques pour qu'on puisse les attribuer sur leur seul aspect à un épisode d'altération précis.

La localisation du vieux manteau d'altération doit donc être restreinte à celle des kaolins et des formations alumineuses associées qui s'observent dans deux types de gisement :

sous des cuirasses, pliocènes ou quaternaires, sur les granites du Liptako, sur les granites alcalins de la région de Zinder, sur les schistes du Buem de la vallée de la Soanda (parc national du W);

sous les grès du Niger Moyen, des coupes sont visibles tout le long de la vallée du Niger, sur granites, sur gneiss Dahomeyen, sur roches vertes (PLOTTE, 1961); des concentrations d'alunite ont été décrites sur les bords de la Tapoa au niveau du contact Voltaïen-Continental Terminal (GREIGERT, 1955).

Ces divers témoins se répartissent plus généralement sur le "domaine d'altération" éocène dont FAURE (op.cit.) a esquissé l'extension, du Soudan au Mali et au Sénégal, et décrit des restes à alunite et bauxite sur grès illitiques crétacés fossilisés par les grès tertiaires des massifs d'Agadem et Termit. Il nous paraît moins assuré que les horizons kaoliniques soient nécessairement des

jalons de l'extension des grès du Moyen Niger (PLOTTE, op.cit.).

L'absence de manteau d'altération sur les formations pré-tertiaires à l'intérieur du domaine d'altération est due dans certains cas à une érosion avancée, à l'extension généralisée de modelés récents (Crétacé du Niger Oriental et Central) dans d'autres à une expression de l'altération difficilement appréciable sur certaines roches : schistes Birrimiens et Nigériens, grès-quartzites Voltaiens, quartzites Sugariens du Damagaram. Les grès essentiellement kaoliniques du Koutous portent de faibles traces d'altération dont l'attribution à l'Eocène, ou à une période plus tardive, reste encore incertaine (FAURE, 1962-1963).

2. LES KAOLINS SOUS CUIRASSE

2.1 SUR LES GRANITES CALCO-ALCALINS DU LIPTAKO

2.11 Morphologie

Les coupes les plus épaisses sont protégées par la cuirasse pliocène :

a) butte-témoin de Tondi Kario

Lat. : 14° 46' 10" N.
Long. : 0° 58' 30" E.
Cote : 321 m au sommet

15 km au S-E d'Ayorou, en rive ouest du Niger, à 50 km

à l'ouest de la falaise des grès du Moyen Niger.

0 - 4 m cuirasse démantelée

4 - 70 m argile onctueuse (kaolin) rose et violette à fantômes cristallins ferruginisés ou blanchis. La cohésion augmente vers la base où apparaissent des boulders de roche altérée, un granite à biotite blanchi. Pas d'arène proprement dite. Aux 2/3 de la coupe, un filon de gabbro intrusif à grain très fin.

b) butte-témoin de Bounga

Lat. : 12° 42' 30" N.

Long. : 1° 37' 3" E.

Cote : 305 m au sommet

17 km au S-O de Makalondi, à 40 km à l'ouest de la falaise des grès.

0 - 11,5 m corniche et escarpement formés par une cuirasse ferrugineuse à grosses tubulures.

11,5 - 55 m kaolin rose; sommet masqué par un éboulis; base conservant la structure de la roche, avec quartz friables, feldspath argilisés, phyllites altérées rouges et vertes, septa argileux rouges correspondant à des veinules surmicacées, filon de pegmatite mieux conservée à feldspath blanchis. A la cote -51 m, un filon de quartz anciennement dégagé porte une cuirasse ferrugineuse secondaire (2 m).

55 m passage rapide à une arène blanche à quartz et feldspath friables.

Ces buttes ont partout le même aspect : au sommet une corniche, puis une pente escarpée (45°) formée de gros blocs basculés de la cuirasse ancienne; dans la partie moyenne un versant raide sur les kaolins protégés par un éboulis localement raviné; à la base un glacis peu pentu sur l'arène ou la roche altérée se raccordant au glacis inférieur fonctionnel. Les kaolins sont rarement visibles hors de ces sites, si ce n'est sous quelques cuirasses des modelés supérieurs et moyens (à Taka, 13° 41' N., 0° 46' E.). Au contraire des argiles à quartz,

des arènes comparables à celles qui forment la partie inférieure des buttes à kaolins, sont très répandues et visibles, plus ou moins ferruginisées, sous toutes les cuirasses ferrugineuses, sous des cailloutis et conglomérats de terrasses (Dargol, Sirba) sur toute l'étendue du glacis inférieur au sud de la latitude de Tera (14° N.). Seule la connaissance du profil topographique du front d'altération permettrait de savoir si ces horizons d'arène ou de roche altérée sont partout ceux du manteau d'altération paléocène, ou encore dans quelle mesure ils auraient pu être modifiés ou accrus pendant des périodes plus tardives. Or nous ne disposons pas de relevés précis de ce front; seuls quelques indices montrent que les parties basses du modelé, glacis inférieur ou entailles du réseau de drainage, n'en sont pas très éloignées : multiplication des boulders, faible épaisseur de la frange d'altération relevée par les hydrogéologues dont les thalwegs colmatés ou les dépressions ensablées du glacis inférieur (1 à 2 m dans la région de Tera, de Dibilo-Foneko). L'hypothèse de l'homologie de ces divers niveaux arénacés, plus précisément d'une très faible évolution de ces derniers postérieurement à leur première élaboration au sein du manteau, suffit à intégrer les quelques données connues. Elle a pour conséquence :

- de donner au manteau une grande épaisseur
 - 40 à 70 m pour les kaolins
 - 6 à 14 m pour les "sables feldspathiques" (PLCTE, 1961)
 - 20 à 26 m pour la roche altérée
 - soit un minimum de 70 m sous la cuirasse Pliocène à une distance de 50 km de la falaise des grès du Moyen Niger
- de faire du manteau le matériau dans lequel s'est enfoncé le système de modelés quaternaires, le glacis inférieur rattachant en quelque sorte le front d'altération. Or, sur la coupe ci-jointe, on constate que l'ampleur du modelé est précisément du même ordre de grandeur que les épaisseurs calculées ci-dessus. La mollesse générale du relief, comparable à celle qui caractérise les paysages sur la Série argilo-sableuse, kaolinique, du Continental Terminal, trouverait là son explication, qui ne serait d'ailleurs qu'un cas particulier d'une cause plus générale, indépendante de l'hypothèse choisie, la subordination de l'érosion à une altération

argileuse de la roche.

- de tenir pour secondaires les modifications quaternaires du manteau, dans son chimisme et dans la topographie du front d'altération. Cela s'admet facilement des modelés supérieurs et moyens, des aires kaoliniques du glacis inférieur et entraîne, pour les aires à montmorillonite de ce dernier, la conséquence supplémentaire que ce nouveau type d'altération n'est pas celui d'une roche saine, mais d'un matériel préalablement modifié. Les conditions de formation de smectites peuvent en effet être réunies à la base du vieux manteau : présence de bases et de silice amenées ou médiocrement évacuées par la nappe phréatique, occurrence prévisible et démontrée par l'analyse chimique, existence manifeste de silicates primaires non altérés. Nous ne connaissons pas l'expression moyenne réelle de ces virtualités. Elles peuvent être à l'origine de septa d'argiles gonflantes inclus dans les kaolins. Ainsi à Fenfetou (13° 16' N., 1° 50' E.) le glacis inférieur kaolinisé sur granites migmatitiques montre un banc de schistes verts à art. enduits de montmorillonite et argile impure vertique. Mais en dehors de circonstances minéralogiques particulièrement favorables, nous ne pensons pas qu'il existe un véritable horizon à argiles gonflantes, la présence de ces dernières en faibles quantités restant plausible.

2.12 M i c r o m o r p h o l o g i e

Lame 116, colline de Bounga, kaolin légèrement cohérent.

Squelette : quelques quartz à bords fortement cariés, fissurés, certaines fissures ferritisées.

Plasma : incolore, anisotrope, à extinction tachetée (homoplasma argileux = argillasepic fabric) parsemé de flocons rouges apparemment isotropes, se résolvant localement en sphérulites (deux microns) légèrement bi-refringentes, fréquemment abondantes au contact des quartz. Des paquets de biotite exfoliée entièrement ferruginisée. Très rarement des houppes incolores fibro-radiées (gibbsite ?).

Interprétation : kaolinite localement surchargée de goethite variablement cristallisée enrobant des quartz résiduels fortement corrodés.

2.13

Minéralogie et chimie

L'analyse aux rayons X de l'échantillon 113 a donné 10/10 de kaolinite et des traces d'illite altérée dans la fraction argileuse. Ce résultat peut être retrouvé en utilisant les chiffres de l'attaque tri-acide dans un calcul qui donne une estimation grossière de la composition minéralogique virtuelle. On suppose que les traces de minéraux primaires sont dissoutes, on inclut K dans une série muscovite-illite, Mg dans une série chlorite-vermiculite, Na et Ca dans les plagioclases, Fe dans une série goethite-oligiste, la perte au feu étant assimilée à de l'eau de constitution, cela étant justifié par la cohérence des résultats et leur conformité aux autres examens. On retrouve la dominante kaolinite-goethite-quartz décelée en lame mince, la gibbsite et l'oligiste étant improbables à des taux importants. Les taux de kaolinite dépassent ceux de l'argile mécanique, ce qui implique la présence de cristaux de la taille des limons ou des sables fins (WACKERMANN, 1964) ou d'agrégats argileux ferruginisés, micromorphologiquement possibles. L'insoluble est de l'ordre de grandeur des sables grossiers, qui coïncident donc avec le quartz résiduel, comme on pouvait déjà le constater en lame mince.

Nous ne disposons pas d'échantillons de roche fraîche prélevés à la verticale des kaolins, seulement d'analyses faites par les géologues (DUCELLIER, 1958) sur les granites de cette région géologique. Elles permettent de conclure à une kaolinisation très poussée, ne laissant subsister que de faibles quantités de minéraux transitoires (illite) ou résiduels. Elle respecte plus ou moins le quartz, plus morcelé que dissout, mais implique l'élimination partielle de la silice combinée ($1/3$ environ) et celle, presque totale, des bases (9/10). Fer et alumine paraissent se maintenir dans le milieu d'altération.

Les bases échangeables ne forment qu'une très faible fraction des bases totales, moins de 10% pour Ca et Mg,

moins de 3% pour K et Na, sauf dans un échantillon prélevé à la base des kaolins (116) riche en sodium échangeable, à pH élevé, et renfermant vraisemblablement 0,2% de carbonates alcalins. Cela démontre la possibilité de concentrations locales de bases issues du manteau kaolinique, déjà déduite de l'étude morphologique des sites. Nous n'avons pas observé nous-même le terme inverse corrélatif, éluvial, mais on peut lui rapporter le faciès très arénacé, très pauvre en argile, décrit par PLOTE (1961) au-dessus d'une arène normale.

2.2 SUR SCHISTES DU BUEM

Site de la Soanda

Lat. : 12° 05'0" N.
Long. : 2° 18'40"E.
Cote : 370 m eu sommet

Rive droite de la Soanda; sud-ouest du parc du W.

Sous une corniche de cuirasse ferrugineuse conglomératique, affleure une argile rose et jaunâtre, à filonnets de quartz, dont la fraction fine renferme 7/10 de kaolinite, 3/10 d'illite, de la goethite. Les schistes sains sont visibles dans le lit de la Soanda, à la cote 240, où ils se délapidifient actuellement en une argile verticale à forte capacité d'échange (70 méq/100 g) nettement plus élevée que celle de l'argile d'altération (15 à 35 méq) ce qui décèle l'existence d'argile montmorillonitique dans les schistes eux-mêmes.

3. LES KAOLINS SOUS GRÈS

3.1 OBSERVATIONS DES GÉOLOGUES (Greigert, 1955 - Plote, 1961 - Jeambrun, 1962)

Épaisse de dix à quarante-cinq mètres dans la vallée du Niger, la lithomarge se développe sur des granites, des gneiss, des roches vertes selon la zonation verticale : kaolins, sables feldspathiques, roche altérée dans des fissures. Elle est remaniée au contact des grès, et parfois dans sa masse, en conglomérats, brèches, arkoses. Les kaolins contiennent des micas résiduels et des traces d'alunite pouvant donner lieu à des concentrations (parc du W).

3.2 OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES

On observe dans la vallée du Niger la même succession de types d'altération que dans le bassin, soit au sommet des kaolins, à la base une arène kaolinique parfois remplacée par une argile sableuse smectitique, ces deux matériaux pouvant parfois s'imbriquer (Farie Haoussa). Des sels peuvent apparaître aux cotes basses.

Dans les sections de la vallée resserrée entre les plateaux des grès, cette succession paraît être celle d'horizons de la même formation. Au sud de Niamey, les kaolins apparaissent sous les grès (cote 248), sous le conglomérat de la terrasse supérieure (cote 218) sous la cuirasse moyenne (cote 199); une argile verdâtre, sableuse, parfois alcalisée en saison sèche supporte

les cailloutis et les argiles du lit majeur (cote 172) la roche saine n'affleurant largement que dans le lit mineur. Cette séquence est encore celle de l'Arakoye Tondi, sur gneiss, où une butte kaolinique domine des Sols Bruns Eutrophes.

Au nord l'élargissement de la vallée sur le socle n'a laissé subsister que les niveaux inférieurs : arènes kaoliniques de Meana, sur granites, argiles gonflantes de Sakoara, de Farie Haoussa sur roches vertes.

Le manteau d'altération n'est pas tronqué par les grès partout au même niveau, ce qui décèle des irrégularités topographiques de la surface infra-continentale, dont les barres de quartzite du W sont un autre exemple. Ainsi le contact est une arène à muscovite à SAY (cote 180)

Les formations généralement plus ferrugineuses du joint avec les grès, indurées (grès à oolithes, grès ferrugineux divers) ont parfois guidé, en les stoppant, les creusements quaternaires : versant supérieur à l'est de Tillabery, terrasse supérieure au nord de Niamey.

La coupe Makalondi-Mossipaga indique une continuité topographique entre les kaolins sous cuirasse et les kaolins sous grès, ainsi qu'une faible extension du biseau des grès sur le socle, moins de cinquante kilomètres à l'ouest de la falaise actuelle. Des faits topographiques de ce genre et l'absence de témoins pédologiques issus du Continental montrent que l'aire du manteau kaolinique a du, dès l'origine, déborder celle des grès, ce qui est en accord avec les hypothèses touchant à sa genèse.

3.3

DONNEES ANALYTIQUES

Les résultats de l'attaque triacide d'un kaolin sur gneiss et d'une arène à muscovite donnent lieu à la même interprétation que pour les kaolins sous cuirasse : mélange de kaolinite, goethite, de silicates résiduels. Il n'y a pas de gibbsite, mais les analyses complètes des géologues (COLLIN, DUFRESNE, 1961) décèlent la présence fréquente de traces d'alunite, issue de l'altération de la pyrite et de silicates potassiques (FAURE, 1966 a). Ce minéral, habituellement associé à la kaolinite et non

à la gibbsite, paraît être un produit normal de l'altération siallitique, plutôt qu'ellitique.

4. ARENES ET CORTEX KAOLINIQUES
DU NIGER ORIENTAL

La succession des zones hautes à kaolinite et des zones basses où peut apparaître de la montmorillonite s'observe également sur les granites, généralement alcalins, du Niger oriental, mais les kaolins n'y sont connus qu'en un point (Zinder Aviation) les matériaux kaoliniques étant habituellement représentés par de minces arènes ou de simples cortex. Les reliefs de roche nue, chaos et inselbergs, sont plus fréquents et importants, parfois au point de montrer l'absence de nivellement par un front d'altération (Mounio). Faure explique le défaut de kaolinisation profonde en admettant que cette région était fossilisée par des grès crétacés pendant le Paléocène, la mise en affleurement ne s'étant produite que vers la fin du Tertiaire ou au début du Quaternaire. Le sud-ouest du Damagaram pouvait cependant faire partie du domaine continental d'altération Paléocène, des arènes à kaolinite, un kaolin, des grès Tertiaires ayant été observés dans le triangle Zinder-Wacha-Guidimouni.

La topographie du Mounio diffère encore de celle du domaine d'altération Paléocène par l'importance du relief, les faciès résistants, microgrenus, donnant des dénivellés beaucoup plus grands (FAURE, 1960) ce qui peut être attribué à des conditions initiales des altérations quaternaires différentes. Nous admettrons donc que la topographie du Mounio est en grande partie héritée du modèle fossilisé sous les grès crétacés et corrélativement que les séquences d'altération sont

initialement déterminées par deux types d'héritage :

- un relief important, des différences de drainage accusées, induisant une chaîne d'altération (Mounio);
- d'anciens horizons d'altération; la topographie du front d'altération, tardivement exhumée et plus uniforme, joue alors un rôle moins direct (Liptako).

4.1

ARENES SUR GRANITES CALCO-ALCALINS DU DAMAGARAM

Butte de Guidimouni (NA 12)

Lat. : 12° 43' 50" N.
Long. : 9° 34' 6" E.
Cote : estimée à 425 m.

3 km N-E de Guidimouni; butte de quartzite (cote 610) à base noyée par les granites; versants à éboulis; coupe à la base, peu au-dessus de la nappe natronée générale.

- 0 - 1 m : blocs anguleux, graviers de quartzite et de quartz emballés dans une argile brune;
- 1 - 1,8 m : argile rouge-brun (5R 3/6) emballant et en-
duisant des quartz anguleux, des feldspath,
des micas noirs;
- 1,8 - 2,5 m : arène à gros feldspath blanchis, micas
noirs et blancs, veines surmicacées à bio-
tite, quartz; fissures minces à revêtement
friable calcaire;
- 2,5 m : boules de "vieux granite" porphyroïde à
deux micas; nappe générale natronée des
sables de la cuvette tchadienne toute pro-
che.

La minéralogie des argiles, la fraction soluble au tri-
acide, la perte au feu varient parallèlement à l'altéra-
tion apparente et opposent l'arène carbonatée et mont-
morillonitique à l'argile rubéfiée illitique et kaoli-
nique. Cette zonation minéralogique est le fait du ra-
lentissement du drainage vers la base de l'altérite

qu'exprime bien l'apparition de carbonates. Ces conditions hydrodynamiques peuvent aussi bien être celles qui règnent à la base du vieux manteau kaolinique que résulter d'une position topographique particulière, près du mur d'une nappe phréatique saline.

4.2

CORTEX D'ALTERATION SUR GRANITES ALCALINS

a) coupe de Zinder (Damagaram, Na 32)

Lat. : 13° 47' 59"N.
Long. : 8° 58' 14"E.
Cote : estimée à 475 m.

Petit massif de boules granitiques à couverture éolienne étalée par le ruissellement (pluiosité : 532 mm). Au quart supérieur de la pente (3%).

- 0 - 85 cm : Sol Ferrugineux Peu Lessivé à horizon B rouge (2,5 YR 5/8) sur sables éoliens
- 85 - 105 cm : arène rouge; quartz et feldspath enduits de films argileux rouges; parfois coiffée d'un horizon presque uniquement formé de quartz à films argileux très rouges, en assemblage très poreux, partiellement rempli de sables éoliens, interprété comme arène éluvée et remaniée
- 105 - 197 cm : boulder irrégulier enchâssé dans l'arène; un cortex épais de 20 cm à feldspath légèrement ferritisés et un noyau de roche à feldspath blanchis déjà friables (granite à riebeckite et aegyrine).

Ce mode de gisement où les chaos ne portent d'altérite que sous une couverture meuble allochtone décèle un front d'altération qui pourrait être celui des kaolins tout proches de Zinder. L'altération croît de la roche blanchie, à kaolinite et traces de montmorillonite, vers l'arène, à kaolinite et traces de gibbsite, croissance également démontrée par les résultats de l'attaque triacide. Cette paragenèse est qualitativement identique à celle qu'étudia LENEUF (1959) en Côte d'Ivoire, le

parallélisme s'étendant également aux variations des conditions hydrothermiques, puisque kaolinite et montmorillonite apparaissent au contact du granite en milieu mal drainé, la kaolinite et la gibbsite au contact ou près de l'atmosphère. Un enrichissement absolu en oxydes de fer, dont le taux double par rapport à celui de l'alumine, est vraisemblable dans l'arène rubéfiée, ce qui est corroboré par la mobilité plasmique montrée par les films argileux. Il suggère une circulation à la base de la couverture éolienne, elle-même enrichie en fer dans les mêmes proportions, par rapport aux taux habituels. Nous résumerons ci-dessous ce qu'on sait de cette altération :

- la situation topographique, l'importance des chaos, montrent que cette altération est au niveau du front du manteau kaolinique;
- l'horizon d'arène éluviée et mécaniquement remaniée indiquent une altération arénacée antérieure à la mise en place des sables éoliens;
- la ferruginisation est contemporaine de celle du Sol Ferrugineux Peu Lessivé;
- les conditions de site n'interdisent pas une poursuite de l'altération en saison des pluies;
- du parallélisme avec les types d'altération de zone humide, on ne peut guère conclure qu'à l'existence de conditions hydrothermiques locales qualitativement similaires pendant la formation de l'arène.

b) coupe de Goure (Mounio, NB 37)

Lat. : 13° 52' N.
Long. : 10° 09' E.
Cote : estimée à 420 m.

A 20 km au S-O de Goure; glacis nu à pointements rocheux; à mi-pente (1%); pluviosité de 450 mm.

de haut en bas :

Niveau A : épais de 0 à 50 cm; Sol Peu Evolué à faciès brun-rouge; sables éoliens mêlés de quartz des granites;

- Niveau B : épais de 0 à 40 cm; sol semblable, plus argileux et moins bien drainé; calcaire par points; fossilisé par A;
- Niveau C : épais de 5 à 30 cm; sables éoliens à concrétions d'hydroxydes de fer et de manganèse, dont la morphologie en colonnettes indique une mise en place par nappe;
- Niveau D : épais de 100 cm au plus; cuirasse ferrugineuse lamellaire; probablement argile sableuse à quartz bi-pyramidaux de E ferritisée par circulation oblique; parfois du pseudo-mycélium calcaire; à la base débris de roche (E) ferritisée, friable, inclus dans la cuirasse;
- Niveau E : granite alcalin; fissuré en blocs s'altérant en écailles; dans les diaclases :
- matrice argilo-sableuse à pseudo-mycélium calcaire
 - concrétions noires (3 mm)
 - enduit blanc de quartz pulvérulent sur les écailles.

L'histoire de cette succession paraît être : altération de E, formation d'un Sol Ferrugineux induré (D), érosion au niveau de la cuirasse, mise en place de sables éoliens puis concrétionnement de nappe (C) érosion de ces derniers puis fossilisation par des colluvions dont le matériel est emprunté à C et E, reprise encore actuelle de l'altération décelable à la carbonatation de E, D, C, B.

Les analyses au tri-acide indiquent dans l'éluviat des cortex un mélange de kaolinite et de goethite comparable à celui de l'exemple précédent. Leur association avec du carbonate de calcium est exceptionnelle, la zone normale d'accumulation de ce dernier étant les argiles gonflantes des dépressions ou de la périphérie du massif. Rappelons que nous avons déjà une anomalie de ce genre à la base même du manteau kaolinique de la butte de Bounga. Ici encore l'âge possible de cette altération s'étale dès avant la mise en place de l'erg ancien, avant même un cuirassement antérieur, jusqu'à nos jours.

5. LES LACUNES DANS L'EXTENSION DU MANTEAU KAOLINIQUE

5.1 LES SCHISTES ET SHALES BIRRIMIENS

Tendres, argileux, formés de quartz, oxydes et hydroxydes de fer, de kaolinite, d'illite, plus rarement de séricite et de faibles quantités d'albite et de gibbsite, ils ont la minéralogie d'une altérite mais aussi tous les caractères d'extension, d'homogénéité, de dynamométamorphisme de puissantes Séries schisteuses. Ils conservent leur structure jusque sous la cuirasse pliocène dont ils ne sont séparés que par quatre à cinq mètres d'argile rouge dont l'altération, associée à la ferritisation, n'est que la suite de celle des horizons de la cuirasse (cf. chapitre suivant). Si donc les shales sont l'équivalent minéralogique et topographique du manteau kaolinique sur granites, ils s'en distinguent par leur structure et probablement par leur puissance. En effet DUCELLIER (1963) au cours d'une étude sur les Séries équivalentes de Haute Volta, pour expliquer cette association minéralogique anormale pour des roches préjugées métamorphiques, admet parmi diverses hypothèses une altération d'une épaisseur considérable (150 à 200 m) de séricitoschistes, schistes verts, que WACKERMANN (1967) considère lui-même comme issues de l'altération de roches basiques massives (gabbros).

On ne peut encore rien avancer de certain quant aux relations entre ce curieux catamorphisme, qui aurait maintenu ou créé une forte schistosité, souvent verticale, et l'altération à kaolins. L'hypothèse la plus simple est d'admettre l'antériorité des shales. Elle a pour conséquence de faire de ces derniers un matériau à la fois

insensible à la kaolinisation et sensible à l'altération associée à la ferritisation à l'origine des cuirasses.

5.2 LES SCHISTES NIGERIENS DE YASSANE

Ces schistes infra-cambriens rouges, plissotés, formés de quartz, séricite ou mica, kaolinite, oxydes de fer, plus cohérents que les shales birrimiens, forment au nord de Yatakala des buttes identiques avec cuirasse épaisse, mince lithomarge rubéfiée, schistes apparemment sains. L'aspect de ces derniers est tel que nul n'a jamais songé à les considérer comme matériau d'altération, bien que leur minéralogie soit des plus voisines de celle des schistes birrimiens, et que, sauf à la rejeter dans un très lointain passé, l'altération qui aurait produit les uns aurait dû affecter les autres. On devra encore, puisqu'on ne peut identifier ces schistes au manteau kaolinique, supposer leur résistance à une kaolinisation complète et leur sensibilité à une altération liée au cuirassement.

5.3 LES ROCHES VERTES ET LES ROCHES BASIQUES BIRRIENNES

Nous n'avons pas observé de buttes témoins à cuirasse et kaolins sur les roches vertes du Liptako. Sous les grès continentaux, des roches basiques puissamment argilisées, sinon kaolinisées, ont été décrites par PLOTE (1961). Habituellement les roches vertes se présentent soit en collines nues de roches massives finement texturées, dont le sommet peut n'être dominé que d'une dizaine de mètres par la cuirasse pliocène (S-O de Tera) soit sous l'aspect de schistes verts altérés en argiles gonflantes aux cotes basses. L'existence de kaolins sur roches basiques en Haute Volta (BOULET, 1968 - PION, 1968, communication orale) montre que leur lacune au Niger est contingente. Les collines seraient des chicots exhumés du manteau, dont les restes

pourraient être encore découverts sous leurs éboulis.

5.4 LES GRÈS CRÉTACÉS

Relativement riches en minéraux altérables (feldspath, micas) ils pourraient manifester une kaolinisation dont la chance de trouver des témoins est réduite par la jeunesse du modelé. Le massif des buttes du Koutous fait exception et FAURE (1962-1966) y a décrit des traits d'altération de deux sortes :

- sous une cuirasse conglomératique de deux à quatre mètres, quinze mètres de grès argileux et d'argile ; altérées, à tubulures et zones scoriacées indurées plus abondantes au sommet; ce faciès serait, pour nous, la partie modifiée au contact d'une cuirasse;
- dans la masse même des grès, conservant leur litage, des minéraux et galets de microgranite, rhyolite, très altérés, outre des taux de keolinite plus élevés que dans la moyenne des formations locales crétaées, et cela jusqu'à la base des coupes (50 m); ce serait là un aspect particulier du manteau Paléocène.

6. CONCLUSIONS

6.1 NATURE DU MANTEAU KAOLINIQUE

Les kaolins sont l'horizon le plus épais et le plus caractéristique d'une épaisse écorce d'altération qui

atteint 70 mètres près de la vallée du Niger. Son développement est maximum sur les granites, minimum sur les roches basiques microcristallines. Son expression est indéterminable sur les roches dont la minéralogie est précisément celle de son éluvial, formé de 50 à 80% de kaolinite, de phyllites résiduelles potassiques, de goéthite, d'alunite. Il ne contient pas de gibbsite à des taux mesurables. Le résistat contient du quartz, essentiellement. Cette altération résulte de l'élimination des bases, d'une partie de la silice combinée, du maintien des sesquioxydes et du quartz.

Deux groupes d'hypothèses sont possibles pour classer ce manteau où l'absence d'alumine contredit quelque peu la puissance de l'altération :

ce serait une allitisation, la silice étant éliminée moins vite que les bases (PEDRO, 1964) mais :

- les horizons gibbsitiques auraient été érodés
- les horizons gibbsitiques ne se seraient jamais formés à cause des conditions de drainage réduites en bordure d'une cuvette de sédimentation continentale;

ce serait une siallisation, la kaolinite ayant toujours été parfaitement stable vis-à-vis des conditions pédo-climatiques, en particulier dans les parties supérieures du manteau, normalement drainées.

Les horizons profonds, mal connus, pourraient montrer dans certains cas une zonation minéralogique (Guidimouni) et sont le siège d'une circulation de bases (Na, Ca).

6.2

HYPOTHESES SUR LE ROLE DU MANTEAU DANS L'EVOLUTION DES SOLS ET DU MODELE

Le manteau aurait pris place dans la succession des phases d'altération suivantes:

- catamorphisme de schistes verts, voire de roches basiques, à l'origine des shales birrimiens;

- phase du Mounio dont seul le front d'altération est connu; il montre un puissant modelé différentiel fossilisé par des grès crétacés;
- phase des kaolins paléocènes; elle aboutit à un nivellement plus poussé du plancher rocheux;
- phase de la cuirasse pliocène (cf. chapitre suivant); formation de gibbsite au sommet ferritisé des kaolins et des roches kaoliniques;
- phases quaternaires récentes sur les fronts anciens exhumés :
 - . en sites bien drainés, faiblement fossilisés, cortex à kaolinite et traces de gibbsite; accumulation transitoire de carbonates possible;
 - . en sites mal drainés, argiles gonflantes et carbonates des glacis inférieurs.

On lui devrait :

- d'avoir guidé la formation de la topographie en roche actuellement nue ou faiblement couverte, celle des glacis inférieurs dominés par des chicots résiduels;
- d'avoir donné le matériau des sols indurés des cotes élevées, et celui des sols concrétionnés de la partie méridionale du glacis inférieur;
- d'avoir parfois fourni des argiles gonflantes, d'avoir toujours modifié suffisamment le front rocheux pour favoriser le développement de la simatisation aux cotes basses du glacis inférieur;
- de libérer encore du matériel détritique ou en solution à la périphérie des témoins kaolinisés.

On peut donc commencer à préciser les relations entre les chaînes de sols à kaolinite d'une part et argiles gonflantes d'autre part, puisqu'elles sont d'abord celles qui existent entre les sites normalement ou médiocrement drainés qui sont les sièges respectifs de chacune d'elles. Les argiles gonflantes sont apparues tardivement sur de vastes étendues grâce à l'existence de climats pas trop humides et de topographies en roche nue

ou peu altérée dont la nature permet de définir deux modes de liaison :

- sur le domaine d'extension du manteau Paléocène (Liptako, Damagaram sud-ouest) le glacis inférieur à smectites est un héritage topographique et minéralogique de la zonalité verticale de la vieille altérite. Il n'y a de relations entre les deux types d'altération que ponctuelles, les reliefs en roche kaolinisée ou nue (cf. ci-dessous) étant rares;

- dans le Mounio, l'héritage est une topographie contrastée en roche nue sur laquelle se différencie une chaîne d'altération qu'il faut rapprocher de celle que décrit BOCQUIER (1968) au Tchad; les deux types d'altération sont toujours génétiquement associés, et font évoluer le relief vers une topographie à inselbergs et glacis peu pentus (ibid.).

Chapitre III

L A C U I R A S S E

S U P E R I E U R E

III

1. P H Y S I O G R A P H I E

1.1 CARACTERES GENERAUX

Des reliefs tabulaires dont la taille varie de quelques ares à 2 000 km² dominant les paysages du Niger méridional. Ce sont les témoins de la plus vieille surface d'aplanissement cuirassée, d'âge réputé pliocène, qui se soit conservée dans ce pays, tout particulièrement sur le socle et le Continental Terminal du Niger occidental. Buttes et plateaux sont établis sur des formations kaoliniques tendres, roches ou altérites, et protégés par un entablement ferrugineux induré, où se reconnaît le plus souvent une cuirasse épaisse à morphologie très particulière et spécifique. Cette dalle est tronquée, plus ou moins disloquée par suffosion, fossilisée par une mince formation meuble, kaolinique et ferrugineuse, où se différencient des Sols Régiques à Faciès Ferrugineux sous le couvert de peuplements arbustifs fortement et régulièrement contractés. Lorsqu'elle a disparu, par rabotage ou effondrement, des Sols Ferrugineux Lessivés se développent sur les formations kaoliniques sous-jacentes.

1.2

LOCALISATION

Elle déborde en latitude, tant au nord qu'au sud, le Niger méridional, où ces vestiges cuirassés ont été observés entre 15° 20' N (pluviosité de 350 mm) et 11°40'S (pluviosité de 875 mm). Leur abondance dépend surtout du substrat géologique. Elle est maximum sur les grès continentaux tertiaires (Ct 3) ou 28 000 km² de plateaux étendus définissent, avec les vallées ensablées qui les séparent, une région naturelle de 58 000 km². Plus à l'ouest, dans le Liptako et le Gourma, ce ne sont plus que des massifs de petites buttes témoins, plus fréquents sur les schistes birrimiens et nigériens que sur les granites, plus rares partout au nord du quatorzième parallèle (pluviosité de 500 mm). Vers le nord-est, après une lacune sur les argiles gréseuses continentales (Ct 2) les plateaux de l'Ader Douchi relaient, sur 4 700 km² de grès sidérolithiques (Ct 1) ceux du Niger occidental. Vers l'est, les formations crétacées, où dominent des grès argileux grossiers, ne portent plus que de rares témoins topographiques associés à des vestiges remaniés du sidérolithique (Ct 1). Ils sont absents du groupe du Tegama du Niger central, réduits à quelques pointements dans le Damergou, à quelques petits plateaux dans le massif du Koutous du Niger oriental. En bordure de la cuvette tchadienne, les tables du massif de Korgom recouvrent un lambeau du Continental Terminal grés-argileux (Ct 3).

1.3

COUVERTURE PEDOLOGIQUE ET MODELE

L'abondance des témoins, leur homogénéité pédologique, leur continuité topographique ont permis de reconstituer au Niger les courbes de niveau actuelles d'une vieille surface d'aplanissement établie sur le manteau kaolinique d'altération du socle et sur les grès tertiaires.

S u r l e s g r è s d u
N i g e r o c c i d e n t a l

Elle a la forme d'une cuvette ouverte vers le sud, déformée par une gouttière N-O - S-E qui semble avoir guidé la vallée du Tilemsi-Niger et par une vaste dépression au N-O de Dosso, coïncidant à-peu-près avec le centre du bassin sédimentaire. Elle semble ainsi conforme à la surface de ce dernier et à celle de ses marges continentales. Structurale à cette très petite échelle, elle tronque en fait les déformations locales des bancs sommitaux. La pente générale, faible et régulière, de l'ordre de 0,6‰, n'est pas perceptible sur le terrain et les plateaux, dont les cotes sont comprises entre 235 au sud, 345 au nord, 400 à l'est, paraissent parfaitement plans et horizontaux. Leur découpage, irrégulier et alvéolaire, est orienté selon une direction préférentielle N-O - S-E. Ils sont parsemés de cirques d'effondrement d'un diamètre de 400 m à 5 km et d'une dénivellée assez constante de dix mètres. Les plateaux dominant des vallées aux versants étagés par une petite corniche à éboulis elle-même précédée d'un étroit chanfrein périphérique. Leur surface est complexe, en dépit de sa simplicité topographique. Elle montre :

- soit une cuirasse très évoluée, dure et violacée, très arasée, à sommet fragmenté, qui est le niveau pédologique caractéristique de la surface;
- soit des cuirasses ferrugineuses secondaires, brunes et friables, apparaissant identiquement sur les versants, les flancs de cirque, les chanfreins, mais aussi en des sites apparemment non creusés; lamellaires, elles indiquent une ferritisation des grès par circulation oblique;
- soit des bancs de grès réfractaires à l'expression morphologique de la cuirasse ancienne, des grès très ferrugineux souvent oolitiques;
- soit des grès inaltérés, à une délapidification superficielle près. Ils forment avec des argiles, le fond des criques.

- soit des grès rouges à tubulures, à inclusions violette, interprétés comme lithomarge de la cuirasse ancienne.

Cet ensemble est surmonté d'une nappe détritique autochtone, décimétrique, à aspect de reg de dissociation, incluant parfois des concrétions ferrugineuses. L'emballage de ces éléments grossiers est au moins sablo-argileux, kaolinique, ferrugineux; il passe souvent en surface à un mince niveau meuble, à squelette plus fin, qui est le matériau des Sols Régiques. Des ensablements éoliens, soufflés vers l'ouest à partir des vallées, fossilisant une partie des plateaux et des cirques. Ils reposent directement sur le reg de dissociation. On observe, en latitude, d'autres variations que la disparition successive des ensablements très orientés, au sud du quatorzième parallèle (pluviosité 500 mm) puis des vaches éoliens au sud du douzième parallèle (850 mm).

1.32 Sur le socle du Niger occidental

Cette surface forme un vaste versant drainant vers les grès continentaux, à pente irrégulière et forte, de 1% en moyenne, bombé sur le Birrimien (cotes 344 à 387 m) et montrant sur ce dernier des pentes locales relativement importantes (5%). Elle ne subsiste que sous forme de buttes tabulaires, hautes de 50 à 100 m, dont les dimensions sont le plus souvent inférieures au kilomètre, avec corniche et versant raide à éboulis inactuel, fixé par la végétation. Elles sont trop petites pour avoir retenu une couverture meuble et des sables éoliens. La cuirasse sommitale y est également tronquée, sa base est affouillée, sa surface est parfois ciselée par corrasion selon une direction qui est de l'erg "ancien" (ouest).

1.33 Niger central

Toute l'auréole des argiles gréseuses du Ct 2 est entièrement dépourvue de hauts témoins cuirassés, les buttes qui la dominent étant encore sur les grès du Niger moyen (Ct 3). Au-delà, les plateaux de l'Ader Douchi (Ct 1) se relèvent vers le N-E selon une pente générale

de 3,4‰, de la cote 400 à la cote 740. Ils ressemblent fortement à ceux du Niger occidental : parfaitement tabulaires, structuraux, avec entablement, chanfrein, corniche en alvéoles, cirques d'effondrement, cuirasses ferrugineuses secondaires, rabotage superficiel, nappe détritique à allure de reg, mince couverture meuble, fossilisation partielle par des dunes. Mais il n'y a rien qui rappelle la cuirasse ancienne, évoluée. L'entablement est uniquement formé de grès ferrugineux, noirs ou violacés, à oolithes et quartz. Ils montrent seulement des traces d'altération, des ségrégations polychromes, et sont plus cohérents que le reste de la formation. Il faut admettre la résistance des grès sidérolithiques de l'Ader Douchi aux processus qui ont formé la cuirasse évoluée pour accepter l'équivalence chronologique des deux lambeaux de surface, du Niger occidental et du Niger central, que suggèrent la continuité topographique, les ressemblances pédologiques et morphologiques.

1.34

N i g e r Est

Seules les buttes tabulaires du petit massif de Korgom, sur Ct.3, portent des restes de la cuirasse ancienne, mais plus fréquemment encore un faciès remanié particulier à gisement en entonnoir, pisolitique, dont la mise en place est à rapprocher des actions de suffosion sous cuirasse. Le Crétacé Continental, très érodé, n'a d'autres reliefs que les petits plateaux du Koutous, bien situés en cote, mais qui sont coiffés de cuirasses ferrugineuses conglomératiques dont l'aspect est celui des cuirasses plus récentes des versants et glacis. Il en est de même des reliefs du Damergou, sur Crétacé Marin, couronnés de ce même conglomérat à galets limonitiques (formation de Zaouzaoua). Ces quelques vestiges topographiques paraissent s'incliner vers la cuvette tchadienne (pente de 1‰) autre cuvette sédimentaire faisant pendant à celle du Niger central et occidental.

1.4

HISTOIRE DES SOLS ET DU MODELE

De ce qui précède, on peut déduire une histoire de

cette haute surface cuirassée. Elle s'est formée et indurée après l'altération kaolinique du socle et le dépôt des grès continentaux et avant le creusement des glacis et versants, ce qui l'assimile aux reliefs estimés Pliocène du Mali et du Sénégal (VOGT J., 1957 - MICHEL P., 1959) et moins sûrement à la pénéplaine Tertiaire du Haut Niger (URVOY Y., 1942). Essentiellement structurale, située au centre d'un bassin, elle a acquis sur les grès du Niger occidental des caractères d'aplanissement et de cuirassement généralisé qui la distinguent de ses homologues habituellement décrits comme des paysages de collines. Pendant le Quaternaire, elle a subi un découpage et un déblaiement qui se sont accentués du centre vers les bordures soulevées du bassin (FAURE H., 1966a) et dont l'importance locale est sous la dépendance de facteurs lithologiques régionaux. Les argiles (Ct 2) et grès arkosiques tendres crétacés ont accru l'érosion, alors que la richesse en fer du Birrimien, facilitant le cuirassement des glacis, ou la dureté des grès ferrugineux (Ct 1) la ralentissaient. Pendant que les versants et glacis, successivement façonnés puis cuirassés, faisaient reculer les plateaux, ces derniers subissaient un décapage mettant à jour localement les grès sous-jacents à la cuirasse. Peut-être des Sols Ferrugineux Lessivés, sûrement des cuirasses secondaires de lessivage oblique se mirent en place dans un réseau de drainage actuellement perché, jamais très incisé ni défini. Comme les versants des cirques d'effondrement sont identiques à ceux des vallées, notamment dans leur cuirassement, il est vraisemblable que la suffosion sous cuirasse est au moins aussi ancienne que le premier creusement de la surface pliocène. Ultérieurement des éboulis fossilisèrent les flancs des reliefs tabulaires, dont l'entablement était décapé, superficiellement remanié en reg, ciselé. L'ablation des horizons meubles des sols anciens fut alors parachevée et quelques champs de dunes et des voiles éoliens se mirent en place. La topographie ne paraît plus guère avoir changé depuis. Des Sols Ferrugineux généralement médiocrement différenciés ont transformé l'ensemble de la couverture superficielle, éolienne ou remaniée.

LES FACTEURS D'EVOLUTION ACTUELS SUR LES PLATEAUX GRESEUX

Des épandages superficiels de menus fragments de grès ou de concrétions, des croûtes pluviales, des structures laminaires dans les horizons AI des Sols Régiques, une végétation en bandes nues et couvertes alternées, expriment un ruissellement diffus et un décapage aréolaire de la surface des plateaux. Comme il n'y a pas traces que ces derniers alimentent en eau les vallées qui l'entaillent, il faut admettre une infiltration et une évaporation sur place, pour lesquelles interviennent respectivement les bandes arbustives et de nombreuses mares temporaires.

Les champs de termitières, coniques et de petites dimensions, sont communs dans les zones arbustives. Ils sont une origine plausible de la couverture fine qui fossilise le reg détritique, car actuellement leur matériel est étalé en plages ovales, stériles, par le ruissellement. Dans certaines zones où la mise à nu des grès, plus tendres que la cuirasse, favorise le développement de la strate ligneuse et des termitières, la multiplication de ces plages nues et blanches produit un aspect photographique particulier de brousse "ponctué", très fréquent sur les chanfreins d'érosion.

Bien que du nord au sud, la pluviosité passe de 350 à 875 mm, la végétation n'y varie que légèrement dans sa composition floristique et lentement dans sa physionomie. C'est une formation arbustive contractée à laquelle des bandes parallèles, alternativement peu couvertes et sous végétation dense, ont fait donner le nom de brousse "tigrée" (CLOS ARCEDUC, 1956). Vers le sud, la largeur des bandes nues et la longueur des zones couvertes diminuent; ces dernières finissent par s'anastomoser en formant un motif réticulé de plus en plus diffus et aboutissant à une répartition à-peu-près homogène au sud des isohètes 750 mm (parc du W) et 850 mm (Gaya). La répartition des arbres et arbustes devient également diffuse lorsque la perméabilité du substratum augmente : plages sableux à oolithes de l'Ader Douchi, espersions éoliennes, disparition de l'entablement ferrugineux. Aucune théorie n'explique encore, dans sa généralité, la genèse des brousses tigrées. On constate qu'en zone

sahélienne elles recouvrent des pentes faibles à sols compacts, souvent minces (AUDRY P., 1959 - GAVAUD M., 1958). Tel est le cas, au Niger, des glacis inférieurs à sols solonchiques du socle, des glacis sur argiles kaoliniques, des bas de versant du Djermaganda à paléosols concrétionnés tronqués au niveau d'un horizon B argileux. La structure des horizons de surface des sols permet cependant d'entrevoir le mécanisme de leur entretien. L'eau ruisselant sur le remarquable impluvium imperméable que forment les zones dénudées est arrêtée dans les bandes sous végétation où elle peut s'infiltrer grâce à une porosité biologique appréciable. Le filtre végétal arrête encore les sables, ruisselés ou déplacés par le vent, ainsi que les débris organiques. Les horizons de surface y sont mieux structurés et perpétuent à leur tour ces petits barrages naturels concentrant localement le ruissellement. Ce dernier au contraire maintient l'imperméabilité, la stérilité des zones nues. Le développement de la végétation croissant avec l'eau disponible, il en résulte une augmentation du couvert avec la pluviosité :

Latitude	Pluviosité	Largeur des bandes		Longueur	Couvert %
		Bandes couvertes	Bandes nues		
15°	400 mm	40 m	150 m	0,8-2km	21
13°30'	600 mm	35 m	70 m	0,8-2km	34

Les espèces sont xérophiles et peu variables; les graminées débordent le couvert arbustif, chaque bande étant gainée d'une frange herbacée montrant une légère dissymétrie floristique entre amont et aval.

Espèces principales des brousses tigrées

	sur Ct3	sur Ct1
<u>Arbres</u>		
Sclerocarya Birrea (plus de 650mm)	P (1)	
Bombax costatum (plus de 725mm)	P	
<u>Arbustes</u> (moins de 4m)		
Combretum micranthum	D (2)	D
Combretum nigricans	D	D
Acacia macrostachya	D	D
Acacia ataxacantha	P	.
Acacia seyal	.	P
Acacia senegal	.	P
Acacia flevescens	.	P
Acacia sp. aff. pubescens	.	P
Cassia sieberiana (moins de 700 mm)	P	P
Bauhinia reticulata	.	D
Commiphora africana	.	P
Lanea sp.	P	P
Boscia angustifolia	D	P
Boscia senegalensis	D	P
Guiera senegalensis	P	P
Croton zambesicus	P	.
Grewia flavescens	P	P
Dichostrachys glomerata	.	P
Zizyphus mauritania (moins de 700mm)	P	P
Strophentus racemosus (plus de 725mm)	P	.
<u>Graminées</u>		
Pennisetum pedicellatum (sciaphile)	D	D
Loudetia togoensis	P	P
Ctenium elegans	P	.
Andropogon pulchellum	P	.
(1) : espèce présente (P)		
(2) : espèce pouvant dominer (D)		

2. ETUDE MORPHOLOGIQUE ET
ANALYTIQUE DE LA CUIRASSE
SUPERIEURE

2.1 ETUDE MORPHOLOGIQUE

2.11 La cuirasse supérieure sur
schistes birrimiens

Les schistes sédimentaires à kaolinite, illite, quartz et goethite portent les cuirasses anciennes les mieux conservées :

butte témoin de Bongokoire

Lat. : 13° 43' 30" N.
Long. : 0° 55' 0" E.
Cote : 346 m.

35 km au S-E de Tera; butte de 34m; versants à éboulis; léger pendage de l'entablement de 0,5% vers l'est;

en surface : restes en blocs épars (30 cm) d'un horizon pisolitique; pisolites (5-10 mm) rouge foncé à cortex zoné brun-jaune; matrice rouge mouchetée de blanc d'aspect "scoriacé", c'est-à-dire à domaines colorés et à porosité très irréguliers dans leur forme et leur répartition; horizon très dur, cohérent et dense;

- 0 - 3 m : horizon induré à tubulures et alvéoles; ciments ferrugineux rouge brique homogène; des tubulures et alvéoles à enduits rouges; des plages d'aspect scoriacé, à mouchetures hachurées : blanc, violet, rouge, jaune, noir; patine superficielle jaune formée en affleurement;
- 3 - 4,5 m : horizon induré nodulaire; formé de nodules (5-10 cm) rouge violacé à patine extérieure rouge, à texture très fine, libre entre eux, leur assemblage délimitant de grosses tubulures; deux septa en place de schistes argileux bruns ferritisés, pendage de 45°;
- 4,5 - 6,5 m : horizon induré pseudo-bréché, à lithoreliques ferritisées; matrice rouge homogène incluant de très nombreuses plaquettes (5-50 mm) de schistes fins violets; toujours très dur; peut posséder une porosité de type alvéolaire;
- 6,5 - 11 m : caché par un éboulis à 27°; présence sous-jacente d'une argile rouge d'épaisseur indéterminable;
- 11 m : schistes argileux blancs, pulvérulents, à septa plus durs.

Ce site permet de définir les caractères morphologiques constants caractéristiques de la cuirasse "pliocène" sur tous les supports géologiques :

- grande épaisseur des horizons indurés, pouvant atteindre dix mètres;
- succession constante d'horizons nombreux et structuralement bien distincts; au sommet un horizon pisolitique; puis un horizon massif à porosité grossière tubulaire et/ou alvéolaire; ensuite un horizon nodulaire; enfin un horizon de transition au matériau, par ferritisation, souvent pseudo bréché, parfois à porosité alvéolaire très forte;
- ciments ferrugineux très denses et durs, de teintes vives violacées (très approximativement 5R et 7,5R 3/3 ou 2/4) ou rouge sombre (7,5R et 10R 3/4):

- présence dans ce dernier de plages scoriacées à barillage vif et complexe, correspondant à une organisation micromorphologique bien définie.

Les différences observées tiennent uniquement à des facteurs locaux ou historiques contingents :

- érosion souterraine : elle s'est produite au contact cuirasse-roche; des grottes en témoignent, associées à des dislocations, à des basculements de la cuirasse, à la formation de brèches (exemple : poches de deux mètres à blocs de dix centimètres); cette forme d'érosion est caractéristique des cuirasses étendues, en climat très humide et succède de peu à leur formation;
- érosion superficielle : la cuirasse est généralement tronquée dans l'horizon tubulaire, plus rarement nodulaire; l'horizon pisolitique est très souvent manquant; des argiles rouges à pisolites, des poches de pisolites cimentées, insinuées parfois dans les fissures de l'horizon tubulaire, sont attribuées également à cette érosion; la troncature de la cuirasse est ancienne, puisqu'elle porte parfois des ciselures de corrosion éolienne, actuellement patinées, dont la direction est celle de l'erg"ancien" (295 à 300 grades en gisement).

La base de la cuirasse est en place, à des remaniements postérieurs près, sur les schistes. Le sommet, au contraire, est légèrement détritique car il renferme des éléments d'une cuirasse plus ancienne que nous n'avons pas vue en place. Ce sont des débris émoussés ou arrondis, de quelques millimètres à 10 cm de diamètre, de teinte sombre, gris violet ou brun-jaune foncé, très durs et denses.

2.12 L a c u i r a s s e s u p é r i e u r e s u r s c h i s t e s d e Y a s s a n e

butte témoin de Mbeboumpo

Lat. : 14° 54' 40" N.
Long. : 0° 20' 0" E.
cote : 367 m

Nord de Yatakala; collines de schistes rouges (oxydes

de fer, kaolinite, parfois séricite): quelques lambeaux d'entablement induré;

- 0 - 3 m : horizon nodulaire à grosses tubulures verticales; rouge à violacé; sommet tronqué;
- 3 - 7 m : horizon d'imprégnation à porosité alvéolaire, conservant la schistosité; à la base nombreuses plaquettes ferritisées violacées à patine rouge;

7 m : schistes à grain fin blancs ou rouge foncé.

L'aspect est identique à celui d'une cuirasse sur Birrimien.

2.13

L a c u i r a s s e s u p é r i e u r e s u r
l e m a n t e a u k a o l i n i q u e

butte témoin de Bounga

Lat. : 12° 42' 30" N.
Long. : 1° 37' 0" E.
Cote : 305 m

A 5,4 km au N-E de Mossipaga; butte de 75 m; pendage nul; sur granites calco-alcalins kaolinisés sur au moins 55 m.

- 0 - 1,5m : entablement en corniche; horizon massif à porosité tubulaire; aspect de grès violet à quartz laiteux; plages scoriacées à mouchetures blanches ou jaunes; remplissages rouge vif; tubulures à cutine ferrugineuse à structure concentrique; l'ensemble en blocs cimentés dans une matrice ferrugineuse rouge brique plus tendre à nodules (1 cm) violets, grossièrement arrondis, à cortex zoné;
- 1,5 - 11,5 m : pente à 45°; même horizon massif, mais porosité tubulaire plus grossière (2 cm de diamètre); débit prismatique; dans les fissures, même matrice rouge avec quelques noyaux tendres (granite kaolinisé).

Nous n'avons pas observé d'autre aspect que celui de cet horizon très épais et massif, à porosité tubulaire et alvéolaire, riche en quartz et donc à aspect de grès ferrugineux; le sommet est arasé et les fissures paraissent avoir été comblées par une argile détritique rouge, parfois riche en pisolites violette, restes soit d'un profil sus-jacent, soit des horizons supérieurs de la cuirasse elle-même. L'érosion, superficielle ou souterraine, paraît avoir été plus sévère que sur le Birrimien.

2.11 La cuirasse supérieure sur les grès du Niger Moyen (Ct 3)

Elle est d'observation très difficile parce que très arasée et les observations anciennes paraissent se rapporter invariablement aux cuirasses ferrugineuses secondaires.

Site de Dosso

Lat. : 13° 3' 0" N.
Long. : 5° 9' 50" E.
Cote : 236 m

Bord de plateau, fossilisé par une nappe de blocs de grès, elle-même enfouie sous des sables éoliens; 4,6 km à l'ouest de Dosso.

0 - 2,5 m : horizon induré massif à grosses tubulures vides; aspect de grès quartzeux violacé; des remplissages jaunes et rouges dans de petites alvéoles; débit grossièrement cubique;

2,5 m : horizon d'imprégnation ferrugineuse; le matériau, un grès argileux et quartzeux rose, est localement ferritisé en nodules lenticulaires violacés; il est d'ailleurs probable que l'aspect de la roche absolument saine soit celui d'un affleurement observé 2,6 km à l'ouest, à la cote 234 : grès blanc kaolinique bariolé de rose.

L'horizon pisolitique n'a jamais été observé qu'en blocs dispersés sur la surface des plateaux. Les grès rouges à tubulures, épais de 10 à 16 m, qui coiffent de

nombreuses buttes témoins sont peut-être un faciès de l'horizon inférieur d'imprégnation ferrugineuse. La ressemblance de cette cuirasse et de son homologue sur le manteau kaolinique est due à l'identité minéralogique du matériau, à ciment peu consolidé de kaolinite et hydroxydes de fer et à squelette quartzeux. Les grès ferrugineux à oolithes échappent à l'altération liée à ce cuirassement; selon leur abondance, ils sont inclus dans les horizons indurés où s'y substituent.

De la présence des cirques d'effondrement, on peut déduire l'existence de l'érosion souterraine, dont nous n'avons pas observé d'autres indices. Ils trouvent aussi bien l'entablement sidérolithique ou la cuirasse elle-même.

2.15 C u i r a s s e s d e s b u t t e s d e K o r g o m

Elles reposent sur des grès continentaux (Ct 3) rouges ou bariolés, à tubulures, sous l'étrange aspect de petits groupes de cônes à pointe renversée, de quelques mètres cubes. Ce sont des amas cimentés de pisolites rouges, granuloclassées, les plus fines en bas. La surface de ces entonnoirs pleins a été ciselée par corrasion. Nous les assimilons aux accumulations de pisolites observées dans les cavités et fissures des horizons indurés sur schistes et manteau kaolinique.

2.16 C o n c l u s i o n s

La cuirasse de la surface pliocène s'est formée par ferritisation sur une dizaine de mètres de matériaux où dominaient la kaolinite, les hydroxydes de fer, le quartz, dans des conditions de grande uniformité pédo-climatique démontrée par la constance de la succession et de l'organisation des horizons. Elle s'est développée sur des matériaux d'altération en place, à l'exception de l'horizon pisolitique toujours associé à des traces plus ou moins nettes de remaniement mécanique. Elle a été tôt perturbée en profondeur par érosion souterraine. Les cirques d'effondrement, les gisements en entonnoir, les grottes sous cuirasse, les tubulures

témoignent à toutes les échelles d'une ablation de matière endogée. Elle a été également tronquée en surface; la conservation des traces de corrasion montre que cette destruction superficielle a peu progressé depuis l'épisode aride de l'erg "ancien".

2.2 ETUDE MICROMORPHOLOGIQUE (1)

2.21 Terminologie

Nous utilisons le vocabulaire de R.BREWER (1964) dans la traduction de Ph. de Blic (1968) adaptée aux matériaux d'altération par WACKERMANN (1967) complétée de quelques vocables supplémentaires imposés par quelques caractères spécifiques des cuirasses.

L'indication de la couleur, en lumière transmise naturelle, est indispensable pour distinguer commodément les plasma isotiques et onduliques sesquioxydiques dont l'assemblage interne (fabric) est peu diversifié et dont la minéralogie est incertaine.

Quelques traits, ou accidents (features) ne peuvent être désignés que par périphrase par le vocabulaire normal qu'il est donc utile de compléter :

les flocons sont des glebules de petite taille (moins de 100 μ) à assemblage interne indifférencié; ils ont comme caractères fréquents mais non obligatoires :

- un plasma isotique à inondulique sesquioxydique
- des limites diffuses
- des formes tourmentées : botryoïdales, mamelonnées, tubéreuses, nébuleuses à contours finement laciniés
- une disposition grégaire (plasma floconneux) en amas d'individus contigus, en essaim, en réseau plus ou moins régulier;

les micro-oolithes sont des glebules sesquioxydiques très nettement individualisées, sphériques à ellipsoïdaux, à plasma homogène à orientation forte,

(1) avec la collaboration de P.BARRETO

continue, concentrique (extinction à pseudo-croix noire) très petits (moins de $10\ \mu$). Ils sont dépourvus d'inclusions de matrice, minéralogiquement homogènes et vraisemblablement bien cristallisés. Par là ils ressemblent aux cristallaria, plus précisément à des micro-sphérulites. Ce sont cependant des globules, des micro-concrétions par définition, car on ne peut séparer les individus cristallins au plus fort grossissement utilisé (1 250).

Il en est de même d'un assemblage élémentaire (elementary fabric) très commun dans les cuirasses, qu'il nous paraît plus commode et objectif de décrire en termes de distribution relative (relative distribution pattern) c'est-à-dire purement géométriques :

un plasma cloisonné est forme d'un réseau variablement régulier de flocons étirés isolant de petits domaines plasmiques minéralogiquement et/ou structurellement différents, les logettes, clos et contigus. Parfois les logettes et leurs cloisons ajoutent à leur organisation un début d'individualisation physique par une fissuration partielle périphérique; on nommera micro-peds ces semi-agrégats. Inversement la disparition du plasma des logettes produit une structure vacuolaire (vughy), où les cloisons dessinent une architecture cellulaire vide.

2.22 Description type :
cuirasse de Bongokoire

2.221 Horizon pisolitique (lame 158)

Aspect macroscopique

Pisolites jaune-brun (5-10 mm) à nuclei irréguliers rouges, avec mince cutine jaune, dans une matrice finement poreuse rouge ou jaune.

Structure de base (matrice internodulaire)

Squelette.

Quartzeux et peu abondant; trois types de grains :

- $10\ \mu$, naviculaires (schistes)
- 100-200 μ , anguleux à subanguleux, les plus fréquents
- 550 μ , arrondis, fissurés, ferritisés.

En outre quelques minéraux : hornblende verte très fraîche (500 μ), pyroxène altéré.

Plasma.

Jaune, Vo-squel-ortho-himassepique, devenant strié subcutinique au contact des nodules. Par plages, se charge de flocons isotiques rouges et s'organise en micro-peds à micro-oolithes.

Vides.

Méta-vides non jointifs irrégulièrement arrondis (vugh) de taille variable; méta-mésovides parfois jointifs dus à l'arrangement des micro-peds; méta-vides épousant les formes de quartz (dissolution et/ou arrachage); réseau de fissures avec petits élargissements ferritisés.

Traits pédologiques authigènes (orthic)

Séparations.

Stries aciculaires jaune clair à orientation de base moyenne, en réseau orthogonal dont la maille prend facilement une disposition circulaire à l'origine des micro-peds; paraissent guider la formation des flocons qui leur sont en position subcutinique; en traînées néocutiniques autour des fissures et nodules.

Concentrations.

Cutines sesqui-oxydes rouge clair à orientation moyenne et continue autour de grands méta-vides. Cutines sesquioxydiques rouges isotiques autour de micro-peds et des vides associés. Flocons isotiques rouges.

Micro-peds.

50 à 200 μ ; leur forme, arrondie, et leur disposition contigüe dérivent directement du réseau de séparations de la matrice, à l'exception de quelques individus plus grands incluant des plages striées de cette dernière. Ils paraissent se former par concentration progressive de plasma sesquioxydique à partir de leur périphérie, par étapes qui pourraient être :

- dans chaque maille du réseau de séparations un plasma ondulique jaune avec faibles concentrations floconneuses jaune rougeâtres à la périphérie, au contact des séparations dont l'orientation de base paraît augmenter. Dès ce stade, des vides de décollement, de rétraction semble-t-il, peuvent se former entre les micro-peds au niveau des noeuds du réseau de séparations. Parfois encore des micro-oolithes rouges envahissent le plasma central qui

devient alors incolore, fait habituellement interprété par les micrographes comme une "décomplexation" des hydroxydes de fer intimement liés à l'argile dans le plasma jaune.

- augmentation de la concentration de sesquioxides dans les flocons périphériques qui prennent l'aspect de cloisons ou même s'individualisent en véritables cutines. Le plasma interne peut être jaune, jaune avec micro-oolithes (où les concentrations floconneuses sont particulièrement développées) incolore avec micro-oolithes et parfois flocon botryoidal central. L'aspect général est celui d'un plasma cloisonné rouge.

Les nodules (pisolites de la description macroscopique)

Structure de base (matrice nodulaire)

Squelette moins abondant que dans le plasma internodulaire.

Isoplasma brun-jaune foncé floconneux alvéolaire.

Méta-mésovides (30 à 50 μ) nombreux, isodiamétriques; quelques macro-vides fins (200 à 300 μ) irréguliers, avec néo-cutine jaune ou orangée.

Concentration interne

Parfois, plus ou moins irrégulières excentrées, une ou plusieurs globules à limites nettes d'isoplasma rouge foncé très fortement alvéolaire (mésovides), les logettes à semis de micro-oolithes.

Cutine périphérique

Cutine composée de deux couches. Une quasi-cutine striée externe (0 à 150 μ) jaune, dont l'orientation croît avec le degré de concentration des hydroxydes dans le plasma internodulaire adjacent; est visiblement un ré-arrangement subcutinique de ce dernier. Une cutine jaune interne faiblement striée, alvéolaire, à mésovides concentriques avec cutine rouge; un liseré de micro-oolithes au contact du plasma nodulaire; largeur : 100 à 350 μ).

Interprétation

Une phase de goethite et d'hématite (rouge) surcharge un mélange intime de kaolinite et de goethite (jaune). Cette ferritisation suit et renforce l'orientation plasmique de la matrice de base et aboutit à une

charpente tri-dimensionnelle de sesquioxides. Les vides associés à ces structures paraissent naître de la rétraction concomitante de la recristallisation des hydroxydes de la matrice de base. Les cutines se forment dans la matrice internodulaire autour des nodules et sont essentiellement une réorganisation structurale de cette dernière. Les nodules eux-mêmes paraissent dus à une accentuation locale des mécanismes affectant la matrice de base : ferritisation en goethite et hématite, rétraction et recristallisation.

2.222 Horizon massif à tubulures (lame 159)

Aspect macroscopique

Matériau rouge irrégulièrement dense et poreux. De l'extérieur (tubulure) vers l'intérieur : rouge très poreux //// rouge foncé dense / rouge clair poreux (1).

Matériau rouge clair

Squelette

Quelques esquilles de quartz (2 à 3 μ) dans des méta-vides; kaolinite en livre (5 μ) ferritisée.

Plasma

Arrangement uni-strié hérité des schistes encore perceptible sur l'ensemble de la préparation; plasma aséptique jaune clair surchargé de flocons isotiques rouge sombre sub-parallèles, parfois subcutiques à des fissures, alvéolaire.

Vides

Fissures et craquelures nombreuses; quelques fines tubulures : mésovides irréguliers (vughs) abondants.

Concentrations

Néocutines et quasicutines rouges de fissures et tubulures.

Matériaux rouges

Squelette

Identique.

Plasma

Rouge, isotique, alvéolaire, floconneux (2 à 3 μ),

(1) netteté des limites : nette /; assez nette //; assez diffuse ///; diffuse ////

localement à micro-oolithes

Vides

Ultra-microvides (2 - 5 μ) irréguliers entre les flocons; des macrovides très fins irréguliers (200 à 800 μ).

Concentration (plasma rouge foncé dense).

Au contact de la matrice rouge clair, sur 1 cm, concentration de plasma isotique noir rougeâtre dans les ultra-microvides qui se réduisent à de très fines ponctuations. Limité par une fissure discontinue périphérique recoupée par des fissures radiales, cet ensemble à cutines rouge foncé.

Interprétation

Ferritisation intense en goethite et hémâtite d'un plasma à goethite et kaolinite ayant hérité son orientation de la roche mère. Cristallisation et développement corrélatif de la porosité importants.

Schiste ferritisé et induré inclus dans l'horizon précédent (160)

Aspect macroscopique

Jaune orangé, schistosité peu nette.

Structure de base

Des domaines à kaolinite et séricite dans un plasma aseptique jaune, localement uni-strié (schistosité) partiellement couvert d'un plasma isotique rouge vif en flocons indistincts, en flocons petits et denses (3 μ) à micro-oolithes rouges.

Interprétation

Schiste argileux (kaolinite, séricite, goethite) altéré presque entièrement en argile kaolinique ferrugineuse, matériau de base de l'horizon massif (éch. 159).

2.223

Horizon nodulaire (161)

Aspect macroscopique

Nodule rouge schisteux à cortex jaunâtre

Matériau rouge

Squelette

Quartz très fins et abondants; mica rare.

Plasma

Des domaines aciculaires unistriés de kaolinite, hérités du schiste, dans un plasma jaune très clair à incolore, aseptique à petits domaines onduliques; l'ensemble est couvert de flocons isotiques rouges et de micro-oolithes à disposition parallèle et orientation commune hérités de l'assemblage strié primitif.

Concentration

Glebule tubulaire siliceuse rare.

Cortex jaunâtre

Cutine composée de couches concentriques; de l'extérieur du nodule vers l'intérieur :

- isoplasma brun-rouge terne avec fissures parallèles //
- isoplasma floconneux jaune-brun avec laminae parallèles concentriques faiblement striées / nodule.

Les flocons de la cutine sont en continuité avec des domaines du plasma nodulaire. La netteté de la limite est uniquement due à une concentration brutale du plasma ferrugineux dans le nodule.

Interprétation

Ces nodules ne sont encore que des schistes, ferritisés mais à microstructure peu modifiée par l'altération en argile ferrugineuse. L'horizon nodulaire est donc l'équivalent des horizons d'imprégnation ferrugineuse de la base de ces cuirasses. Précisément un aspect courant en est formé de noyaux ferritisés inclus dans le matériel. Il est donc permis de supposer que la structure particulière de cet horizon (cf. profil) est due à l'ablation endogée du matériel internodulaire non induré, corrélativement que nous avons bien là des nodules. La cutine paraît encore une réorganisation et une concentration dans le plasma de base, et non une accumulation illuviale.

2.224

Argile rouge durcie (162)

Aspect macroscopique

Matériau rouge orangé à inclusions noires.

Structure de base

Squelette

Peu abondant; gros quartz (1 mm) anguleux, fissurés,

profondément cariés, parfois divisés en éclats esquilleux (20 à 200 μ).

Plasma

Jaune, isotique à ondulique, cloisonné de flocons rouges isotiques, parfois opaques. Est parfois strié, les stries se prolongeant alors dans (ou sous ?) le plasma rouge. Localement lacuneux, se réduisant à une néocutine dans les logettes limitées par les flocons, mais à orientation forte et continue.

Traits pédologiques authigènes

Concentrations

Nodules oblongs millimétriques d'isoplasma noir rougeâtre lacuneux.

Quelques quasi-cutines rouges de pores.

Séparations

Cutines de mésovides et de grains enrobés, orangées, à orientation forte et continue. Striotubule orangée mal organisée.

Interprétation

Ferritisation modérée, surtout goethitique, d'un plasma argilo-ferreux à assemblage interne peu différencié. Pas de décomplexation, de recristallisation des sesquioxides.

2.225

Interprétation d'ensemble

Presque toute la cuirasse s'est formée dans des schistes dont le mode de gisement, en lits successifs de shales et de quartzites calcédonieux, explique l'hétérogénéité du squelette. Des minéraux de roches basiques s'ajoutent aux pédo-reliques macroscopiques pour confirmer l'allochtonie d'une partie du matériau de l'horizon pisolitique. Les transformations texturales (1) se succèdent dans l'ordre suivant :

- altération des shales en argile kaolinique ferrugineuse goethitique avec conservation variable de l'orientation uni-striée (tous éch.);
- apparition d'assemblage bimassepique (158)

(1) texture en micromorphologie, réunion de la structure et de la minéralogie.

- ferritisation par un isoplasma floconneux à goethite et hématite (tous éch.) orientée sur les séparations (158, 159, 161) individualisant des micro-peds (158);
- cristallisation de l'isoplasma en micro-oolithes ou petits flocons bien individualisés, associée à une "décomplexation" du plasma argilo-ferrugineux et à la formation d'une porosité forte et fine (158, 159, 161);
- nodulation à goethite et hématite par accentuation locale des mécanismes de ferritisation et de cristallisation et par ré-arrangement du plasma matriciel adjacent (158, 161);
- ferritisation générale, notamment dans les vides, par un isoplasma dense hématitique (159);
- accumulation ou ré-arrangement de plasma goethitiques souvent bien orientés en situation cutinique, subcutinique ou pédotubulaire; processus mineur visiblement tardif (158, 162).

La succession par horizons de ces processus indique une ferritisation et une hématitisation croissant vers le sommet de schistes presque entièrement argilisés. L'horizon pisolitique est structurellement plus transformé que le reste de la cuirasse, plus goethitique aussi. Par définition lui seul appartient au solum des micromorphologistes, le reste devant être considéré comme un matériau ferritisé. Cela implique des conditions pédogénétiques propres à l'horizon pisolitique.

2.23 Variations micromorphologiques locales et régionales

Tous nos échantillons ont des aspects voisins interprétables par les règles précitées. En effet les structures de base et les structures élémentaires (1) des horizons

(1) la structure élémentaire associe la structure de base à des traits pédologiques qui paraissent lui être significativement associés (specific basic structure and specific pedological features).

équivalents sont semblables et les relations entre structures de base sont identiques. Il nous suffira donc de mentionner les variations complétant ce premier tableau.

2.231

Cuirasse sur Birrimien

Un second profil s'est révélé homogène dans son squelette et dans son plasma qui procède dans tous les horizons de la même matrice de base argilo-ferrugineuse, jaune, undulique à la base, asepique dans la partie moyenne de la cuirasse, bimassepique au sommet, sans traces nettes de l'orientation uni-striée originelle. On l'observe partout, ce qui paraît dû à une moindre ferritisation confirmée par l'absence de plages denses "hématitisées" dans l'horizon massif moyen qui ne dépasse pas le stade alvéolaire, alors que l'horizon inférieur en reste au stade cloisonné. L'horizon pisolitique, s'il conserve ses particularités (petits nodules, plasma bimassepique, plasma goethitique plus abondant) est au contraire plus évolué dans les plages internodulaires rouges, alvéolaires, à micro-oolithes. L'omniprésence de la matrice jeune a permis de décrire des transitions réelles qui n'avaient pu être observées précédemment :

- passage d'un plasma jeune bimassepique au plasma isotique brun-jaune foncé des nodules;
- passage d'un plasma cloisonné et à micro-peds à un plasma lacuneux dans un glebule de l'horizon inférieur.

Elle a également pour effet de donner un aspect grossièrement nodulaire aux horizons moyens et inférieurs, car elle se dispose en cortex autour de centres globuleux de ferritisation. On a également noté la constance de détails d'organisation :

- phase ultime de remplissage des fissures par un plasma à orientation souvent forte et continue, orangé, présumé goethitique;
- structure composée de cutines nodulaires, à couches jaunâtres variablement striées séparées par de très fines laminae à micro-oolithes et flocons étirés;
- cuirasse sur schistes nigériens (Série de Yassane).

Elle est identique à la précédente. Le plasma de l'horizon massif, rouge, lacuneux, à micro-oolithes passe à des plages corticales jaunes asepiques légèrement floconneuses soit directement, soit par un plasma cutinique jaune composé à couches variablement striées et à laminae de flocons rouges isotiques. Un stade moins évolué s'observe dans des nodules arrondis à plasma cloisonné rouge à micro-peds jaunes, séparés de la matrice jaune asepique par une simple fissure concentrique. L'existence d'une direction d'ensemble héritée de la roche a permis de vérifier la continuité des domaines plasmiques floconneux de la matrice et du plasma rouge isotique, alors même que la disposition relative de la première, la netteté de la limite, lui donnaient un faux aspect de cutine illuviale de fissure. Nous avons déjà noté un fait semblable à propos d'une cutine nodulaire (lame 161). Une extension relative plus grande des aires à plasma rouge cloisonné à micro-peds distingue l'horizon de transition aux schistes du précédent. Ces derniers sont à plasma incolore unistrié (kaolinite, séricite) à filonnets de quartz ferruginisés.

2.232

Cuirasse du manteau kaolinique d'altération

Les horizons massifs sont encore à volumes ferritisés rouges enrobés dans une matrice jaune répartie entre des cortex, des fissures, des pédotubules. Le plasma rouge est isotique, lacuneux (aspect macroscopique scoriacé) à plages relictuelles de micro-peds à micro-oolithes.

Vers les tubules il passe à un isoplasma noir rougeâtre dense à pores excessivement fins, soit un assemblage identique à celui de la lame 159 sur schistes. Le motif (pattern) des meso-vides est hérité de celui des logettes (10 à 50 μ) de la matrice corticale, jaune, inondulique à insuliplasmique (insepic) cloisonnée. Le matériel pédotubulaire, également jaune, n'est pas cloisonné mais est plus orienté, ortho-bimassepique ou omnisepique.

Le matériel cutinique est abondant dans ces échantillons, ce qui permet d'en préciser la classification :

- séparations néo-cutiniques de la matrice au contact de domaines ferritisés : plasma ortho-bimassepique au contact des volumes nodulaires, plasma également jaune mais à orientation forte et continue en enduit autour de logettes vides du plasma cloisonné;

- concentrations cutiniques jaune-brun isotiques; leur matériel est minéralogiquement identique à celui des nodules des horizons pisolitiques mais ici il se dispose en cutines autour des tubules, cutines composées de très fines couches floconneuses séparées de minces laminae parallèles à orientation forte et continue;
- concentrations cutiniques rouges isotiques dont le matériel est celui des plasma lacuneux ou denses des volumes ferritisés; on le trouve autour des méso-vides, fissures et macro-vides divers de la matrice et de ses séparations cutiniques, également en flocons étirés intercalaires dans les cutines jaune-brun;
- concentrations quasi-cristallines d'un plasma jaune orangé très fortement orienté à arrangement normal ou rayonnant, minéralogiquement très proche de la goethite; à la différence du plasma rouge isotique, qui paraît surcharger le plasma matriciel sans que change le degré de cristallisation, celui-ci naît, dans des plages de transition, de l'accroissement du degré d'individualisation des domaines plasmiques élémentaires, du degré d'orientation de base de ces derniers ainsi que de leur biréfringence; il se substitue aux séparations néo-cutiniques précitées à l'intérieur de méso-vides du plasma rouge lacuneux; il se différencie en bandelettes et rosettes au sein du plasma omnisépique pédotubulaire, en inclusions et plages sphérulitiques au contact des cutines jaune-brun (halo glebulaire) et forme des feuilletts cristallins dans un système de fissure postérieur à celui que ferritisent les cutines rouges.

Comme le squelette est réduit à quelques quartz, rien ne distingue la microstructure de cette cuirasse de celle des cuirasses sur schistes. Il n'en est pas de même de ce que nous avons nommé "matrice ferrugineuse rouge brique à nodules" dans la description macroscopique (cf. site de Bounga). C'est en effet un matériau porphyrosquelettique (porphyroskelic) avec 30% de quartz à contours irréguliers, corrodés. Le plasma atteint le stade rouge lacuneux dans de petits nodules; il est issu d'un plasma jaune squelet-ortho-bimassepique, pouvant former une quasi-cutine autour de ceux-là. On peut donc assimiler cette carapace noduleuse à l'horizon de transition de la cuirasse au matériau (cf. lame 161). Ce

dernier est un kaolin impur de granite. Il est également porphyrosquelettique à quartz anguleux fissurés et parfois ferritisés (flocons et micro-oolithes rouges), à bords cariés mais probablement moins dissous que ceux de la carapace noduleuse car ils occupent entièrement leur logette. Le plasma est incolore, argilasepique (kaolinite) parsemé de flocons isotiques et de micro-oolithes rouges. La biotite ferruginisée et exfoliée est abondante.

2.233

Cuirasse sur grès

Le squelette est peu abondant, quartzeux, à répartition très irrégulière. Les grains à bords cariés n'occupent plus qu'une partie de leur loge qui a conservé la forme initiale émoussée héritée des grès. Cette dissolution n'est que quelquefois associée à une ferritisation par un isoplasma rouge.

Les horizons pisolitiques sont à nodules, parfois concrétions, sesquioxydiques rouge et/ou jaunes, très individualisés, arrondis et lisses. Ils présentent des nuances dans leur degré de développement :

- plasma internodulaire squelet-ortho-bimassepique, à micro-peds ferritisés, strié et sub-cutinique aux nodules; plasma nodulaire soit rouge foncé isotique compact, soit rouge clair cloisonné à lacuneux dans un stade juvénile sans cutine péri-nodulaire;
- plasma internodulaire "décomplexé" incolore à micro-oolithes cloisonné d'isoplasma rouge, plasma concrétionnaire brun-jaune isotique à disposition concentrique avec plages centrales rouge foncé isotiques lacuneuses ou compactes.

Les horizons massifs à tubulures présentent l'habituelle association de plasma fortement et irrégulièrement poreux, plus rubéfiés par zones à situation nodulaire, plus denses par zones à situation cutinique, de volumes ferritisés à plasma rouge isotique lacuneux ou dense et de plasma matriciel cortical, pédo-tubulaire, brun-jaune ou jaune, bimassepique à omnisepique, cloisonné ou à micro-peds. Le plasma cristallisé goethitique s'associe au plasma omnisepique subcutinique ou est inclus dans le plasma nodulaire dense. On a pu observer sur ces échantillons toutes les transitions entre un plasma jaune isotique, en principe argilo-ferrugineux, et le plasma goethitique

crystallin.

La nature des grès rouges à tubulures immédiatement sous-jacents à la cuirasse est bien éclairée par leur micromorphologie : ils sont porphyrosquelettiques, à gros quartz émoussés ou subanguleux enchâssés dans un plasma floconneux rouge isotique à disposition en essaim non ordonné ("statistic") lacuneux avec néo-cutines isotiques jaunes dans les méso-orthovides. Ce sont des grès ferritisés dont les quartz n'ont pas subi la corrosion chimique observée dans la cuirasse. Ils sont comparables à l'horizon de transition inférieur porphyrosquelettique de la cuirasse sur manteau kaolinique. Ils renferment des pédotubules qui peuvent expliquer la variabilité de la distribution des quartz. L'interprétation de glebules tubulaires siliceuses est impossible car ces accidents sont trop rares dans la cuirasse supérieure. Des restes de plasma jaune bimassepique, ou cloisonné et au stade incolore à micro-oolithes, sont un héritage des grès, eux-mêmes porphyrosquelettiques, à plasma blanc ou jaune bimassepique, à concentrations floconneuses orangées, à strio-tubules argileuses jaune clair.

2.234

Les horizons pisolitiques de Korgom

Ils sont caractérisés par des nodules sesquioxidiés arrondis ou mamelonnés dont l'assemblage interne ne se distingue que faiblement de celui du plasma internodulaire, rouge, isotique et lacuneux. Le squelette est identique à celui de la cuirasse sur grès, peu abondant, quartzueux, carié, dissous. Les microstructures les plus évoluées sont celles de l'horizon supérieur à pisolites plus grosses (3 - 6 mm). Le plasma nodulaire est rouge foncé, lacuneux, les logettes (30 à 150 μ) à micro-oolithes parfois assez grosses (10 μ) : il est déchiré de macro-vides (1,5 mm) irréguliers, de fissures concentriques à cutine jaune striée. Le plasma cutinique au nodule est très mince, jaune et strié ou à orientation forte et continue, avec des flocons étirés rouges. Le plasma internodulaire est rouge clair, lacuneux, sans macro-vides. Il peut être entièrement sub-cutinique, ses logettes se disposant concentriquement aux nodules et aux méats internodulaires. Des continuités et des imbrications d'assemblage montrent qu'il dérive de la même matrice que le plasma cutinique, et que la phase rouge isotique de ce dernier est la même que celle du plasma nodulaire.

L'horizon inférieur est à nodules plus petits (2-5 mm). Le plasma internodulaire rouge et lacuneux conserve dans les logettes des traces du plasma jaune aseptique habituel, dont la finesse a permis de mesurer le grain : 0,5 μ . Le plasma nodulaire, à peine plus sombre, est divisé en deux zones concentriques par une néo-cutine jaune, striée ou aseptique, à flocons rouges étirés, donc identique à la cutine externe, disposition suggestive d'une différenciation nodulaire par étapes.

Nous résumons ci-dessous ce que nous pouvons interpréter de cette micromorphologie originale :

- les plasmas nodulaires et internodulaires sont issus par des processus qualitativement identiques de la même matrice de base; cette dernière pouvait être un plasma argilo-ferrugineux "aseptique" (en fait argilaseptique) ou bi-masseptique (parfois en inclusions subcutiniques); cela est fondé sur l'identité et la continuité des assemblages, sur la similitude minéralogique; les mécanismes peuvent être ceux qui ont été énoncés ci-dessus (description type) : ferritisation orientée, cristallisation et décomplexation associée à la formation de porosité, nodulation par accentuation quantitative locale de ces processus;
- les cutines sont également issues de la même matrice et plus précisément du domaine internodulaire par modification de l'assemblage au contact du nodule; les fissures associées aux cutines en suggère des variations de volume comme cause première. Cela implique l'antériorité du début de la différenciation des nodules;
- la corrosion des quartz, l'absence de cutines illuviales et d'éléments squelettiques allochtones, la nature des mécanismes de différenciation rapprochent ces horizons de la cuirasse supérieure et les éloignent des cuirasses ferrugineuses possédant le même type de gisement (IN KERKADA, lame 253). Nous les considéreront comme variante de cette dernière, à nodules peu différenciés par rapport à la matrice inter-nodulaire.

2.24 R é s u m é e t c o n c l u s i o n s

2.241 Minéralogie

Le squelette est quartzeux, avec de très rares éléments résiduels (tourmaline, zircon, amphibole ...). Le plasma est essentiellement formé de kaolinite, goethite, hématite, accessoirement de phyllites héritées (séricite). Ces minéraux se présentent quelquefois en édifices cristallins purs optiquement identifiables : empilements de 5 à 100 μ pour la kaolinite, feuillets cristallins pour la goethite, plages compactes pour l'hématite. Le plus souvent, ils forment des mélanges dont la nature minéralogique, très incertaine, est déduite d'une estimation de la bi-réfringence et des analyses chimiques : plasma jaune (kaolinite et goethite) plasma rouge (goethite et hématite). La gibbsite n'a jamais été indubitablement identifiée. La calcédoine a été observée quelquefois en inclusions tubulaires dans les horizons inférieurs.

2.242 Le squelette

Les grains de quartz sont peu abondants. Leur répartition parfois irrégulière est due à des accidents pédotubulaires (grès) antérieurs au cuirassement. Leur altération ne paraît pas plus forte dans les horizons inférieurs, argile durcie, carapace, grès rouge, que dans le matériau. Mais ils sont très fortement dissous dans les horizons indurés sus-jacents. Cela se constate moins à leur configuration, des grains cariés existant dans le matériau, qu'à leur amenuisement et à leur disparition. Cette dissolution n'est que quelquefois associée à la ferritisation à l'échelle du grain.

2.243 Les plasma et leur évolution

On peut classer les plasma de même texture et leurs assemblages élémentaires en un petit nombre de types. Les transformations entre domaines texturaux contigus d'un même horizon et entre domaines texturaux homologues des horizons d'un même profil sont identiques, progressives et situent les types les plus modifiés dans les lieux les plus anciennement différenciés : sommet de la cuirasse, centre des glebules. Leurs successions sont des séries évolutives dont tous les termes prennent place dans deux suites compréhensives.

- a) - Série combinant les plasma jaunes et rouges (kaolinite, goethite, hématite).
- Plasma initial
 - 1 : plasma incolore (kaolinite) ou jaunâtre (séricite) argilasepique (kaolins) ou uni-strié (shales) semé de flocons nets et de micro-oolithes rouges.
 - Altération
 - 2 : plasma jaune asepique (en fait argilasepique à très petits domaines de moins de 1μ) ou bimassepique, plus rarement isotique ou undulique, à flocons jaunes, orangés, rouges très flous. Il peut exister dans les grès argil. ux.
 - Ferritisation du réseau de séparations plasmiques

Concentration de flocons rouges isotiques de plus en plus individualisés, nombreux et organisés en réseau. Ce dernier mime et renforce celui des séparations (bimassepiques, striées subcutiniques, uni-striées) si ce dernier existe. Sinon le motif est identique à celui qui est obtenu à partir du réseau bimassepique.

 - 3 : plasma jaune à flocons dispersés
 - 4a: plasma cloisonné
 - Cristallisation, décomplexation, formation de vides.
 - 4b: plasma cloisonné à micro-oolithes, souvent décoloré.
 - 5 : plasma alvéolaire; formation de microvides et surtout mesovides par disparition du plasma des logettes ($10-50-150\mu$) ou aux noeuds du réseau (rétraction de micropeds) de macrovides (150 à $1\ 500\mu$) fissures et craquelures.
 - Ferritisation dense de la charpente alvéolaire.
 - 6 : plasma compact opaque; hématitique; vides réduits à des pores ultra-microscopiques.

- Cas particuliers

Les micropeds à cutine rouge et plasma jaune ou incolore sont très développés dans les plasma cloisonnés, vestigiaux dans les plasma alvéolaires. Ils dérivent du réseau bimassepique et commencent leur individualisation au stade 2.

De très nombreuses cutines et traits subcutiniques appartiennent à cette série; le réseau de séparations de base est strié, ou à domaines à orientation forte et continue :

- stade 3 : cutine ou trait subcutinique jaune strié à flocons étirés parallèles;
- stade 4 : cutine rouge à laminae jaunes striées ou à orientation forte et continue;
- stade 5 : cutine rouge à alvéoles étirées, avec microsphérulites.

Parfois un plasma brun-jaune se substitue au plasma rouge aux stades 5 et 6 dans des nodules ou des cutines.

b) - Série combinant des plasma jaunes (kaolinite, goethite)

Elle paraît due à une augmentation progressive du degré de cristallisation, du degré d'orientation relative des domaines plasmiques, sans modification apparente de volume.

- stade initial : plasma jaune asepique ou bimassepique
- stade intermédiaire : plasma jaune omnisepique
- stade final : plasma cristallin jaune orangé en rosettes, sphérulites, feuilletés et tubes cristallins.

2.244

Les traits pédologiques

Ce sont des nodules, cutines et traits subcutiniques, glebules tubulaires et pédotubules. Les plus communs d'entre eux prennent place dans les séries évolutives précitées.

Les nodules résultent d'une augmentation locale quantitative des mécanismes de ferritisation producteurs des plasma alvéolaires et compacts. Ceux de l'horizon pisolitique sont bien individualisés, petits, approximativement sphériques, à plasma alvéolaire ou dense, rouge foncé ou jaune brun. Les plasma rouges ou denses y sont en inclusions plus ou moins centrales, très rarement avec une disposition concentrique nette. Les volumes ferritisés noyés dans une matrice jaune des horizons massifs satisfont à la définition des glebules, sont formés de plasma rouges, alvéolaires et denses, ces derniers en plages centrales. Ils diffèrent des pisolites par la variété et l'irrégularité des formes : rondes, elliptiques, tubéreuses autour de tubules ou pédotubules, par leurs dimensions, plus grandes et souvent indéfinies par anastomoses. On parlera donc de volumes nodulaires.

Les cutines péri-nodulaires sont une réorganisation de la matrice autour de la concentration glebulaire. Leur développement est parallèle à celui des nodules. De simples fissures concentriques limitent les plus simples qui, présents en petit nombre dans les échantillons, paraissent des étapes de la formation des nodules et volumes nodulaires normaux. Ces derniers sont entourés de cutines généralement composées, dont les couches, alternativement peu ferritisées (stades 2 et 3) et ferritisées (stades 4, 5, 6; 6 correspondant à des cutines isotiques rouges ou à des laminae faites de micro-oolithes) affectent des orientations ou dispositions concentriques très nettes. Il semble qu'une réorientation du plasma matriciel ait lieu au contact du glebule ferritisé, que cette séparation cutinique se ferritise elle-même plus densément à sa périphérie, que cette nouvelle quasi-cutine ferrugineuse induise elle-même une seconde couche striée dans le plasma matriciel et ainsi de suite. Exemples :

- cutine simple
 nodule rouge alvéolaire / cutine rouge à laminae jaunes / matrice internodulaire cloisonnée;
- cutine composée
 nodule plus évolué que la matrice; nodule opaque rouge / cutine jaune striée à flocons et micro-oolithes rouges / quasi-cutine rouge à laminae jaunes / matrice jaune bimassepique;
- cutine composée
 nodule à peine plus évolué que la matrice; nodule

rouge alvéolaire / cutine jaune striée / laminae
rouges denses / quasi-cutine jaune striée / laminae
rouges / matrice alvéolaire rouge clair.

D'une façon plus générale, il est possible de classer ainsi le matériel cutinique :

- à plasma de la première série évolutive

séparations subcutiniques jaunes de la matrice au contact des domaines ferritisés : nodules, cutines, cloisons, au contact des grains du squelette, près de vides;

concentrations subcutiniques rouges ou jaunes : cutines des vides structuraux (logettes) de fissures, de tubules, de grains enrobés, quasi-cutines péri-nodulaires;

- à plasma de la seconde série évolutive

concentrations cristallines goethitiques se substituant aux séparations subcutiniques jaunes dans les plasma ferritisés denses et aux concentrations rouges dans un second système de fissures postérieur.

Les pédotubules sont de deux types. Les unes ont provoqué une distribution irrégulière des quartz, antérieure à la ferritisation et sont héritées du matériau (grès). Les autres, plus récentes, sont vides (tubules) avec ou sans cutine, ou emplies d'un matériel très voisin de la matrice, toujours très pauvre en quartz, dont l'évolution peut être celle de la seconde série (omniphasique et cristallin goethitique). Elles sont parfois au centre géométrique des volumes nodulaires de l'horizon massif. Leur âge est donc égal ou inférieur à celui de la ferritisation principale. Il existe également des globules tubulaires de calcédoine ou de kaolinite très pure dont la genèse n'est pas connue.

L'exposition à l'air des horizons entraîne une ferritisation superficielle secondaire croissant vers l'extérieur :

plasma floconneux / néo-cutine rouge à laminae jaunes / cutine rouge. Corrélations entre aspects microscopiques et macroscopiques.

Teinte d'ensemble rouge violacée :
prédominance des plasma ferritisés rouge foncé alvéolaires et denses.

Aspect scoriacé :
porosité fine et irrégulière liée au développement des plasma cloisonnés, alvéolaires, denses; états divers de décomplexation du plasma des micropeds et logettes (mouchetures jaunes, rouges, blanches).

Pisolites :
nodules, rarements concrétions.

Inclusions :
nodules juvéniles.

Remplissages :
péotubules à plasma floconneux ou cloisonné (rouge clair) à plasma jaune strié ou omnisepique (jaune) à plasma undulique de keolinite pure (blanche).

Cortex jaunes :
selon le cas, cutine ou plasma matriciel.

2.245

Les horizons

L'évolution verticale se résume à un accroissement de la différenciation et de la masse relative des volumes nodulaires de la base de la cuirasse au sommet de l'horizon massif, par les mêmes mécanismes de ferritisation d'une trame argileuse à partir de centres privilégiés. Les horizons inférieurs sont bien des précurseurs de l'horizon massif; ils sont fondamentalement noduleux et les variations de leur aspect macroscopique (à nodules libres, à nodules inclus dans le matériau, à argile durcie noduleuse, schisteux) tiennent aux proportions de la matrice et des volumes ferritisés, à l'érosion endogée, à l'héritage structural de la roche. Ce dernier caractère est aussi le seul qui mette quelque diversité dans l'aspect morphologique des horizons massifs. L'horizon pisolitique serait dû à une multiplication de ces centres de ferritisation qui, associée sur les schistes à un développement spécifique de micropeds, aurait son origine dans un régime hydrique moins uniforme et périodiquement plus sec qu'en profondeur. On pourrait donc considérer ce niveau comme la base du sol proprement dit, d'où tout héritage structural de la roche a disparu, et le reste de la cuirasse comme le sommet du matériau ferritisé.

2.3 ANALYSES CHIMIQUES

2.31 Interprétation globale des taux d'oxydes

Les caractéristiques analytiques sont des taux d'insoluble et de bases très faibles, de fortes teneurs en sesquioxydes, dont 50% en Fe_2O_3 et 20% en Al_2O_3 , l'existence virtuelle d'alumine libre. En se référant aux taux de TiO_2 on met en évidence, relativement au matériau, une accumulation absolue d'oxydes de fer croissant jusqu'au sommet de l'horizon massif et une dissolution presque complète du quartz.

2.32 Interprétation de la composition minéralogique

Le calcul minéralogique est justifié par le petit nombre et la simplicité des composants majeurs et la faible valeur de l'insoluble. Les minéraux retenus sont la kaolinite, la goethite, l'hématite, l'illite-muscovite, tous observés en lame mince. On y ajoute des plagioclases, connus à l'état de traces dans les kaolins, les grès, les schistes et dont l'évaluation permet d'utiliser des quantités de Ca et Na faibles mais en rapports souvent constants. Par convention, l'excès d'alumine est rapporté à de la gibbsite, bien que nous ne l'ayons pas indubitablement observée. La perte au feu est assimilée à de l'eau de constitution, l'insoluble au quartz dont il suit fidèlement les moindres variations optiquement constatées. Les minéraux magnésiens sont négligés. Les calculs ainsi menés rendent compte de 98 à 99% du matériel analysé.

La kaolinite et les sesquioxydes forment de 65 à 95% des cuirasses qui se montrent profondément transformées par rapport à leurs matériaux, dont l'altération est démontrée par la coïncidence d'excès constants d'alumine et de la diminution des phyllites. Si on admet que l'altération est le seul mécanisme impliqué, le calcul à taux de TiO_2 constant montre qu'elle porte sur l'illite et la muscovite (détruites à 70% dans les schistes

et les kaolins) sur la kaolinite (détruite à 50% dans les kaolins) cette dernière pouvant également être formée aux dépens d'une partie des produits d'altération de la muscovite (schistes de Yassane). En dehors de ce cas, toute la silice libérée par l'altération est éliminée, alors que 10 à 70% de l'alumine de l'hydrolysat sont accumulés, ce qui ne donne cependant que des taux assez faibles de gibbsite (2 à 6%). Nous ne retenons pas le lessivage en suspension comme mécanisme de la disparition des phyllites, car il n'est pas confirmé par la micromorphologie, ce qui le rend tout à fait incompatible avec l'accumulation ferrugineuse. Cette dernière est au contraire corrélative de l'altération de la kaolinite (WACKERMANN, 1964). La très forte diminution de l'insoluble peut être attribuée à la dissolution des quartz, autre indice d'altération.

La goethite et l'hématite se localisent sensiblement dans les phases plasmiques prévues. Il existe en effet une bonne corrélation entre la proportion de goethite dans les sesquioxydes de fer et celle de la surface des plasma présumés goethitiques (Série 1 : stade 2 et 50% du stade 3; toute la Série 2). En moyenne, les horizons les plus hématitisés seront bien les horizons massifs, les plus pourvus en goethite les horizons noduleux et pisolitiques.

Les horizons pisolitiques sont toujours plus riches en TiO_2 et souvent en quartz que les autres horizons, que l'on ait noté des éléments allochtones dans leur squelette ou non. Cette propriété implique des mécanismes, apport détritique, éluviation, concentration du squelette, qui ne paraissent pas avoir touché le reste de la cuirasse.

2.33

R é s u m é

Ce cuirassement combine la ferritisation et une altération allitique. Les phyllites potassiques sont kaolinisées et éliminées, la kaolinite est partiellement détruite, une petite partie de l'alumine libérée s'accumule, les quartz sont dissous. L'accumulation absolue et la déshydratation des sesquioxydes de fer croissent jusqu'au sommet de l'horizon massif.

L'uniformité des caractères de cette cuirasse correspond à celle des processus de formation. Le mécanisme fondamental est une association intime de la ferritisation en goéthite et hématite et de l'altération allitique d'une trame kaolinique, aboutissant par toute une succession d'aspects micromorphologiques à l'édification de charpentes ferrugineuses d'où la phase argileuse est éliminée puis remplacée par les sesquioxydes. La différenciation en horizons est due à la combinaison d'un gradient vertical de concentration et de déshydratation des sesquioxydes et d'une tendance à la nodulation à partir de centres privilégiés.

Cette cuirasse, lorsqu'elle se développe sur les kaolins, ne peut être considérée comme l'horizon gibbsitique induré de ces derniers, à cause de l'interdépendance constante de l'altération et de la ferritisation, dont la corrosion des quartz est une autre manifestation. Les conditions de gisement montraient que la cuirasse supérieure était largement postérieure à l'altération paléocène, ses caractères micromorphologiques et chimiques prouvent que son altération lui est propre.

Bien qu'il soit strictement localisé sur la cuirasse supérieure et que sa micromorphologie résulte des mêmes mécanismes fondamentaux, l'horizon pisolitique diffère toujours par la multiplication des centres de nodulation, quelquefois par des traces de remaniements mécaniques bien plus importantes que dans l'horizon massif où elles se localisent dans des pédotubules. On peut le tenir pour un horizon génétiquement lié au cuirassement, soumis à un régime hydrique plus contrasté, développé au sommet du matériau ferritisé, en place ou remanié.

Ce qu'on sait des facteurs généraux de la pédogenèse se résume à ceci :

- la cuirasse s'est différenciée en profondeur, car la structure de la roche a pu y être conservée; elle était toutefois dans la zone atteinte par les racines (pédotubules);

- le pédoclimat était plus ferrallitique que ferrugineux. En effet les cuirasses plus tardives de Sols Lessivés, Ferrugineux à Hydromorphes, possèdent quantité de caractères différents : enrobements cutiniques illuviaux, faciès micromorphologiques à oxydes de manganèse, altération des quartz plus modérée, variabilité selon les sites. La cuirasse supérieure est légèrement alumineuse et ce qui reste du sol sus-jacent, l'horizon pisolitique, a pu fort bien être légué par un sol kaolinique à petits agrégats argilo-ferrugineux comme il en existe tant en zone ferrallitique. On ne peut cependant identifier rigoureusement cette cuirasse à un Sol Ferrallitique induré; en effet l'altération allitique y est subordonnée à la ferritisation et rien ne prouve qu'elle affectait aussi le sol meuble, vraisemblablement moins ferrugineux. De plus, les cuirassements généralisés observés actuellement en milieu ferrallitique sont attribués à des paléo-climats plus secs (Y.CHATELIN, 1966);

- la migration per ascensum explique le mieux le gradient vertical de l'accumulation du fer, si on admet que la zone de la concentration la plus forte est la plus éloignée de la source :

- . à la base, nodules disjoints de l'horizon noduleux
- . au sommet, nodules coalescents, ferritisation et altération maxima de l'horizon massif;

le matériau, alors réducteur et engorgé par ce qu'on nomme communément une "nappe de plateau" aurait libéré les hydroxydes de fer qui se seraient déposés à la base de la zone soumise à l'évapo-transpiration; pour démodé qu'il paraisse, ce processus rend compte de l'uniformité spatiale de cette cuirasse;

- l'imperméabilisation due au cuirassement est à l'origine d'accroissements locaux de l'humidité édaphique, responsables de la goethitisation d'horizons pisolitiques, de fissures. Elle aurait localisé la circulation de l'eau à la base même de l'entablement induré.

Si l'extension de ce cuirassement a pu être favorisée au Niger par une topographie de bassin, sa physionomie spécifique, que l'on retrouve inchangée jusqu'au Sénégal inférieur (site de Tile Boubakar, MICHEL P., 1959), paraît due à une combinaison originale de facteurs pédoclimatiques qui ont porté l'induration et l'altération à un niveau qui n'a plus été atteint de tout le Quaternaire dans ces régions ouest-africaines. Un solum micro-structural de type ferrallitique, une forte humidité du matériau mais

une évapotranspiration importante sont tout ce qu'on sait des conditions de formation qui pourraient ne plus correspondre à un climat actuellement représenté dans cette partie de l'Afrique, aussi humide fut-elle.

3. LES SOLS RECIQUES A FACIES FERRUGINEUX DES PLATEAUX GRESEUX CUIRASSES

Ils sont particuliers aux plateaux de quelque étendue sur grès continentaux (Ct 1 et Ct 3). Ils se développent dans l'emballage de la nappe détritique coiffant la cuirasse pliocène, les cuirasses ferrugineuses secondaires, les grès. Ils forment le support de la brousse "tigrée" qui y maintient une association de sols compacts de zone nue et de profils poreux de bande arbustive.

3.1 MORPHOLOGIE

3.11 P r o f i l s d e r é f é r e n c e

Lat. : 12° 51' 50" N.
Long. : 3° 10' 20" E.
Côte : 242 m

Plateau à 22 km au sud de Dosso.

a) Profil sous bande arbustive (NK 1)

- surface : des films argileux beiges sous quelques gravillons de grès et des rejets de termites;
- 0 - 0,5 cm : croûte de ruissellement à porosité vésiculaire, beige et sableuse à la base, rougeâtre et grossièrement sableuse au sommet;
- 0,5 - 6 cm : gris (10 YR 5/3); sablo-argileux et graveleux, avec 20% de débris anguleux de grès (3 mm); massif; débit très mamelonné, cohésion moyenne à forte, nombreux agrégats durcis; irrégulièrement compact à plages à porosité intersticielle; des pédotubules poreuses; dur;
- A.1
- 6 - 18 cm : beige (7,5 YR 5,5/4); débris de grès anguleux à finesse croissant vers le sommet (moins de 2 cm) et vestiges d'arrangement horizontal, dans un emballage argilo-sableux; ce dernier polyédrique (1-4 mm) en assemblage compact mais fragile, à porosité semitubulaire extrêmement développée; des pédotubules grises poreuses;
- A.2
- 18 - 60 cm : ocre brun (7,5 YR 5/5); plaquettes subhorizontales de grès ferritisé (moins de 5 cm) dans un ciment argileux moins abondant que ci-dessus (22%), plus compact, tendant à former des enrobements autour des débris grossiers;
- B/C
- 60 - plus de
85 cm : grès ferritisé en cuirasse feuilletée; feuillets épais de 1 cm, ciment brun rouge à enduits manganésifères, cortex brun de 1 mm; plus massifs à la base où apparaissent des pédotubules blanches, jaunes ou rouges (2 cm).
- R

Enracinement : très nombreuses racines horizontales jusqu'à 18 cm.

Le matériau est une cuirasse ferrugineuse secondaire développée sur les grès à tubulures situés à la base de la cuirasse supérieure. Sa fragmentation paraît bien être

due à la faune du sol et aux racines, interprétation que nous reprendrons dans la suite du texte. Le profil est celui d'un sol ferrugineux lessivé peu épais. Mais la portée du lessivage dans la pédogenèse est réduite, sans être infirmée, par la contribution des sables ruisselés à l'allègement de la texture superficielle, par le fait de la structure de l'horizon A.2 est issue de la fragmentation biologique des enrobements de l'horizon B-C.

b) Profil en zone nue (NK 2) à dix mètres de NK 1.

Surface : nue et décapée, à pointements de grès ferritisé, dépressions insensibles à lit de débris de grès (4 mm) reposant parfois sur une croûte pluviale fendillée

0-5 cm : gris sur 1 mm puis beige rosé (7,5 YR 5/4) à trainées grisâtres; argileux; structure motteuse en plaquettes horizontales épaisses de 1 à 2 mm, à faces régulières et poreuses
A.11 sauf au sommet de l'horizon où elles sont entièrement couvertes d'enduits argileux; cohésion moyenne; surstructure en plaquettes horizontales (1 cm); sous-structure à petits agrégats aplatis (1 mm); les assemblages sont compacts, la porosité est tubulaire, horizontale, peu développée

5-16 cm : beige (7,5 YR 5/4); argileux avec débris de grès; polyédrique (5-20 mm) en assemblage compact à faces rugueuses passant à cubique aplati (2-3 cm) à faces enduites au sommet; cohésion forte à très forte; très compact, macro-porosité uniquement dans quelques pédotubules
A.12

16-39 cm : brun olive (2,5 Y 5/4) à taches ferrugineuses diffuses rougeâtres (5 YR 5/6); débris fins de grès dans un emballage (44%) argileux formant des films compacts autour des gravillons
Cl.g

30-60 cm : brun olive à taches rougeâtres et plages décolorées beige de même fréquence et dimensions (2-3mm²); dendrites de manganèse sur les gravillons, légèrement plus grossiers; emballage compact plus argileux
C.2 g

60 à plus de

100 cm

R

: grès ferritisé plus finement feuilleté
qu'en NK 1 et à noyaux résiduels rose vio-
lacé

La division en horizons est la même mais l'aspect est celui d'un sol à pseudogley de profondeur. Il n'y a pas de variation texturale, les apports superficiels étant argileux (décantation de flaques). La structure laminaire de surface est caractéristique des glacis sahéliens à fort ruissellement. L'activité biologique et la porosité sont très faibles, d'où l'engorgement. La comparaison des deux profils montre que la brousse tigrée ne peut évoluer que lentement, l'état structural du sol nu empêchant les semis et le développement des racines, mais qu'elle se modifie toutefois, la fragmentation du grès ferritisé étant partout la même.

3.12

V a r i a n t e s

La succession des horizons se maintient partout en dépit de la faiblesse et de la variabilité des épaisseurs (30 à 70 cm sur Ct.3); c'est l'indication d'une pédogenèse actuelle. Dans cette dernière, racines et faune endogée jouent un grand rôle, fragmentant la roche, créant des horizons à forte porosité et fine structure, immédiatement sous la surface et au contact de la dalle sous-jacente si elle est très dure (cuirasse supérieure, grès limonitiques du Ct.1). Une certaine mobilité plasmique, antagoniste du facteur biologique, se manifeste par des films argileux autour des gravillons, autour des agrégats et dans les pores. C'est elle qui provoque la **compaction** des profils de bande nue à partir des niveaux les plus aisément engorgeables, base et sommet. La texture du sol et la couleur des horizons B bien drainés sont nettement influencées par le substrat. Ils sont peu rubéfiés et argileux sur les grès et sur les cuirasses secondaires. Très rarement ces dernières ont conservé des restes meubles d'un paléosol ferrugineux lessivé dont les concrétions sont incluses dans la nappe grossière du sol régique actuel. Les sols sont plus rouges (5 YR) sur la cuirasse supérieure, plus rouges également sur les grès limonitiques où ils peuvent être exclusivement formés de sables oolithiques.

Nous n'avons noté de variations latitudinales que dans les sols des bandes dénudées qui, rougis en surface et à structure laminaire, prennent rapidement vers le Nord l'aspect habituel des sols sahéliens peu épais soumis à un fort ruissellement (Régiques à Faciès Brun-rouge). Ce

faciès tend à occuper une surface d'autant plus grande que les zones nues s'étendent par réduction de la pluviosité, que les chanfreins d'érosion sont plus étendus, que le substrat est lui-même plus coloré et moins argileux. Ces facteurs s'additionnent dans l'Ader Douchi où dominent des Sols à Faciès Brun Rouge. La limite de cette variation a été notée à 460 mm de pluies sur la cuirasse supérieure des grès du Niger Moyen (horizon A de couleur 5 YR 5/3). Les sols couverts conservent les teintes de surface grises (10 YR) et brunes (7,5 YR 5/4) vues dans le sud.

3.2

PROPRIETES ANALYTIQUES

Les taux de matière organique et les valeurs du C/N sont médiocres, indépendants de la pluviosité entre 350 mm et 750 mm de pluies, nettement plus élevés sous les bandes arbustives, presque constants dans le profil. Ce caractère isohumique, unique au Niger, ne peut guère s'expliquer que par une homogénéisation de la faune du sol, car il est indépendant du couvert végétal.

Les variations texturales se ramènent aux quatre points suivants :

- a - les taux de débris diminuent ou s'annulent vers la surface;
- b - si leur taille varie, elle augmente vers la profondeur;
- c - le plus souvent (10 cas sur 14) le taux d'argile croît vers la base, que le sol soit issu ou non d'un paléosol lessivé tronqué;
- d - le contraste textural est prononcé entre le premier et le second horizon, très faible mais non nul entre le second et le troisième.

La désagrégation de la roche, croissante vers la surface (a, b) est le fait de la flore et de la faune; la répartition des débris peut également être héritée de l'arrangement des regs granuloclassés, plus fins à leur sommet, contemporains des dunes anciennes. Les apports

de sables et l'éluviation de l'argile superficielle sont quantitativement plus importants que les apports d'argile (insectes et décentration) dans la formation des horizons de surface (c, d). La masse de matériau finalement exportée de la surface du sol est plus faible que celle qui est libérée par la désagrégation des grès (a) et de granulométrie plus fine (c). La mobilité plasmique implique nécessairement un lessivage et une illuviation qui rendent compte de la variation continue des textures jusqu'à la roche (d). Cette dernière peut également être héritée. Finalement le profil textural résulte de l'addition de la désagrégation de la roche, de l'éluviation superficielle, du lessivage et de l'illuviation en profondeur, de l'héritage de caractères concordants texturaux.

Les variations des taux de fer dans la fraction fine sont déformées par la présence d'oxydes dans le squelette. Sur grès du Ct 3 on note une croissance irrégulière des taux, grossièrement parallèle à celle de l'argile.

De basses capacités d'échange, l'acidité, la désaturation, de fréquentes carences relatives en calcium échangeable sont héritées des grès continentaux et sont plus accusées sur Ct 3 que sur Ct 1. L'évolution pédologique se borne à accroître pH et saturation en surface, surtout sur les sols couverts. La carence calcique tend à être corrigée dans les horizons A où se concentre également le potassium, ce qui est dû à l'aptitude générale des végétaux à corriger les défauts chimiques des roches pauvres. Dans ce contexte, il n'est pas possible actuellement d'interpréter le profil NK 2, relativement calcique et moins désaturé.

Le comportement physique est celui de sols bien cimentés pauvres en matière organique, où des taux appréciables d'agrégats s'effondrent après le pré-traitement au benzène. Ils sont de ce fait instables, surtout dans les bandes nues.

3.3 CONCLUSIONS

Les Sols Régiques se développent sur une ancienne surface d'érosion aride ayant raboté l'entablement, mis en place des regs, laissé subsister quelques plages de Sols

Ferrugineux Lessivés à concrétions et/ou cuirasse. Leur phase fine est héritée ou issue de la désagrégation des grès, principalement par l'action de la flore et de la faune. Elle évolue par les processus à l'origine des Sols Ferrugineux Lessivés "appauvris" : éluviation superficielle, mais aussi lessivage et illuviation. Ces mécanismes sont propres aux sols kaoliniques acides dont elle possède également l'insensibilité climatique et l'instabilité structurale. Cette dernière provoque et maintient l'imperméabilisation des sols nus dont elle perpétue la stérilité. Le régime hydrique très contrasté ainsi créé est à l'origine de Faciès Hydromorphes au sud, de Faciès Brun Rouge au Nord, alors que le même Faciès Ferrugineux se maintient sur les bandes arbustives.

La végétation doit sa spécialisation aux déficiences hydriques héritées de la mise en place du matériau et aux insuffisances minérales héritées de la roche. Son uniformité latitudinale reflète cette médiocrité. Son rôle principal est de maintenir la perméabilité du sol : secondairement, elle corrige les carences minérales de surface. Si on admet la désagrégation du matériau par voie biologique, il est nécessaire d'admettre également le déplacement des bandes arbustives. La disparition du couvert fige ou involue l'évolution normale en Sol Ferrugineux Lessivé. Sa réinstallation est ralentie par l'état structural des sols nus.

4. LES SOLS EVOLUES DES SITES DE PRIMES DES PLATEAUX

Les sols sont plus évolués et épais sur les aires légèrement déprimées d'où l'entablement a pu disparaître de plus longue date que sur le plateau lui-même et qui ont pu être mieux protégées contre l'érosion. Des sables argileux kaoliniques et désaturés y induisent une pédogenèse de Sol Ferrugineux. Les argiles à vertisols de l'Ader Douchi font exception à cet égard.

4.1 LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES A CONCRETIONS ERODES DE L' ADER DOUCHI

Ils se développent dans des dépressions mal définies en tête de réseau drainant les plateaux de l'Ader, sous une brousse arbustive xérophytique et une pluviosité de 400 mm. Le profil type (AD 16) épais de 70 cm, montre des horizons F.1 et A.2 gris, légèrement engorgés, se développant dans un ancien horizon B d'argile, un horizon B ferrugineux peu rubéfié (7,5 YR 5/6) mais concrétionné, passant à sa base à un grès argileux ferritisé en cuirasse feuilletée. Le matériau est homogène, en place. La répartition de la matière organique est normalement décroissante, le fer a migré plus profondément que l'argile, le profil est acide et désaturé. L'influence sahélienne n'est décelable qu'à la faible valeur des C/N (moins de 10).

4.2

LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES ET/OU APPAUVRIS DES GRANDES DEPRESSIONS CIRCULAIRES DES GRES DU NIGER MOYEN

Des grès argileux tendres et kaoliniques forment la roche mère. Leur délapidification en un matériau homogène commence dans des pores racinaires dont la coalescence produit un horizon C à noyaux de grès résiduels. Des colluvions de même texture sablo-argileuse forment parfois la partie supérieure des profils généralement en place. Le site et la roche expliquent un mauvais drainage interne, s'exprimant par la couleur terne et la compacité des horizons B, et une humidité édaphique élevée qu'utilise, à 725 mm de pluie seulement, une savane boisée à Bombax, Anogeissus, et tapis d'Andropogonées. Les profils, épais de 150 cm environ, sont à horizons A.1 gris, massif, A.2 beige et poreux, passant à des horizons B brun ocre (7,5 YR) plus argileux, polyédriques, à compacité croissant vers la base, où des taches et concrétions ferrugineuses peuvent apparaître dans le matériau en place. Ces dernières se forment par ferritisation des agrégats les plus compacts. Les taux d'argile augmentent jusqu'à la base du profil sans dépasser celui du matériau. Les taux de fer augmentent relativement moins vite dans les horizons non concrétionnés. On retrouve l'acidité, la carence calcique originelles; la correction superficielle par la végétation peut être très importante : pH de 7 et saturation de 89 sous savane boisée. Ce sont en résumé des sols à morphologie de Sol Ferrugineux Lessivé, fortement influencés par le matériau, où seul l'appauvrissement superficiel en fer et argile est indubitable.

4.3

LES SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES DES PETITES DEPRESSIONS CIRCULAIRES DES GRES DU NIGER MOYEN

Elles sont plus sèches que les précédentes; les sols y sont rouges (horizon B 5 YR) la végétation y est buissonnante et xérophytique, avec des Croton, Grewia,

Commiphora à 625 mm de pluies. Les grès ne diffèrent pas analytiquement des précédents.

4.4 LES SOLS FERRUGINEUX RUBEFIES DES CHANFREINS DES PLATEAUX DU NIGER MOYEN ET DES PIEDS OUEST ET SUD-OUEST DE L' ADER DOUCHI

Des sols voisins des précédents se sont développés sur des sites topographiquement comparables aux pentes des petites dépressions circulaires, soit sur les chanfreins, soit sur la frange occidentale du plateau de l'Ader Douchi.

Si les chanfreins sont très généralement érodés, avec des sols minces et graveleux ("brousse ponctuée") ils conservent parfois des restes de matériaux colluviaux rouges, relativement épais (120 cm), reposant sur un niveau détritique à grès ferritisé tronquant les grès en voie de délapidification. La succession d'horizons est la même que ci-dessus, mais elle n'est plus perceptible que par de minimes différences structurales. C'est une variante épaissie des Sols Régiques du plateau. Là encore taux d'argile et de fer croissent vers la base, en même temps que la désaturation et l'acidité sont corrigées en surface. Le caractère isohumique a toutefois disparu.

Les sols du pied de l'Ader Douchi couvrent de grandes surfaces sous une formation arbustive dominée par des Anogeissus, des Sclerocarya. Pouvant atteindre deux mètres, rouges (horizon B 5YR 5/6) ils montrent la succession horizon A.1, horizon A.2, horizon B de texture, structure, couleur avec des variations quantitatives et qualitatives entre horizons qui sont déjà celles de sols lessivés. Leur base, mal drainée, montre des marbrures, de petites concrétions manganésifères. Elle est en place, ou fossilise un niveau de débris de grès. En dehors de l'appauvrissement des horizons A, les variations verticales de l'argile et du fer sont fort irrégulières.

Ce meilleur drainage ne peut être dû qu'à la forme même de ces dépressions, en entonnoir. Les sols, en place ou très faiblement remaniés, possèdent des horizons A très

épais (jusqu'à 155 cm, NF 47) gris (10 YR) massifs (A.1) puis poreux (A.2) un horizon B rouge homogène, dont la formation est indépendante de la structure. Par les transitions progressives entre horizons, le moindre développement des structures fragmentaires, leur morphologie est celle des Ferrugineux Peu Lessivés, dont ils possèdent également le médiocre contraste textural entre horizons A et B. Par le degré de différenciation des horizons A, la texture, le type de concrétionnement, ils appartiennent aux séries très différenciées qui sont les ultimes représentants des Sols Ferrugineux Peu Lessivés vers le sud (vers 850 mm). Les taux d'argile, plus irrégulièrement ceux de fer, croissent jusqu'à une grande profondeur (150-200 cm) où ils égalent ou dépassent de peu ceux des grès. Acidité et désaturation sont légèrement plus élevées que dans les grandes dépressions. Les sols de fond sont plus argileux, organiques, mais moins lessivés que les sols de pente.

4.5

LES VERTISOLS DES DEPRESSIONS CIRCULAIRES DE

L'ADER DOUCHI

Ce sont des sols noirs, argileux, à horizon à structure en coin et faces de glissement bien développées entre 15 et 65 cm. Leur base, à petites concrétions manganésifères, passe progressivement à une argile gréseuse jaune dont des noyaux résiduels restent bien visibles dans la matrice de délapidification. Les taux d'argile sont de l'ordre de 40% et la capacité d'échange spécifique de 75 méq/100 g. Comme nous n'avons jamais observé de néogénèse smectitique sur les grès continentaux, nous admettons que ce sol résulte de l'altération physique d'un niveau montmorillonitique du Ct1, où on a signalé des "argiles noires ou vert sombre" (GREIGERT J., 1957).

Les sols des petites dépressions du plateau cuirassé sont les mêmes que ceux des versants qui les découpent et se répartissent en deux ensembles :

- l'un à Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés à concrétions et cuirasse de lessivage oblique. Il regroupe les sols de l'Ader Douchi, les sols érodés concrétionnés ou à cuirasse secondaire des plateaux du Niger Moyen, les cuirasses perchées sur les pentes des versants et des cirques;

- l'autre, plus récent, n'est jamais cuirassé s'il est parfois concrétionné. Il correspond aux sols des versants inférieurs des vallées; les différences morphologiques y sont plus importantes que les variations analytiques et opposent un type rubéfié à contrastes texturaux faibles (Ferrugineux Peu Lessivé) au type opposé (Ferrugineux Lessivé et/ou appauvri); dans les cirques la pédogenèse produit l'une ou l'autre morphologie selon les possibilités topographiques de drainage.

Ce sont des expressions variables des mêmes processus pédologiques dont la permanence, l'insensibilité à la variation latitudinale de la pluviosité, sont caractéristiques des matériaux kaoliniques non ferrallitiques.

LES VARIATIONS DE LA
PEDOGENESE SUR LA SURFACE
SUPERIEURE

La cuirasse supérieure s'est formée par apport de solutions ferrugineuses dans une trame kaolinique, sur un matériau homogène, hérité directement ou indirectement du manteau d'altération paléocène, et dans des conditions climatiques d'extension continentale dont l'humidité élevée devait renforcer l'uniformité pédogénétique.

Les sols qui lui ont succédé, directement ou après érosion sur le même matériau et dans le même paysage topographique, ne sont connus que sur les témoins les mieux conservés, les plateaux gréseux. Ce sont des Sols Ferrugineux à des états de développement divers: les plus anciens sont cuirassés; les plus récents ne se sont bien développés que sur les grès (cirques) et sont restés Régiques sur les entablements, primaires ou secondaires. Leur formation implique le lessivage et l'illuviation de l'argile et du fer associés à des remaniements texturaux de surface.

Les Sols Ferrugineux diffèrent qualitativement de la cuirasse ancienne, ce qui indique un changement climatique radical après l'induration de cette dernière, les autres facteurs de pédogenèse n'ayant pas varié. Ils ne diffèrent que quantitativement entre eux, la nature du matériau, kaolinique et désaturé, étant pour beaucoup dans cette longue permanence des mêmes processus pédogénétiques. Dans la nature actuelle, il faut les circonstances exceptionnelles de régime hydrique très contrasté et aride des bandes nues de la brousse tigrée pour que se développent des horizons, encore tout

superficiels, qui ne soient pas de type Ferrugineux, mais Subaride.

6 R E F E R E N C E S C A R T O G R A P H I Q U E S

Lithosols; témoins nus et de petites dimensions de la cuirasse supérieure ou aires décapées de leur couverture meuble des plateaux. Sont inclus dans :

- lithosols sur roches diverses : coupures Zinder et Niamey;
- lithosols sur grès ferrugineux et sur grès argileux : coupure Maradi;
- lithosols, cuirasse sur roche profondément altérée : carte du Gorouol-Beli;
- lithosols, Série des surfaces structurales du plateau : carte de l'Ader Douchi.

Sols Régiques, Faciès (ou Intergrade) Ferrugineux; sols des plateaux gréseux.

- Sols Régiques à Faciès Ferrugineux sur placage sablo-argileux, sur dalle localement ferruginisée : coupures Maradi et Niamey.
- Association de lithosols, de sols héritiers de caractères de Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés, de Sols Brun-Rouge, sur grès ferrugineux : carte de l'Ader Douchi.
- Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés sans concrétions sur placages colluviaux, en association avec des Sols Ferrugineux Non Lessivés typiques, des Sols Brun-Rouge

sur sables, des lithosols sur grès ferrugineux. Unité compréhensive couvrant tous les plateaux de l'Ader Douchi non ou peu ensablés; inclut l'unité précédente : coupure de Maradi.

- Type rubéfié des chanfreins : inclus dans les Sols Régiques sur dalle, coupure de Niamey.

Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés à concrétions et/ou cuirasse; paléosols tronqués des plateaux gréseux. Sont inclus dans les unités à Sols Régiques ci-dessus.

Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés peu Différenciés ou Appauvris; sols des grandes dépressions des plateaux du Niger Moyen.

- Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Peu Différenciés; Séries de Badifa et de Kirtachi : coupure de Niamey.

- Type rubéfié du pied occidental de l'Ader Douchi, classé comme Sol Ferrugineux Tropical Lessivé sans concrétions dans l'association compréhensive des plateaux de l'Ader Douchi de la feuille Maradi.

Sols Ferrugineux Tropicaux Peu Lessivés; Séries très différenciées; sols des petits cirques d'effondrement des plateaux du Niger Moyen.

- Inclus dans l'unité à Sols Régiques, Faciès Ferrugineux, des coupures Maradi et Niamey.

Vertisols

- Vertisols Topomorphes largement structurés dès la surface, sur dépôts de cuvette du plateau : carte de l'Ader Douchi.

Chapitre IV

LES CUIRASSES
FERRUGINEUSES

1. P H Y S I O G R A P H I E

1.1 C A R A C T E R E S G E N E R A U X

Le cuirassement s'est poursuivi sur la topographie incisant la surface supérieure, mais avec une expression morphologique toute différente que l'on peut corréler le plus souvent au développement de toposéquences à Sols Ferrugineux Lessivés sur une succession de glacis et versants étagés (1). Le matériau est essentiellement kaolinique; le squelette est clastique, abondant, son accumulation aboutissant à des cailloutis de

(1) Glacis : surface monoclinale, sur roche tendre ou génétiquement associée à une couverture pédologique en place. S'oppose au pédiment, sur roche dure, sans sol évolué.

Versant : mot au sens purement topographique : une des deux pentes encadrant le fond d'une vallée; employé pour distinguer ceux des glacis dont le thalweg est resté relativement stable dans le temps.

terrasse en bordure des grandes rivières. Ce cuirassement est moins intense que sur la surface supérieure et a décru au cours du temps, ce qui lui vaut d'être sensible à la zonation climatique et à la lithologie. Ainsi, il n'est généralisé sur les glacis les plus récents qu'au sud du treizième parallèle (pluviosité de 750 mm). Il est beaucoup plus étendu sur les roches vertes et shales Birrimiens et Nigériens que sur les granites et migmatites Birrimiens et Sugariens, décroît sensiblement sur les grès continentaux plus ou moins ferrugineux (Ct 3-1) devient très faible sur les grès arkosiques Crétacés et les argilites kaoliniques du Continental Terminal (Ct 2). Tous les sols indurés ont été fortement érodés, notamment par corrasion éolienne. Les plus anciens ne subsistent plus qu'en entablements protégeant des buttes tabulaires au-dessus des glacis plus récents encore fonctionnels. La couverture meuble est généralement gravillonnaire.

1.2 REPARTITION ET ETAGEMENTS REGIONAUX

1.21 Le socle du Niger

occidental (Birrimien, Nigérien, Voltaïen)

C'est indiscutablement la région où le cuirassement est le plus intense et le plus généralisé, surtout sur le Birrimien, où les seules buttes à entablement couvrent jusqu'à 50% de la surface. Les cuirasses les plus épaisses, les mieux cimentées, couronnent le manteau kaolinique ou son équivalent; elles sont perchées et isolées du réseau de drainage actuel. Les cuirasses les plus basses sont minces, fragiles, souvent manganésifères. Elles reposent sur la roche friable ou saine et peuvent appartenir à des glacis encore fonctionnels. Les formes cuirassées sont les suivantes :

a) cuirasses hautes

- glacis divergeant autour d'une butte témoin de la surface Pliocène, ou d'un inselberg de roche basique, séparés par une dépression périphérique du relief central; le raccordement, par knick, n'a été noté qu'une fois;

- dépressions perchées, cuvettes ou dépressions linéaires, anciens fonds de bassins de réception ou de vallées. L'érosion linéaire du centre n'en a parfois laissé subsister que deux alignements sub-parallèles de cuirasses monoclinales;
- lambeaux isolés de glacis monoclinaux (pente de moins de 2%) site le plus commun;
- pieds d'éboulis recimentés en chapes conglomératiques sous les buttes de cuirasse supérieure (pente de 5%).

Au stade actuel de nos connaissances, ces cuirasses sont suffisamment semblables pour former un seul ensemble pédologique, bien que les glacis puissent former localement deux unités topographiques, la plus basse se raccordant aux dépressions perchées.

b) Cuirasses basses

Moins indurées, elles passent facilement à des horizons concrétionnés. Elles se sont mises en place sur des glacis encore fonctionnels mais raccordés à un réseau de drainage tout différent de l'ancien. A plus de 750 mm de pluviosité, ils forment l'essentiel du paysage, à l'exception des buttes et d'une entaille non concrétionnée le long des thalwegs. Au nord de cette limite, ils se rétractent en quelque sorte vers le sommet des interfluves, laissant la place aux glacis "nus", à sols en principe non concrétionnés, dont ils ne sont séparés que par un décrochement minime.

Glacis recoupés, reliefs inversés, sont donc les caractéristiques de ces paysages classiques (MAIGNIEN R., 1958) du cuirassement où nous distinguerons les ensembles suivants, pédologiquement homogènes :

- haut modelé cuirassé (M.1) ensemble de glacis et de dépressions; localement il existe une sub-division topographique des glacis, les uns (M1.a) situés à des cotes un peu plus élevées que les autres (M1.b);
- bas modelé cuirassé et/ou concrétionné (M.2);
- bas modelé nu (M.3) que nous assimilons à l'entaille de M.2 dans le sud.

Les plateaux gréseux du
Niger central et occidental
(Ct 1-3)

Quelques cuirasses secondaires sont situées dans de légères entailles et dépressions de la surface supérieure. Dans les vallées il n'existe le plus souvent qu'un niveau de cuirassement, généralement peu développé, dont la position sur les versants dépend du degré d'incision. Quelquefois, s'y ajoute une cuirasse de chape conglomératique aux pieds de l'entablement de la cuirasse supérieure.

Dans les vallées du Moyen Niger (Ct 3) la cuirasse sépare un versant inférieur d'un versant supérieur dont elle jalonne la base. Elle s'étend considérablement lorsque cette limite s'établit au niveau de la surface de contact entre le socle et les grès. Ainsi à Tillabery une cuirasse fossilise le toit du socle kaolinisé; au nord de Makelondi un glacis cuirassé de huit kilomètres sépare les grès des roches basiques altérées; dans le parc du W une auréole bowalisée raccorde le plateau gréseux au Voltaïen. La longueur et le cuirassement du versant supérieur augmentent également à plus de 800 mm de pluviosité, dans la région de Gaya, de Kirtachi. Cet adoucissement du modelé annonce les formes molles caractéristiques des grès continentaux dans les régions plus humides à Sols Faiblement Ferrallitiques.

Dans l'Ader Douchi (Ct.1) le cuirassement est également peu prononcé (pluviosité de 600 à 350 mm). Il cimente des cailloutis grossiers de grès situés à la base de glacis à pavage actuellement très disséqués. Ce niveau, unique dans chaque profil transversal, s'abaisse vers l'aval par rapport à la surface supérieure; en amont, il se réduit à une chape conglomératique aux pieds de courts versants en gradins sur grès; en aval, il s'étend considérablement lorsqu'il coïncide avec un niveau structural, la surface infra-Eocène, sur sables fins maestrichtiens ferritisés en grès durs.

1.23 Le socle du Niger
oriental (Sugarien du Damagaram et granites
jeunes du Mounio)

Dans cette région sahélienne, où les glacis nus sont la forme la plus répandue, avec les reliefs en roche nue, on a décrit deux types de cuirassement. L'un, propre aux massifs, est constitué de cuirasses conglomériques très peu étendues, en léger ressaut; ce sont des chapes ou de petites terrasses caillouteuses indurées. Nous n'en faisons qu'un seul ensemble, en dépit de différences de cotes que nous attribuons à des accidents topographiques. L'autre caractérise la bordure de la dépression tchadienne. Il affecte un glacis à peine surélevé par rapport aux glacis nus et incliné vers la cuvette. Concrétionnaire en amont (cote 455, vers Zinder) il augmente d'intensité vers l'aval où il s'achève par des cuirasses de lessivage oblique épaisses de plus d'un mètre, à des cotes relativement fixes entre 410 et 420 m (Damagaram) et 400 et 410 m (Mounio), où cette cuirasse est moins développée.

1.24 L'auréole cuirassée du
bassin de la Korama (Ct.3)

Elle prolonge le cuirassement inférieur du Damagaram sur des grès, ferritisés sur une épaisseur pouvant atteindre trois mètres. Ces glacis s'abaissent vers le centre du bassin, prolongement occidental de la cuvette tchadienne, entre les cotes 460 et 400. La base de cette auréole est ainsi établie à une altitude relativement constante sur 300 km, depuis le Mounio, niveau probablement parallèle, sinon confondu, avec une extension lacustre ancienne.

1.25 Le bassin des Goulbi
(Crétacé continental du Niger central et oriental)

Il est parsemé de quelques très rares buttes cuirassées,

un peu plus nombreuses près des lambeaux de surface ancienne (région de Tirmini et est de l'Ader Douchi). Il est entièrement formé de glacis à nappe superficielle grossière assez souvent concrétionnée et/ou faiblement cuirassée vers le sud (600 à 500 mm de pluviosité) où il a été possible d'observer une fois (forêt de Takieta) un glacis concrétionné dominant de peu un glacis nu. Ce dernier paraît exclusif au nord (pluviosité de 250 mm) sur le "plateau" du Continental Hamadien.

1.26 Les argiles du Niger
Central (Ct.2)

Elles sont entaillées par des glacis non concrétionnés, si ce n'est parfois au voisinage des thalwegs. Vers les plateaux, on a décrit les restes d'une cuirasse, en butte ou en ressaut au sommet des interfluves, à gisement parfois en entonnoir.

1.27 Le Damerou (Turonien)

On ne connaît pas de niveau cuirassé, en dehors de la cuirasse supérieure, sur ces longs glacis argileux évoluant actuellement sous une très faible pluviosité.

1.28 Corrélation

Son importance tient à ce qu'elle est aussi celle des paysages successifs que les cuirasses ont conservés. Pour l'établir, on n'utilisera ni les cotes, les niveaux de base étant locaux à une exception près, ni l'importance du cuirassement qui est une fonction climatique et lithologique, mais l'étagement et l'intensité relatives, qui, c'est un fait, sont constants et sont l'expression d'une succession d'événements que l'on peut supposer être, à priori, paléoclimatiques et tectoniques.

- Le socle du Niger occidental

Il donne les éléments de référence dont nous donnons ci-après quelques étagements locaux cotés.

	Granites (Mossipaga)	Birrimien (Boulkagou)	Nigérien (Yatakela)
Cote de la surface supérieure	305 m	296	367
Dénivellée maximum entre la surface supérieure et le haut modelé (M.1)	55	46	117
Dénivellée maximum entre M.1 et le bas modelé M.2	8-17	34	
Dénivellée maximum entre M.2 et le bas modelé M.3	3-12	2-18	
Dénivellée maximum entre M.1 et M.3			30
Cote moyenne du thalweg actuel	230	200	233

- Les plateaux gréseux

Au versant supérieur des grès du Moyen Niger et au versant à pavage de l'Ader Douchi, nous faisons correspondre le haut modelé M.1, c'est-à-dire que nous assimilons la cuirasse principale de ces vallées aux cuirassements majeurs du socle. Le versant inférieur, le versant remblayé de l'Ader Douchi correspondent à l'ensemble de M.2 et M.3.

Les cuirasses secondaires du plateau et des cirques sont également corrélées avec celles de M.1.

Degré de creusement	Ader Douchi		Moyen Niger	
	Garhanga moyen	Ibohamane fort	Birni Ngaoure moyen	Dallol Bosso fort
Cote de la surface supérieure	505	590	243	243
Dénivellée maximum entre la surface et le haut versant (M.1)	120	130	12-22	36
Dénivellée maximum entre M.1 et la base du bas versant (M.2-3)	17	25	4-8	18-26
Cote du thalweg	366	433	218	183

- Socle et auréole cuirassée du Niger oriental

Ici encore nous assimilons l'ensemble des cuirasses conglomératiques des messifs à M.1; l'auréole cuirassée est corrélée avec la cuirasse de M.2 et les glacis nus du Damagaram avec M.3.

	Grès	Socle	
	Korgom	Damagaram	Mounio
Cote de la surface supérieure	520		
Cote des cuirasses conglomératiques (M.1)	450-480	460-470	440
Cote de l'auréole (M.2)			
amont	460	455	420
aval	400	410	400

- Bassin des goulbi et argiles gréseuses

M.1 serait représenté par de rares buttes témoins; M.2, peu développé, n'aurait été sûrement observé que sur grès crétaqués à la limite sud de leur extension; il est le plus souvent confondu avec M.3, qui est la forme largement dominante.

- Damergou

Uniquement des glacis M.3, sous des buttes caillouteuses comparables au versant à pavage de l'Ader Douchi.

1.3 COUVERTURE PEDOLOGIQUE

Les horizons sus-jacents aux cuirasses sont peu épais, squelettiques, d'aspect ferrugineux ou hydromorphe. Leur matériau est en grande partie hérité des anciennes toposéquences. Leur pédogenèse est de même nature, à ceci près que les remaniements mécaniques y sont plus importants. L'éluviation superficielle concentre les concrétions qui existent communément au sommet des horizons indurés en une nappe grossière sujette à des mouvements

en masse d'importance très variable. L'ampleur de ces derniers est maximum au nord où les concrétions ont été redistribuées en un reg sous-dunaire dont la nature éolienne est corroborée par l'existence de ciselures de corrosion sur des panneaux dénudés de cuirasse, par la présence de sables éoliens inclus dans le squelette. Elle peut être minimum dans le sud, où ces déplacements ont été si faibles que des restes de la matrice originelle enrobent occasionnellement les concrétions. Dans ce cas, il semble qu'il y ait continuité pédogénétique entre le sol ancien et le sol actuel, que l'on classera comme Sol Ferrugineux induré érodé de type squelettique; lorsque cette filiation a été rompue par une phase d'érosion ne découlant pas de l'évolution propre du sol, on parlera de Sol Régique Ferrugineux de type gravillonnaire. Les sols tronqués ne sont jamais très communs; on les observe plus souvent dans le sud, comme nous l'avons déjà indiqué, ainsi que sur les glacis étendus. Les sols gravillonnaires existent partout et sont exclusifs dans le nord, sur les témoins les plus anciens (M.1), toujours fragmentés en petits affleurements perchés. Enfin, dans les régions les plus arrosées (850 mm) l'imperméabilité de la cuirasse provoque une hydromorphie de surface à l'origine d'un paysage dénudé très particulier (bowel) à sols nommés Lithiques à Faciès Hydromorphe.

2. ETUDE MORPHOLOGIQUE ET
ANALYTIQUE DES CUIRASSES
FERRUGINEUSES

2.1 CARACTERES MORPHOLOGIQUEL DE TERRAIN

2.1.1 Les cuirasses sur
Birrimien (Shales et roches basiques)

- Modelé M.1a

Epaisseur : 3 à 5 mètres

Structure : massive ou à pisolites irrégulières, à poro-
sité alvéolaire (cavités à section irrégu-
lière, diamètre moyen de 5 mm). Dure.

Ciments : ferrugineux, rouges.

Squelette : blocs arrondis de la cuirasse supérieure,
de 5 cm de diamètre en moyenne, parfois
15 cm; blocs de quartz anguleux; aspect
brèchique au contact même des filons de
quartz.

Matériau : parfois sous la cuirasse est une argile rou-
ge à tubulures de 1 cm (shales).

Cette cuirasse prend parfois un aspect voisin de ce-
lui de la cuirasse ancienne, à la division en horizons
près : ciments violacés, porosité scoriacée à

mouchetures bariolées, tubules à cortex jaune zoné.

- Modelé M.1b

Epaisseur : 0,5 à 3,5 mètres

Structure : massive à porosité alvéolaire, parfois irrégulièrement pisolitique. Dure.

Ciments : rouges, parfois noirs, manganésifères au centre de pisolites.

Squelette : gravillons arrondis (2 cm au plus) de cuirasse ancienne; quartz anguleux.

Matériau : paraît coiffer la roche saine ou peu altérée; cela a été observé sur schistes siliceux à filonnets de quartz dans un gisement en tête de vallon creusé dans la cuirasse M.1a et la lithomarge argileuse rouge de cette dernière (site de Kakou).

- Modelé M.2

Epaisseur : 50 cm environ

Structure : nodules ou concrétions mamelonnés coalescents (1 cm) formés par ferritisation d'une matrice argileuse finement polyédrique en assemblage compact; se brise facilement.

Ciments : brun-rouge foncé, noirs au centre des concrétions.

Squelette : petits gravillons de cuirasse ancienne, quartz.

Matériau : plaqué sur la roche.

- Cuirasses de la base des glacis fonctionnels

Ce site est en principe à rapporter à M.3, mais peut également appartenir à M.2.

On y a observé des cuirasses minces très riches en ciments foncés manganésifères, concrétionnées. Comme des horizons à concrétions de ce type s'observent

actuellement dans des sols à engorgement temporaire sur schistes, on interprète ces cuirasses noires comme des restes de sols hydromorphes, ce qui s'accorde avec leur position topographique.

2.12 Les cuirasses sur Nigérien

- Modelé M.1

Epaisseur : 1 m

Structure : irrégulièrement pisolitique; des tubules à cortex (5-10 mm); dure.

Ciments : rouges et bruns, jaunes au centre des pisolites.

Squelette : quartz; des grès quartzeux, des grès à oolites au contact du Continental Terminal.

Matériau : repose sur les schistes peu altérés; dans un cas, un niveau de blocs de quartz intercalé.

- Modelé M.3 (base)

Epaisseur : 40 cm; est disloquée en blocs.

Structure : pisolitique avec porosité alvéolaire; schistosité héritée à la base; cortex épais autour des blocs.

Ciments : brun foncé à noirs.

Squelette : nombreuses inclusions de schiste.

Matériau : schiste sériciteux légèrement altéré.

2.13 Les cuirasses sur granite du Niger occidental

- Modelé M.1a

Une seule observation, à Petay, au contact des grès continentaux : 15 m sous la surface supérieure, dalle ocre

et brune très dure, épaisse de un mètre, à tubulures avec cortex, nombreux grains de quartz anguleux (0,5-4 mm), sur une argile d'altération ferritisée rouge à tubulures.

Modelé M1.b

Epaisseur : 1 à 2 mètres

Structure : massive formant une dalle très dure, ou massive à feuilletée, ou irrégulièrement pisolitique; tubules fréquentes (5 mm) à cortex épais (2 mm)

Ciments : brun-rouge, ou brun-rouge pâle, ou rouge, ou bariolés de brun, ocre et beige; couleurs plus pâles et ternes que sur schistes.

Squelette : souvent très abondant, d'où un aspect conglomératique trois fois sur cinq. Toujours des gravillons arrondis (moins de 5 cm) de la cuirasse ancienne, parfois de la cuirasse M1.a, des grains de quartz. Au contact du Birrimien, blocs de quartz (4-5 cm) quartzite, amphibolite.

Matériau : le manteau kaolinique dans quatre cas sur cinq ferritisé en argile ou carapace rouge, parfois sur dix mètres. Dans un cas, une carapace conglomératique sous une cuirasse en dalle.

Modelé M.2

Epaisseur : de l'ordre de 30 cm.

Structure : irrégulièrement pisolitique, conglomératique.

Ciments : brun-rouge, centre des pisolites noir en bas de pente les ciments foncés sont très abondants, l'épaisseur restant faible.

Squelette : nappe de débris de quartz et de gravillons de la cuirasse supérieure.

Matériau : concentration des éléments clastiques précités au-dessus de la roche blanchie.

2.14 C u i r a s s e s s u r V o l t a i e n

- Modelé M.1 (schistes de l'Oti)

Epaisseur : 1 mètre.

Structure : agregats polyédriques ferritisés de 2-3 mm, en amas mamelonnés de 2-3 cm entourés d'un cortex zoné de 2-3 mm. L'ensemble cimenté en une dalle très dure.

Squelette : grains de quartz automorphes (schistes de l'Oti).

Matériau : non observé.

- Modelé M.2

Epaisseur : 40 cm.

Structure : nodules polyédriques (2 cm au sommet, 4 cm à la base) très durs légèrement cimentés entre eux en plaques grossières subhorizontales.

Ciments : rouges à rouge-jaune (7,5 YR 5/6).

Matrice : brun-jaune, argileuse, finement polyédrique.

Matériau : non observé.

2.15 C u i r a s s e s s u r g r è s d u

N i g e r M o y e n (Ct.3)

- cuirasse ferrugineuse secondaire de plateau (M.1)

Epaisseur : 50 cm.

Structure : feuilletée, à plaquettes horizontales de 1 cm séparées par un réseau de cavités très irrégulières aplaties et coalescentes. Plus massive à la base.

Ciments : brun-rouge à brun-jaune, avec plages noires;

des cortex (1 mm) autour des plaquettes.

Matériau : passe à des grès argileux friables violacés, apparaissant par noyaux dans la cuirasse.

- Cuirasses de chape

Observées sous la corniche de la cuirasse supérieure.

Epaisseur : deux à 6 mètres.

Structure : conglomératique.

Ciments : brun-rouge terne.

Squelette : blocs de grès de 5-10 cm.

- Cuirasses du versant supérieur (M.1)

Epaisseur : 50 à 100 cm.

Structure : feuilletée dans six cas sur dix, sinon massive à porosité alvéolaire ou irrégulièrement pisolithique.

Ciments : brun-rouge le plus souvent, sinon rouges ou ocres; enduits noirs fréquents; en position très basse: cuirasse manganésifère (Ouallam, 61 m sous la surface supérieure).

Squelette : débris émoussés de cuirasse supérieure, de grès ferrugineux oolithique ou à quartz; peuvent manquer.

Matériau : colluvions argilo-sableuses graveleuses, ou le grès sous-jacent, à tubules et sommet ferritisé rougi. Les cuirasses en place sont toujours feuilletées.

Lorsqu'il est allochtone, le matériau de cette cuirasse peut fossiliser un niveau pédologique plus ancien qui n'est pas autrement connu :

Site de Birni Ngaoure

Lat. : 13° 6' 10" N.
Long. : 12° 12' 40" E.
Cote : 206 m.

Base chanfreinée (pente 2%) d'un très long versant (13 km); 30 m sous la surface supérieure, 15 m au-dessus du thelweg.

- 0-69 cm : cuirasse ferrugineuse brun-rouge feuilletée. au sommet, inclut des galets de quartz (2 cm) et quartzite; des blocs ellipsoïdaux (5-20 cm) de grès ferrugineux et grès quartzeux.
- 69-94 cm : pavage festonné de blocs parallélépipédiques des mêmes grès, à faces verticales ferriti-sées; la cuirasse est logée dans les creux du pavage.
- 94-130 cm : argile rouge finement polyédrique renfermant des noyaux (1-50 mm) des grès sous-jacents. Base légèrement festonnée, ravinant les grès jaunes.
- 130-220 cm : grès jeune tendre à tubules, inclusions rouge vif argileuses, à lit de grès à oolithes troués par les tubules.

Cette argile rouge, ici un produit d'altération de grès argileux remanié et fossilisé par le pavage dans lequel se différencie la cuirasse, peut être très riche en gravillons de la cuirasse supérieure, mais son squelette est toujours différent de celui de la cuirasse ferrugineuse qu'elle sépare des grès. Ce serait tout ce qui reste des anciens sols d'altération du versant supérieur, érodés, remaniés, fossilisés.

Ce site est également intéressant parce qu'une nappe détritique de versant s'y mélange à un dépôt fluviatile (galets) apporté par le Dallol Bosso tout proche. Ajoutons que ces cuirasses ont été très anciennement érodées car leur surface rabotée porte parfois des traces de corrosion éolienne dont la direction est celle de l'erg "ancien" (ici, gisement de 288°).

2.16 C u i r a s s e s d e
l' A d e r D o u c h i

- Base du versant à pavage (M.1)

Epaisseur : 50 à 100 cm.

Structure : grossièrement conglomératique, les blocs détritiques faiblement cimentés par des pisolites en assemblage parfois très lâche (aspect spongieux), feuilletée lorsque la cuirasse se développe dans et au sommet des grès maestrichtiens de la surface infra-Eocène.

Ciments : rouges ou brun-rouges, centre des pisolites noir ou brun.

Squelette : grossier et abondant; blocs de grès de toutes tailles (jusqu'à 50 cm), légèrement arrondis, formant pavage.

Matériau : nappe détritique de versant à emballage meuble initialement sablo-argileux, issue du sidérolithique (Ct.1) mais recouvrant l'Eocène et le Crétacé.

2.17 C u i r a s s e s d u N i g e r
o r i e n t a l (socle)

- Cuirasses conglomératiques (M.1)

Epaisseur : 50 à 100 cm.

Structure : conglomératique et feuilletée, les feuillets parfois formés de nodules coalescents; porosité tubulaire au sommet.

Ciments : brun-rouge, ocres, bruns, avec plages noires; rosés pâles sur granites alcalins; cortex secondaire jaune sur les nodules, le squelette, craquelé puis recimenté.

Squelette : abondant et grossier; blocs émoussés, galets de quartz, quartzite, granite (chaos); galets éolisés de quartz et quartzite hérités du Crétacé. Ces éléments sont ferritisés, ce qui les distingue des nappes d'éboulis plus tardives et de teinte claire qui ont pu fossiliser la cuirasse.

Phase migratrice actuelle : ces cuirasses peuvent être encore le siège d'une intense circulation oblique amenant des dépôts blancs de quartz esquilleux très fin (limoneux) au sommet des feuilletts et des pellicules d'argile rubéfiée sur la face inférieure de ces derniers; du calcaire a été également noté dans le Mounio.

Matériau : nappe d'éboulis ou nappe d'épandage fluviatile (proluviale) ravinant la roche peu altérée, plus rarement une arène (Damagaram).

- Cuirasses du glacis (M.2)

Epaisseur : 30 à 40 cm (horizon concrétionné) 100 cm (cuirasse).

Structure : le plus souvent horizon concrétionné (Mounio et amont du glacis du Damagaram) cuirasse feuilletée en aval du Damagaram.

Ciments : brun-rouge; cortex jaunes fendillés et recimentés très abondants.

Matériau : argile d'altération arénacée à sommet remanié par un dépôt grossier à galets de quartz éolisés hérités du Crétacé (Damagaram).

2.18 Les cuirasses de l'aurole du bassin de la Korama (M.2, grès)

- vers les cotes 415-420

Epaisseur : 1,5 à 2 mètres pour les horizons indurés proprement dits, 4 à 5,5 m avec les horizons de

grès ferritisés.

Structure : soit irrégulièrement pisolitique au sommet devenant feuilletée vers la base par coalescence des pisolites (site de Dogo) soit massive, formant une dalle très dure, localement feuilletée (site de Hamelaya); au-dessous, sur deux à quatre mètres, grès ferritisés par volumes nodulaires de taille décroissante vers le sommet.

Ciments : violacés dans les pisolites, rouge brun dans le faciès feuilleté; des patines secondaires brun jaune.

Squelette : celui des grès.

Matériau : grès argileux quartzeux à tubulures de couleurs diverses.

- vers la cote 400 m

L'aspect est celui des cuirasses précédentes qui auraient été tronquées au sommet des grès ferritisés (Bande). Le sommet en est remarquablement tronqué, plan, couvert d'un lit de débris ferritisés à aspect de reg, fossilisé sous des sables.

2.19

Les cuirasses des bassins
des Goulbi (Crétacé)

- Cuirasses des buttes tabulaires (M.1)

De rares échantillons massifs à porosité alvéolaire ou pisolitiques et conglomératiques. Surface à ciselures éoliennes.

- Cuirasses de glacié concrétionné (M.2)

Épaisseur : 10 à 50 cm.

Structure : feuilletée, pisolitique ou feuilletée à sommet pisolitique.

Ciments : teintes foncées brunes et brun-rougeâtre;

noirs au centre de pisolites et de feuilletés. Concrétions manganésifères au-dessus de la cuirasse dans des sables la fossilisant, en position de mauvais drainage externe. Cortex jaunes fendillés fréquents.

Matrice : parfois encore visible; argilo-sableuse, rouge et blanche.

Squelette: graviers émoussés de grès, galets et graviers de quartz quartzite, parfois éolisés, hérités des grès.

Matériau : Matériau d'altération des grès, parfois remanié.

2.110 C u i r a s s e s d e s a r g i l e s d u
N i g e r C e n t r a l (Ct.2)

- Cuirasses de buttes ou en ressaut (M.1 ou M.2)

Pisolitiques ou massives à porosité alvéolaire, parfois conglomératiques.

2.111 R é s u m é

Les structures des cuirasses ferrugineuses sont massives, pisolitiques ou feuilletées. La structure feuilletée est caractéristique de cet ensemble; elle procède des deux autres par développement accru des vides, alvéoles de la structure massive ou cavités internodulaires, selon des plans grossièrement parallèles. Les pisolites, beaucoup plus irrégulières que celles de la cuirasse ancienne, se forment par ferritisation d'agrégats argileux polyédriques dont ils peuvent conserver le débit (M.2). Des volumes nodulaires se forment également au sein des grès en quantités parfois considérables (M.2 de la Korama). La combinaison de ces structures peut subdiviser la cuirasse en horizons plus ou moins nets : la structure feuilletée se développe plutôt à la base d'un niveau pisolitique, une dalle massive peut couronner des grès ferritisés en nodules. Le développement de cortex "primaires" de teinte généralement brune autour des pisolites, de

feuilletés, à l'intérieur de tubules, est très commun et caractéristique. Les cuirasses massives sont également épaisses et localisées sur M.1, exceptionnellement sur M.2 (Korama) où elles sont habituellement pisolitiques à feuilletées. Les cuirasses feuilletées sont plus fréquentes sur les grès.

Les ciments tendent à être moins rouges et plus foncés vers les points bas, aussi bien d'un modelé à l'autre qu'à l'intérieur de la même forme. Cette tendance culmine dans les cuirasses manganésifères de la base de M.2 et surtout de M.3. Les ciments sont issus de la ferritisation de matériaux sablo-argileux ou argilo-sableux à structure polyédrique souvent conservés en M.2. Des dépôts cutiniques ferrugineux secondaires peuvent enrober le squelette et les nodules; craquelés et recimentés, ils témoignent de variations importantes du climat du sol. Des matériaux plus tardifs : enduits argileux, quartz pulvérulent, calcaire parfois, témoignent d'une circulation encore active dans certaines cuirasses du Niger oriental.

Les débris de roches résistantes, quartz, quartzite, grès ferrugineux, de cuirasses plus anciennes, la cuirasse supérieure principalement, sont fréquents et souvent abondants. Ces concentrations grossières couvrent de grandes surfaces; leurs divers aspects, éboulis, couverture de glacis et versants, dépôt fluviatile à émousé plus accusé, sont en continuité sur chaque forme et semblent traduire une éluviation différentielle des sols de l'ensemble du paysage, compliquée de transports par l'eau plus ou moins importants. Les dépôts en pavage démontrent cette éluviation et sa conséquence, le recul des surfaces topographiques, alors que le transport sur les glacis est révélé par des débris allochtones sur les modelés qui ont été les plus rapidement creusés : débris de grès continentaux (Ct.3) sur les shales nigériens et les granites kaolinisés, débris de Birrimien sur les granites, de grès Crétacé sur les granites du Niger oriental. Les cuirasses conglomératiques ne sont en fait qu'un type granulométrique de l'ensemble des cuirasses ferrugineuses, particulièrement riche en éléments clastiques. Leur occurrence dépend de l'aptitude de la roche à fournir des fragments résistants, du relief, de la latitude, les cuirasses les plus septentrionales tendant à se localiser aux pieds des éboulis, des épandages grossiers. Elles seront donc plus fréquentes sur granites et grès que

sur shales, dans les massifs ou les vallées à versants plus raides que les glacis, dans l'aire actuellement sahélienne. Elles paraissent moins nombreuses sur les hauts niveaux du Niger occidental (M.1a).

Les cuirasses M.1 du Niger occidental sont établies sur les kaolins et shales ferritisés; les cuirasses sur grès peuvent se différencier au sein même de la roche. Toutes les autres recouvrent la roche peu altérée ou saine, parfois un paléosol plus ancien et remanié (grès du Niger moyen).

Où cette succession peut être observée, le cuirassement est plus intense sur le haut modelé (M.1) que sur le bas modelé (M.2); il est également plus important en M.1a qu'en M.1b (Birrimien). Le volume du cuirassement de la Korama, à position topographique M.2, est celui du haut modelé du Niger occidental, mais cela sur les grès seulement. L'explication serait une singularité hydrogéologique encore actuelle, la situation dans une zone d'émergence des nappes phréatiques, en accord avec la morphologie feuilletée suggestive d'une circulation latérale importante.

L'intensité du cuirassement dépend ensuite de la latitude, de la pluviosité, cela se manifestant moins dans la morphologie que dans le nombre des témoins cuirassés, à l'augmentation près du nombre des cuirasses conglomératiques (M.1) vers le nord. En gros, à moins de 600 mm actuels, le modelé non concrétionné M.3 est le plus étendu, alors qu'à plus de 750 mm, ce sont les sols concrétionnés et indurés de M.2 (socle). A latitude égale le nombre et l'épaisseur des témoins cuirassés est fonction des oxydes de fer disponibles dans la roche ou l'altérite, le classement des paysages par ordre de cuirassement étant approximativement le même que celui des taux :

- 1) - Birrimien
roches vertes : 5 à 14% d'oxydes de fer en Fe₂O₃
shales : 3 à 11%
- 2) - Kaolins
sur granites : 1,7 à 8,5%
- 3) - Granites : 1 à 4%
- 4) - Grès du Ct.3 : 1,2 à 1,7%

5) - Continental Hamadien : 1,0 - 1,3%
Argileuses gréseuses Ct.2 : 1,0%

2.2 CARACTERES MICROMORPHOLOGIQUES

2.21 Descriptions types

2.211 Cuirasse pisolitique

Situation

Site de Makalondi (12° 51' N., 1° 47' 50" E., cote 241); base du modelé M.la; roches basiques birrimiennes kaolinisées; lame 85.

Aspect macroscopique

Fonds jeune à plages et réseau très fin rouges; des nodules arrondis jaunes de 10 mm.

Structure de base

Squelette

Des quartz rares, petits (moins de 100 μ), à bords cariés, remplissant incomplètement leur logette.

Plasma et concentrations floconneuses.

Fonds jaune-brun isotique, incluant de nombreuses micro-oolithes rouges (2 à 4 μ) divisé par un remarquable réseau arborescent également rouge dont les éléments, très minces (moins de 10 μ) se résolvent à leurs extrémités distales en micro-oolithes plus ou moins coalescentes. Cette phase ferritisée peut également cloisonner le plasma jaune en logettes polygonales curvilignes de 50 μ , à plasma jaune très clair, ou le recouvrir entièrement par plages floconneuses à limites nettes de 100 μ .

Vides

Des fissures très fines, irrégulières ou cernant les nodules.

Traits pédologiques authigènes

Concentrations

Quelques cutines rouges de fissures planes.
Des feuilletts presque cristallins de goéthite (plasma orangé très biréfringent à orientation forte, à domaines cristallins en bâtonnets normaux) fortement flexueux; isolés ou en position de néo-cutine par rapport à des cutines de pores tubulaires rouges.
Strio-tubules orangées argilo-sesquioxidiques.
Quasi-cutines péri-nodulaires formées par concentration des flocons de la matrice.

Séparations

Cutines jaunes striées autour de plages ferritisées.

Les nodules

Amygdaloïdes, ellipsoïdaux, à limites nettes. Même squelette que la matrice et plasma peu différent : jaune brun isotique, vacuolaire (50 μ) par plages, couvert de flocons isotiques rouges. Cutine peu différenciée : plasma nodulaire/feuillet de goéthite / fissure / quasi-cutine rouge /// plasma inter-nodulaire.

Interprétation

Une phase plus ferrugineuse (goéthite et hématite) envahit une matrice plus argileuse (kaolinite et goéthite) en suivant un réseau de micro-fissures qui n'est pas associé à une trame régulière de séparations plasmatiques comme dans la cuirasse supérieure. Il en résulte une grande diversité des formes et des dispositions des domaines ferritisés. En dépit de la cristallisation du plasma envahisseur et de l'existence de nombreuses micro-oolithes, les sesquioxides ne paraissent pas s'être séparés en grande quantité de l'argile de la matrice ni s'être recristallisés. Les plasma décolorés ne sont représentés que par des cutines striées plus claires autour de gros flocons rouges, interprétées comme des zones décomplexées et réorientées autour d'un volume ferritisé. Il n'y a de plasma alvéolaire que dans les nodules authigènes qui sont ainsi un peu plus différenciés que la masse. Cette cuirasse résulte d'une atténuation des processus à l'origine de la cuirasse supérieure, dans un matériau à microstructure dépourvue d'organisation régulière.

Cuirasses pisolitique et feuilletée

Situation

Site de Bendio (13° 52' 10" N., 1° 4' 30" E., cote 249); modelé M.lb; sur kaolins; lame 140.

Aspect macroscopique

Fonds porphyrosquelettique brun-jaune à plages allongées rouges; nodules (5-10 mm) roses à noirs à cutines jaunes; cutine brune zonée en limite de feuillet; des vides irréguliers allongés.

Structure de base

Squelette

Quartz abondants hétérométriques, à grains anguleux de 15 à 270 μ dominants, outre quelques individus émoussés atteignant 2 mm; tous les grains enrobés, certains ferritisés dans des fissures; bords non cariés; répartition inégale.

Plasma et concentrations floconneuses

Il existe plusieurs degrés de concentration des sesquioxides.

- Plasma floconneux jaune-brun à jaune orangé isotique, à plages (25 μ) jaune-brun squelsepiques unduliques.

- Plasma floconneux identique à plages plus petites jaunes squelsepiques striées et à nombreuses cloisons noires rougeâtres plus ou moins linéaires. Ces dernières, épaisses de 10 μ environ, tendent à se disposer parallèlement aux faces des quartz et à se situer au milieu des espaces intergranulaires définis par le squelette (50 μ en moyenne).

- Plasma rouge dans son ensemble montrant une ferritisation croissant en s'éloignant des quartz: au contact de ces derniers, un plasma subcutinique jaune clair ondulique, puis une frange rouge clair isotique et enfin, au centre des espaces intergranulaires, des flocons (100 μ) noirs rougeâtres isotiques, affectant une disposition vaguement concentrique. Ce type est celui des phases les plus grossières.

La distribution relative est toujours porphyrosquelettique.

Vides

Uniquement quelques fissures et pores tubulaires.

Traits pédologiques authigènes mineurs

Séparations

Quasi-cutines jaunes striées autour de concrétions.
Quasi-cutines jaunes omnisépiques autour des nodules.

Concentrations

Petites (100 μ) concrétions brun-rouge, elliptiques, finement zonées; associées à des volumes déferritisés jaunes très clair. Feuilletés contournés à orientation forte et continue, jaunes à orangés, associés à des plages déferritisées.

Micro-peds faiblement individualisés formés par des cloisons noires rougeâtres curvilignes tendant à se refermer autour d'un quartz : quartz / cutine jaune striée // plasma floconneux brun-jaune / cloison quasi-cutinique rouge foncé.

Les nodules et leurs cutines

Ils sont nombreux (30% du volume) bien individualisés, ellipsoïdaux. Ce sont des concentrations sesquioxydiques dont le squelette peut être en continuité avec celui de la matrice, avec une répartition homogène ou hétérogène, ou bien être nettement moins abondant.

Les plasma sont, par ordre d'évolution croissant : rougeâtre floconneux, rouge alvéolaire (20 μ) rouge compact à flocons noirâtres, noir rougeâtre compact. Il existe des cutines jaunes omnisépiques autour des grains et à l'intérieur des vides des deux premiers stades, ainsi que des cutines de fissures goethitiques. Il n'existe pas de relation constante entre le type plasmique et l'abondance du squelette, bien que les variations de la concentration de ce dernier soient concomitantes de celles du plasma. La conséquence en est que certains nodules sont composés, par exemple :

plasma nodulaire porphyrosquelettique floconneux rouge enrobant des nodules secondaires, avec ou sans cutine, rouges à flocons noirs, pauvres en quartz.

Les cutines sont épaisses (300 à 500 μ), sesquioxydiques, brun orangé, isotiques à onduliques aux forts grossissements, avec de fines concentrations brunes concentriques. Leurs relations avec le squelette sont des plus curieuses. Elles ne renferment généralement pas de quartz, même si elles séparent deux phases porphyrosquelettiques paraissant en continuité. Si elles contiennent quelques grains, ils sont petits, disposés parallèlement entre les laminae brunes. Elles peuvent être intersectées par de

gros quartz, qu'elles n'enrobent jamais en les moulant, mais de part et d'autre desquels elles conservent la même organisation. Si ces quartz ont des fissures, elles sont ferritisées par le même plasma orangé qui forme la masse de la cutine.

Les cutines de tubules et feuilletts.

Elles sont encore plus épaisses (2 mm) flexueuses, formées de couches parallèles de deux types alternant régulièrement. Les unes sont orangées, isotiques, à petits quartz à grand axe parallèle aux couches, les autres sont plus foncées, finement zonées et sans quartz, avec de très fines couches à orientation forte et continue, jaunes. Elles se moulent sur les nodules voisins.

Interprétation

Il n'existe pas ici d'association entre la ferritisation et l'altération des quartz, qui restent sains, ce qui explique que nous n'ayons pas admis de lien causal entre ces deux phénomènes dans l'interprétation de la cuirasse supérieure.

Les divers états plasmiques sont des degrés dans la ferritisation et l'hématitisation d'un matériau kaolinique, dont les restes les moins évolués s'observent autour des quartz en enrobements orientés à séparations aciculaires (en coupe) caractéristiques. L'accumulation ferrugineuse maximum paraît ainsi localisée à la périphérie de volumes centrés sur des quartz, ce qui suggère qu'elle a pu être guidée par les faces d'agrégats. Dans les plages sans quartz, le principe de l'organisation des cloisons ferrugineuses n'apparaît que très localement, où leur disposition concentrique, soulignée de séparations jaunes, indique une localisation autour de traces mécaniques laissées par des organismes vivants (racines, faune).

Les nodules sont plus ferritisés que la matrice, mais de la même façon. On ne sait rien de leur localisation, si ce n'est qu'elle est sensible aux variations quantitatives du squelette.

Les cutines sont au contraire un dépôt original, bien distinct de la matrice et du plasma nodulaire, formées d'une succession rythmique de films plus argileux et à quartz et de films plus sesquioxydiques (goethite) sans quartz. Pour les cutines de tubules et de feuilletts, on doit admettre les mêmes mécanismes de formation que pour les cutines de nodules qui ont la même structure, ce qui

élimine l'illuviation comme source unique de tout le matériel cutinique. Il semble qu'un premier dépôt sesquioxidique dense se forme sur la surface du nodule ou du pore tubulaire, refoulant vers l'intérieur de la matrice les éléments les plus petits du squelette. Une seconde couche ferritisée se dépose à la périphérie de la zone enrichie en quartz, et ainsi de suite. Les gros quartz restent en place. Les cutines de nodules sont les plus anciennes.

3.213 Carapace feuilletée conglomératique

Situation

Site de Sabongari (12° 19' 40" N., 3° 23' 10" E., cote 232); base du versant supérieur (M.1); sur un ancien horizon gravillonnaire à argile kaolinique rubéfiée, sur grès argileux à tubulures (Ct.3); lame 151 b.

Aspect macroscopique

Fonds rouge porphyrosquelettique; nombreux gravillons arrondis.

Structure de base

Squelette

Quartz très nombreux, de 200 μ environ, à bords cariés, remplissant incomplètement des logettes à formes plus régulières. Quelques agrégats siliceux polycristallins (fragments de grès quartzites). Pédoreliques sesquioxidiques arrondies (150 μ à 3 mm).

Plasma

Porphyrosquelettique et lacuneux, associent une phase jaune clair et une phase rouge foncé isotique floconneuse dont l'abondance varie par plages pouvant coïncider avec une phase du squelette particulière :

- fonds jaune ondulique à nombreux flocons rouges
- fonds jaune ondulique cloisonné de rouge
- phase jaune isotique localisée à de petits volumes (50 μ) inclus dans une masse rouge foncé, avec micro-oolithes.

Vides

Quelques méta-vides allongés (500 μ); nombreux ortho-vides (50 μ) isolés.

Traits pédologiques authigènes

Séparations

Quasi-cutines jaunes striées de pédoreliques.

Concentrations

Cutines très fines jaune orangé à orientation forte et continue autour de flocons et pédoreliques.

Quasi-cutines rouge foncé de méta-vides; cutines rouges de fissures, entre deux phases granulométriques, autour de pédoreliques.

Cutines brunes zonées en limite de feuillet.

Pédotubules complexes

Type intermédiaire entre isotubule et striotubule; sesquioxydiques et siliceux; forme simple, non ramifiée; section circulaire variable (0,5 mm) avec strictions. Centre orange isotique à quartz petits et rares; tout autour couches concentriques à orientation continue moyenne à forte dont la couleur varie du blanc laiteux (biréfringence de 0,01) au jaune orangé (0,020), mélange à proportions variables de silice et sesquioxydes de fer. Des feuillets cristallins proches de la goethite (0,06).

Pédoreliques

Nodules ou fragments de plasma ferritisé, à quartz petits, rares, cariés et oolithes ferrugineuses brunes issues des grès. Plasma ortho-bi-massepique jaune, ou cloisonné, ou alvéolaire, ou rouge isotique et compact.

Interprétation

La carie et la dissolution des quartz ne paraissent pas hérités : les grains ne sont pas enrobés et ceux de l'horizon gravillonnaire sous-jacent ne sont pas altérés. Les pédoreliques sont attribuées à la cuirasse supérieure. Les pédotubules sont des concentrations d'argile ferritisée et d'un mélange indéfini de silice et goethite dans des pores. Toutes les cutines sont peu développées; c'est le seul caractère qui explique la cohésion d'ensemble plus faible dans cet échantillon que dans le précédent (lame 140) dont la différenciation plasmique était équivalente.

2.214 Cuirasse feuilletée et pisolitique (cotes basses)

Situation

Site de Myria (13° 42' 20" N., 9° 6' 35" E., cote vers 410); base de l'auréole de bordure de la cuvette tchadienne (M.2); Suggarien métamorphique; lame 336.

Aspect macroscopique

Fonds rouge porphyrosquelettique; nodules identiques, nombreux (50% du volume) de 3-15 mm, à cutine jaune; cutine semblable en bordure de feuillet.

Structure de base

Squelette

Quartz nombreux (30-300 μ) irréguliers, anguleux, à bords non cariés, enrobés.

Plasma

Noir rougeâtre, isotique, porphyrosquelettique et alvéolaire. Formé de grains très petits (moins de 1 μ) agrégés en flocons étirés (10-30 μ) vermiculés, limitant des cavités irrégulières (10-100 μ) isodiamétriques ou allongées et disposées en files. Autour des vides et au contact des grains de quartz, il est remplacé sans transition par un plasma jaune aseptique identiquement granulé.

Vides

Ortho-vides irréguliers non connectés; quelques fissures irrégulières au voisinage des nodules.

Traits pédologiques authigènes mineurs

Séparations

Très fines cutines jaunes et striées de grains enrobés; quasi-cutines jaunes aseptiques de fissures et nodules.

Concentrations

Glebules sesquioxydiques très denses, noires, ellipsoïdales, petites (10 μ) à limites diffuses, au sein des flocons rouges.

Nodules

Formes ellipsoïdales à mamelonnées, parfois un gros quartz central : plasma très voisin de celui de la matrice, pouvant être plus rouge ou plus largement alvéolaire / néc-cutine jaune ondulique, porphyro-squelettique, parfois absente / cutine jaune-brun isotique zonée de brun, compacte / quasi-cutine jaune aseptique.

Les cutines les moins différenciées se superposent visiblement à une matrice jaune. Elles peuvent être intersectées par des quartz mais n'en renferment pas.

Cutines de feuillet

Elles sont formées du même matériau que les précédentes, plus épais (1 mm) et zoné.

Interprétation

Il s'agit encore de l'hématitisation et de la ferritisation d'un matériau plus goethitique, réorienté au contact des quartz et volumes ferritisés.

2.215

Cuirasse manganésifère

Situation

Site de Ayorou (1° 0' 10" E., 14° 40' 55" N., cote 249); modelé M.3; schistes sériciteux d'Ydouban.

Aspect macroscopique

Plasma rouge foncé à dendrites noires ; cutines jaunes autour de tubules et de débris arrondis de schistes.

Structure de base

Squelette

Des quartz subanguleux à émoussés (200, μ) les uns enrobés, les autres à bords cariés. Nombreux quartz de petite taille (10, μ).

Plasma

Quelques plages jaunes clino ou ortho-bimassepiques dont les domaines floconneux passent en continuité à ceux d'un plasma noir rougeâtre isotique et alvéolaire formant l'essentiel du matériau.

Vides

Ortho-vides (30 μ) formant jusqu'à 50% du volume. Méta-vides tubulaires de grande taille (1 mm). Fines fissures (30 μ).

Traits pédologiques authigènes

Séparations

Quasi-cutines jaunes, striées (fissures) omnisépiques (lithoreliques).

Concentrations

Cutines et quasi-cutines rouges de fissures.

Cutines de fissures orangées à orientation forte et continue (goethite); cet ensemble est recoupé par des fissures plus récentes vides.

Cutines de lithoreliques et de méta-vides jaune-brun isotiques zonées de lignes brunes.

Flocons (jusqu'à 50 μ) d'oxydes de manganèse, noirs et opaques, en faisceaux arborescents suivant plus ou moins des zones fissurées caractérisées par des alignements de vides, des plages de plasma strié. En position cutinique (quartz, vides, lithoreliques) ou absolument quelconque par rapport aux traits pédologiques. Dans des fractures très fines, normales, de cutines zonées, ce dépôt s'élargissant ensuite en épousant la forme des ortho-vides du plasma lacuneux adjacent.

Pédotubule

Isotubule à squelette quartzeux abondant, à orientation moyenne; plasma porphyrosquelettique jaune orangé à flocons rouges.

Lithoreliques

Fragments arrondis ou encore en plaquettes de schistes sériciteux à quartz fins (20-30 μ) conservant leur arrangement uni-strié. Le centre de ces débris est ferritisé par des flocons rouges isotiques finement réticulés, parfois entièrement rouge et opaque. La périphérie est jaune et conserve la structure de la roche, l'ensemble ayant l'aspect d'une concrétion rouge à cortex jaune. Par désorganisation et dissémination des paillettes micacées, le schiste ferritisé passe parfois progressivement au plasma matriciel de la cuirasse. Ces inclusions sont divisées par les mêmes fissures et envahies par les mêmes concentrations ferrugineuses et manganésifères que la matrice.

Interprétation

Le matériau est un mélange d'argile d'altération et de débris de schistes, de quartz assez gros hérités des grès de la formation. La ferritisation suit donc l'altération mais peut aussi atteindre la roche directement, de la même façon que dans les horizons inférieurs de la cuirasse supérieure, mais à une toute autre échelle. Elle affecte d'abord le centre des plaquettes schisteuses qu'elle transforme directement en nodules, phénomène décrit dans les descriptions de terrain sous le nom d'auto-concrétionnement. Il s'agit en fait de volumes nodulaires entourés d'un cortex où la structure originelle n'a été que peu transformée, ce qui est un exemple très démonstratif de la règle par laquelle les parties externes des nodules, à aspect de cutine, d'enrobement, sont en réalité des parties préservées de la matrice de base, elles-mêmes incluses dans la cutine proprement dite.

Les oxydes de manganèse se sont mis en place postérieurement aux ciments ferrugineux. Les fissures et les vides structuraux ont joué un grand rôle dans leur cheminement et dans la localisation de leurs sites d'accumulation.

2.22 Résumé et conclusions

2.221 Minéralogie

Le squelette est formé de quartz, de fragments émoussés de la cuirasse supérieure, de débris de roche (grès, schistes) de minéraux accessoires divers : tourmaline, hornblende verte. Le plasma est pour l'essentiel un mélange d'une phase kaolinique et goethitique et d'une phase goethitique et hématitique. La goethite tend à se concentrer dans des cutines, l'hématite dans des flocons. Il existe en outre de petites quantités de matériaux purement kaoliniques, ou goethitiques, ou calcédonieux, ou à oxydes de manganèse.

2.222

Squelette

Les quartz sont hétérométriques. Les diamètres courants vont de 10 à 600 μ mais atteignent et dépassent 2 mm pour des grains directement hérités de la roche ou du matériau (kaolins, grès crétacés, agrégats de grès silicifiés du Ct.3). Les formes sont anguleuses et subanguleuses, avec un aspect esquilleux aux petites tailles attribué à la fragmentation de quartz altérés. Les grains émoussés ou arrondis de grande taille des grès continentaux se retrouvent parfois dans la cuirasse. Si des fissures pré-existantes peuvent être ferritisées, les quartz ne sont généralement pas cariés, leurs bords indemnes étant étroitement enrobés par le plasma. Ils sont cependant corrodés quelquefois et apparemment dissous partiellement dans des logettes devenues trop grandes; cela a été observé sur les schistes (M.1a et M.3) et exceptionnellement sur les grès (M.1). On connaît également des quartz cariés hérités, probablement de la cuirasse supérieure. L'inégalité de cette altération démontre l'indépendance entre cette dernière et la ferritisation. Les quartz sont toujours très abondants sauf sur schistes, principalement du haut modelé (M.1a). Leur distribution inégale, un certain degré d'orientation de base, traduisent des remaniements du matériau antérieurs au cuirassement mais susceptibles d'avoir guidé la formation de traits pédologiques. La distribution relative est toujours porphyrosquelettique.

Les pédoreliques sont pour la plupart identifiables à des restes de la cuirasse supérieure, surtout des nodules et des débris de nodules; leurs quartz sont en effet toujours corrodés et leurs plasma, bimassepiques ou densément ferritisés, caractéristiques. Cet héritage pourrait également comprendre des micro-oolithes de grande taille (10 μ).

2.223

Les plasma et leur évolution

Série à kaolinite, goethite, hématite.

L'organisation et la filiation des plasma les plus importants sont très voisins de ceux de la cuirasse supérieure, mais d'expression moins claire.

- plasma non ferritisés de la roche ou du matériau.
 1. il n'est pas connu en dehors de celui de schistes, jaunâtre, unistrié, inclus dans le matériau.
- plasma non hématitisés.
 2. Il est représenté par des volumes assez rares et peu importants de teintes jaunes à jaune-orangé, isotiques à onduliques, localement bimassepiques ou clino-bimassepiques. Il n'y a de plasma bimassepique étendu que dans le sol remanié sous-jacent à la cuirasse des grès du Niger Moyen. Fait partie de cet ensemble le matériel subcutinique, le plus souvent réorienté autour des éléments du squelette, des flocons densément ferritisés, à la périphérie des ortho-vides, à arrangement isotique, inondulique, strié, omnisépique, qui parsème de minces liserés ou de plages minuscules la surface de toutes les préparations.
- plasma fortement ferritisés, hématitisés, cristallisés, alvéolaires.

La ferritisation commence par l'augmentation de la densité optique et se poursuit par la formation de flocons orangés puis rouges, de plus en plus individualisés et opaques. La disposition des flocons est géométriquement mal définie et très variable, car elle n'est pas guidée par un motif régulier de séparations, mais par un réseau inconstant de microfissures, par des faces d'agrégats centrés sur les quartz, par des limites entre phases granulométriques. La cristallisation apparaît assez tôt mais se limite habituellement à la formation de domaines cristallins inférieurs à 1μ , quoique des micro-oolithes de plus grande taille ($2-10 \mu$) apparaissent dans quelques cuirasses. La "décomplexation" de la matrice est rare; les plasma décolorés se forment au centre de micropeds, autour de flocons très denses. Les ortho-vides, irréguliers et non connectés, de taille moyenne ($20-60 \mu$, parfois 100μ) apparaissent dès le stade floconneux et atteignent leur plein développement au stade complètement ferritisé alvéolaire. Ils sont accompagnés de macrovides irréguliers, sortes de déchirures souvent localisées autour des volumes nodulaires.

3. Plasma floconneux : un des deux stades dominant. Fonds jaune à flocons orangés à rouges, avec

souvent un gradient de ferritisation du centre à la périphérie des flocons.

4. Plasma cloisonné : peu fréquent. Flocons en réseau sur le fonds. Parfois formation de micropeds par disposition concentrique des flocons. Cristallisation habituelle à ce stade.

5. Plasma rouge alvéolaire : deuxième stade dominant.

- Plasma complètement ferritisé, compact.

6. Il a été observé dans des cuirasses relativement pauvres en plasma, ce qui empêche d'apprécier sa signification génétique. Il occupe des volumes limités au sein des stades précédents (3 à 5).

- Cas particuliers.

Quelques cutines sont formées du matériel de cette série dont elles ne sont qu'une disposition géométrique particulière :

. Cutine rouge à laminae jaunes isotiques.

. Cutine rouge incluant des vides concentriques à un nodule.

Série à kaolinite et goethite

Des plasma goethitiques fortement cristallisés ou très denses s'individualisent au sein de la matrice de base :

1. Stade initial, de plasma jaune isotique à ondulique.

2. Stade intermédiaire, omnisépique.

3a. Stade final cristallisé : jaune à orangé, en rosettes, sphérulites, tubes et surtout feuillets cristallins; parfois de très petites concrétions (100 μ).

3b. Stade final isotique : c'est celui des cutines de nodules et tubules caractéristiques de ces cuirasses, compactes et jaune brun, dont la couleur gris métallique en lumière réfléchie dénonce la forte ferritisation. Elles sont très finement zonées et incluent des feuillets cristallins goethitiques (3a).

Leur substrat, visible lorsqu'elles sont encore peu développées, est jaune, aseptique à omnisé-
pique (stades 1 et 2).

Série à goethite et silice calcédonieuse

Elle se met en place dans des vides tubulaires ou autour des zones envahies par les oxydes de manganèse. Elle est formée de mélanges indéfinis entre un ciment incolore, hyalin, sphérulitique, et un pigment ferrugineux orangé.

Série à oxydes de manganèse

Elle est formée de flocons noirs et opaques groupés en arborescences envahissant les structures ferritisées, guidées dans leur cheminement par les fractures, les vides structuraux, les faces des traits pédologiques. Sa mise en place est tardive, postérieure à la ferritisation, à la formation des nodules et cutines. Les volumes à oxydes de manganèse peuvent être entourés d'une gaine mince de plasma kaolinique incolore à jaune très clair, déferritisé, indiquant l'existence de conditions réductrices et de forte humidité préalables à leur mise en place.

2.224 Les traits pédologiques

2.2241 Les nodules

Ils sont sesquioxydiques, de formes plutôt polyédriques curvilignes que sphériques ou ellipsoïdales, limités par une cutine. Ce sont des volumes un peu plus différenciés, souvent dans une très faible mesure, de la matrice enrobante :

- plasma nodulaire rouge compact (stade 6, le plus fréquent) dans un plasma enrobant au même stade mais moins dense, ou cloisonné, ou floconneux;
- plasma nodulaire **alvéolaire** dans un plasma péri-nodulaire également alvéolaire mais moins largement lacuneux;
- plasma nodulaire cloisonné dans un plasma floconneux.

Ils renferment parfois une néocutine interne jaune ondulique (stadé 2) reste du plasma matriciel. Cette interprétation se justifie très facilement pour des plaquettes schisteuses se transformant directement en nodules à centre rouge et cortex jaune. Les nodules peuvent être localisées par des variations dans la répartition du squelette ou en être indépendants.

Les volumes nodulaires

Ce sont également des zones un peu plus ferritisées et différenciées mais leurs limites sont diffuses et leurs formes irrégulières, vaguement polyédriques ou étirées. Ils peuvent, plus facilement que les nodules, coïncider avec un type granulométrique. Certaines cuirasses paraissent formées d'une mosaïque de tels volumes, à des stades variables de différenciation.

2.2242 Les traits subcutiniques

Première série

Séparations

Quasi-cutines jaunes striées de nodules, volumes nodulaires, inclusions, fissures; cutines de grains enrobés et néo-cutines d'orthovides jaunes isotiques à striées.

Concentrations

Matériel isotique rouge en quasi-cutines et cutines de grains enrobés, en cutines de fissures, méta-vides, volumes nodulaires et nodules (stade 4 à 6). Fréquemment associé à du matériel orienté goethitique :
volume nodulaire // néocutine jaune striée / cutine rouge / quasi-cutine jaune bimassepique // néocutine jaune striée / cutine rouge / cutine jaune brun zonée (série II, 3b). (cutine composée).

Deuxième série

Séparations

Cutines et quasi-cutines omnisépiques.

Concentrations

Plasma cristallin goethitique (3a) : cutines de fissures, plus rarement de grains enrobés. Souvent associées aux cutines rouges :

nodule/fissure et cutine goethitique/ cutine rouge.

Plasma isotique zone (3 b) : il fournit le matériel cutinique le plus important et le plus caractéristique autour des nodules, des vides associés à la macro-structure feuilletée. Il se dispose en couches compactes et sans quartz séparés par des couches de plasma jaune isotique concentrant de petits quartz, l'ensemble étant recoupé par des grains de plus grand diamètre. Cette cutine complexe est souvent gainée côté matrice d'un halo glebulaire formé de digitations de plasma omnisépique et prolongée côté nodule de cutines de fissure goethitiques. Elle se formerait par apport de sesquioxides (et d'argile?) dans la matrice réorientée autour du nodule ferritisé ou près d'un vide important. Le tri des quartz, qui ne saurait être attribué à l'illuviation autour des nodules, serait une conséquence mécanique de la croissance de la cutine. Les cutines de feuillets, de gros pores tubulaires, sont plus différenciées que les cutines de nodules mais plus tardives.

Les pédo-tubules et concentrations tubulaires

Des pédo-tubules très caractéristiques, observées aussi bien sur schistes que sur grès, sont formées d'un matériel isotique orangé probablement une argile ferritisée, pure ou à petits quartz et pédoreliques (isotubule porphyrosquelettique) ou encore entourée de couches concentriques fortement orientées siliceuses et goethitiques (striotubule).

2.23

C o r r é l a t i o n s a v e c l e s
c a r a c t è r e s m a c r o s c o p i q u e s e t
t y p e s d e d i f f é r e n c i a t i o n

Les couleurs relativement ternes de ces cuirasses sont dues à la médiocre cristallisation des sesquioxides, particulièrement dans les cutines, à la ferritisation incomplète qui produit un mélange peu organisé de domaines diversement pigmentés à l'échelle du flocon (50 μ) et à celle du volume nodulaire (5 mm) à la présence occasionnelle d'oxydes de manganèse.

Les formes polyédriques du débit de certaines cuirasses coïncident avec celles des nodules et volumes nodulaires, distincts entre eux par les proportions relatives du squelette et du plasma, ou par la disposition relative de ces derniers, ou par le degré de ferritisation. Toutefois les nodules se développent aussi bien sur un matériau apparemment homogène. La structure initiale d'un horizon induré n'est donc qu'un guide pour la ferritisation.

Le développement de la structure feuilletée est celui des ciments cutiniques zonés (11, 3b). Les structures pisolitiques et massives apparaissent dans n'importe quel type de plasma métroclinal ferritisé. Leur induration dépend de la prédominance des plasma très denses (I, 6); les cuirasses pisolitiques très dures sont également riches en cutines zonées. Il en est de même pour les cuirasses conglomératives, où l'abondance du squelette semble de surcroît favoriser une ferritisation complète (Série I, stade 6). Inversement les horizons peu durcis ont des plasma peu évolués (1, 2 et 3).

2.3

ANALYSES CHIMIQUES

Les variations de l'insoluble au réactif tri-acide sont celles du quartz apparent : il est faible dans les cuirasses à grains rares et cariés (échantillon 85) il est élevé dans les cuirasses porphyrosquelettiques (échantillon 140). Les taux de Fe_2O_3 sont compris entre 25 et 50%, ceux de Al_2O_3 entre 10 et 20%, chiffres qui deviennent tout à fait comparables à ceux de la cuirasse supérieure lorsqu'on les corrige de l'insoluble et des phyllites potassiques résiduelles. Il existe de l'alumine libre virtuelle, que nous n'avons pas pu découvrir avec certitude sur les lames, alors que de faibles quantités d'oxydes de manganèse ont été observées (échantillon 136). Ces dernières ne donnent d'accumulations importantes que sur roches manganésifères (1).

(1) MACHENS (1964) a analysé une cuirasse manganésifère massive, épaisse de plus de deux mètres, en position topographique mal déterminée (M.1a ou surface supérieure) sur une gondite birrimienne de la région de Tera.

Cuirasse : $MnO = 45-54\%$, $Fe_2O_3 = 6-10\%$, $Al_2O_3 = 11-13\%$,
 $K_2O = 0,8-1,9\%$.

Gondite : $MnO = 15-21\%$, $Fe_2O_3 = 8-10\%$, $Al_2O_3 = 16-21\%$,
 $K_2O = 2-5\%$.

Par le calcul, et avec une approximation convenable, on arrive à ce résultat que 95% du plasma consiste en kaolinite (23 à 38%) goethite et hématite (54 à 67%) gibbsite (4 à 6%). La goethite forme plus de 60% des sesquioxydes de fer, alors que son taux minimum s'abaisse à 12% dans la cuirasse supérieure, ce qui est en accord avec le développement moindre des plasma rouges et opaques (série I, stades 5 et 6) dans les cuirasses ferrugineuses. Dans ces dernières, il n'y a d'hématite virtuelle que lorsque les pigments rouges sont particulièrement bien cristallisés (échantillon 85) ou denses (échantillon 151).

Comme il n'existe pas de matériau défini de référence pour ces horizons indurés où les remaniements et l'illuviation sont manifestes, il n'est pas possible d'établir un bilan avec un petit nombre d'analyses. Ce qui est certain, c'est que, par rapport à la roche mère ou au manteau d'altération, le plasma est au même degré d'altération et d'accumulation des sesquioxydes que celui de la cuirasse supérieure alors que le squelette quartzé, s'il est parfois altéré, est ordinairement indemne.

La variabilité de la composition du squelette reflète celle des sources du matériau : cuirasse supérieure, lithomarge ferritisée de cette dernière, manteau d'altération, roches. L'homogénéité du plasma ne peut alors être due qu'à celle de la pédogenèse. Par exemple qu'il existe les mêmes taux de gibbsite dans les cuirasses sur kaolin ou sur schistes sériciteux, ou encore dans les cuirasses à pédoreliques indurées ou simplement à quartz, ne peut être le seul fait de l'héritage. L'identité des propriétés chimiques et la très grande ressemblance des caractères microstructuraux font que les processus physico-chimiques fondamentaux qui ont pu rendre compte de la formation de la cuirasse supérieure doivent aussi expliquer les cuirassements quaternaires. Ce sont la kaolinisation, ou le maintien des conditions de stabilité de cette dernière et l'allitisation associée à une accumulation absolue de fer. Le calcul montre que ces deux derniers mécanismes doivent être simultanément envisagés pour expliquer les taux de Fe_2O_3 , le matériau supposé fût-il aussi ferritisé que l'est la lithomarge de la cuirasse ancienne (échantillon 155). Il indique également que les taux initiaux d'argile doivent être du même ordre de grandeur que ceux des kaolins ou des grès argileux (50 à 60%). Exemple :

Echantillon 140, sur kaolins remaniés très pauvres en pédoreliques :

Taux de Fe_2O_3 du plasma

cuirasse supérieure	55
cuirasse ferrugineuse	60
cuirasse ferrugineuse, corrigé de la kaolinite altérée	50-54
kaolins	7 à 10
kaolins altérés comme le plasma ferrugineux	20

Taux d'argile kaolinique

dans la cuirasse	18%
avant altération	28 à 38%
dans le matériau reconstitué	46 à 53%

Sur schistes l'argile devait former 40% environ du matériau, ce qui implique la kaolinisation préalable d'une partie des phyllites potassiques.

Le support de la ferritisation ne s'est donc pas appauvri en argile par rapport à celui de la cuirasse supérieure, mais les quartz ont pu cependant s'y concentrer (échantillon 151) ce qui n'est guère explicable par des processus simples de remaniements mécaniques, tels qu'on les observe actuellement sur les glacis fonctionnels où les phases grossières ont perdu leur argile. L'éluviation et les mouvements qui ont produit l'accumulation du squelette ont été nécessairement suivis d'une illuviation d'argile in situ ou du moins accompagnés de déplacements très faibles.

2.4

CONCLUSIONS

Les cuirasses ferrugineuses sont des horizons illuviaux sur des matériaux remaniés mêlant altérites et sols anciens à la roche fraîche, où l'importance du squelette est sous la dépendance de facteurs lithologiques, climatiques et historiques, les extrêmes étant d'une part la cuirasse haute méridionale presque en place sur kaolins, d'autre part la cuirasse septentrionale

conglomératique pétrifiant la base d'un versant à page.

Les mécanismes principaux du cuirassement sont ceux de la cuirasse supérieure : ferritisation en goethite et hématite d'une trame kaolinique partiellement allitisée, nodulation à partir de centres privilégiés. Mais leur expression morphologique est différente parce qu'ils agissent, avec moins d'intensité et de régularité, sur une matrice autrement structurée et parce qu'ils sont complétés de processus secondaires d'illuviation et d'hydromorphie. Dans la série évolutive des plasma ferritisés, les stades très denses, très hématitisés sont moins développés, ce qui fait que les nodules apparaissent peu différenciés. La ferritisation et la nodulation sont moins guidées par une trame microstructurale que par des volumes macroscopiques irréguliers définis par des variations de la disposition et de la concentration relatives du plasma et du squelette. Une phase illuviale goethitique et probablement kaolinique se dispose autour des nodules et de gros vides conducteurs en cutines composées. Une seconde phase illuviale, très tardive, à oxydes de manganèse, envahit très localement fissures et vides structuraux ou bien imprègne des plages déferritisées, en quelque sorte gleyifiées. De la silice s'associe à la goethite dans des pédotubules assez nombreuses et diversifiées. Des dépôts très frais de quartz limoneux, d'argile ferritisée, de carbonates de calcium même, témoignent d'une circulation encore active dans les vides conducteurs.

La différenciation en horizons est peu fréquente et se limite à un accroissement vers le sommet de la ferritisation, vers la base de la porosité liée aux circulations obliques (faciès feuilleté). Les variations constantes selon les sites sont la diminution d'épaisseur vers les modelés les plus juvéniles, à l'exception de l'auréole péri-tchadienne, l'accroissement des ciments goethitiques mal cristallisés et manganésifères vers les bas de pente.

Les remaniements texturaux, les structures grossières, l'illuviation, l'hydromorphie, les circulations obliques sont des caractères de chaînes de sols ferrugineux tropicaux lessivés, dont ces cuirasses sont les horizons B indurés. L'excès d'alumine, qui ne peut être entièrement hérité, est spécifique des cuirasses et d'elles seules. Il est dû à une altération associée à

la ferritisation et par là strictement localisée dans le profil. Elle est indépendante de la dissolution des quartz qui, de règle dans la cuirasse supérieure, est exceptionnelle dans les cuirasses plus récentes.

3. LES CAILLOUTIS ET CONGLOMERATS FERRITISES

Les éléments squelettiques des chaînes de sols des glacis et versants sont concentrés et assortis de caractères de tri, d'émousé, de stratification fluviale, dans des cailloutis alluviaux transformés par la même évolution pédologique d'ensemble que les cuirasses ferrugineuses en conglomérats indurés. Ils apparaissent en affleurements linéaires découpés en terrasses étagées le long des grandes vallées actives ou sèches, se raccordant topographiquement aux glacis de la toposéquence desquels ils forment le terme inférieur, le plus induré. Les alluvions à galets très anciennes de Maradi sont, par une notable exception, le support de tout un modelé et ne s'organisent pas autour d'un axe fluviale bien défini. Les variations de l'intensité du cuirassement sont calquées sur celles des glacis et versants. Il existe des terrasses hautes à cuirasses épaisses et fortement indurées, des terrasses basses où le cuirassement, plus modéré, tend à disparaître vers les régions sèches septentrionales. L'entaille ayant mis ces dernières en relief, est elle-même tapissée d'une dernière nappe caillouteuse, fossilisée par des remblais inactuels et des alluvions modernes, transformées essentiellement par hydromorphie ; ce sont les "graviers sous berge" décrits par VOGT dans la vallée de la Mekrou (1960).

3.1 LES SITES

3.11 Alluvions à galets de Maradi

Elles recouvrent le Continental Hamadien et le socle antécambrien du bassin du Goulbi de Maradi mais n'affleurent qu'au sud du parallèle 13° 45', sur une largeur de 110 km. Elles forment des interfluves entaillés en glacis où subsistent les témoins de deux niveaux cuirassés, l'un à la cote 465 (M.1) l'autre à la cote 412 (M.2).

3.12 Vallée du Niger

Entre Zamokwara, 50 km au nord de Niamey, et la frontière de Nigéria, une dépression de la surface supérieure a été recreusée par le Tilemsi, ou Niger ancien, en une vallée très évasée dont le thalweg s'est établi au niveau de la surface infracontinentale, incisant les grès tertiaires parfois jusqu'au socle kaolinisé ou aux grès crétacés. Des cailloutis s'y sont consolidés en poudringues ultérieurement incisés et découpés par le Niger et ses affluents. Ces conglomérats, conservés en buttes étirées le long du fleuve ou plus rarement à la base d'un versant mieux conservé (sud de Niamey et rive droite) sont situés selon le lieu de 30 à 50 m sous la surface supérieure et de 35 à 50 m au-dessus de la zone d'inondation actuelle. Cette haute terrasse est l'homologue topographique de la cuirasse conglomératique de la base du haut versant (M.1) des plateaux du Moyen Niger (cf. site de Birni N'Gaouré) mais l'intensité du cuirassement y est très supérieure, comparable à celle qui a existé sur les hauts glacis du contact grès tertiaires-socle. Dans quelques sites (Say, Tondibia) on observe une dalle conglomératique aussi puissante, mais avec un squelette plus fin et à une cote plus basse, de 15 à 30 m au-dessus des alluvions modernes. C'est une variante, purement topographique et sédimentologique, nullement pédologique, de même nature que celle qui distingue les cuirasses M.1b des cuirasses M.1a du socle.

Quelques cuirasses à squelette provenant du démantèlement du niveau supérieur paraissent marquer une étape dans le creusement de la vallée, 15 à 25 m sous la haute terrasse. Elles sont les homologues des cuirasses du bas modelé M.2. Le sommet des cailloutis déposés au fond de la vallée est situé de 5 à 15 m au-dessus du lit majeur. Ils sont hydromorphes et ne sont que partiellement et très localement indurés; ils sont assimilables aux graviers sous berge de la Mekrou. Les cotes de ces diverses formations, relevées à Niamey, sont présentées ci-dessous :

- surface supérieure	254 m
- base de la haute terrasse (M.1a)	218 m
- base de la basse terrasse (M.2)	197 m
- base du bas versant non induré (M.3)	185 m
- base des "graviers sous berge"	177 m
- thalweg actuel	175 m

3.13 Vallées du socle du Niger occidental

Elles sont longées de quelques affleurements de cuirasses coiffant des cailloutis à matrice argileuse rubéfiée. Leurs corniches dominant de 10 à 25 m les alluvions récentes. Ils se raccordent au bas glacis cuirassé M.2 de la Mekrou et de la Sirba. Près du Darçol et du Gorouol, les ensablements ont empêché d'observer cette corrélation, que la morphologie rend vraisemblable. Il existe également dans la vallée du Gorouol, en un seul site isolé, une formation fluviatile à matrice rubéfiée relativement plus haute que la précédente. Nous la raccordons, par système, à M.1. Les graviers sous berge, hydromorphes et à cuirasse manganésifère, sont visibles dans les sections aval très déblayées de la Mekrou et de la Sirba. Les cotes relatives sont les suivantes :

	Mekrou	Sirba	Dargol	Gorouol
				à Kossa à Bongouro
M.1, sommet des cailloutis				+12 m
M.2, sommet des conglomérats	+29 m	+14 m	+14 m	+7 m
M.2, base des cailloutis	+19 m	+9 m		+4,5
Graviers sous berge, sommet	12 à 15	+3 m		
Lit majeur, cote absolue				235 m
Thalweg, cote absolue	211 m	200 m	201 m	254m

3.14 Vallées sèches du Niger central et oriental

Nous avons déjà noté que le versant ouest du Dallol Bosso, topographiquement identique à celui du Niger à Say, s'achevait par une mince cuirasse renfermant quelques galets de quartz, plaquée sur les grès continentaux quelque peu altérés et soliflués. Les restes de terrasses fluviatiles des vallées sèches sont partout aussi modestes, sur les grès crétacés du bassin des Goulbi, sur les argiles gréseuses du Niger central. Ce sont des placages caillouteux de faible épaisseur, de moins d'un mètre en général, à ciment argileux ferritisé mais non induré, coiffés parfois d'une cuirasse décimétrique, à sommet anciennement ciselé par corrosion éolienne. Ils dominent de quelques mètres des vallées ensablées à fonds plats (dallols, goulbis). Il n'y a jamais, dans leur voisinage immédiat, d'autre modelé que le glacis inférieur nu (M.3) et elles ne forment jamais plus d'un niveau dans chaque section transversale de vallée.

3.2 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE

3.21 Alluvions à galets de M a r a d i

Leur constitution montre qu'ils sont issus d'une formation pédologiquement très évoluée du socle cristallin. Pouvant atteindre trente mètres d'épaisseur, ils sont formés de sables argileux et d'argiles kaoliniques, rubéfiés à leur sommet, hariolés à leur base, emballant des nappes de galets très roulés, de quartz et quartzite, des lits de sables quartzeux très grossiers anguleux. Dans la fraction inférieure, à 2 mm d'un niveau à petits galets de quartz (2 cm, ils peuvent atteindre 4 cm) nous avons trouvé :

quartz	67 à 78%
plagioclases (albite)	3 à 4%
illite, ou muscovite altérée	0 à 3,5%
kaolinite	16 à 21%
goethite + limonite	1,5 à 3%

Leur évolution in situ s'est abouti à la variation de couleur précitée et à la formation de bandes d'accumulation ferrugineuses indurées, à aspect de grès violacé, épaisses de 1 cm environ, légèrement ondulées, s'étendant uniformément au travers de toute la formation. Leur structure est la suivante :

squelette : quartz anguleux à émoussés, hétérométriques, rarement fissurés, non cariés; muscovite exfoliée;

plasma : peu abondant, porphyrosquelettique, brun, isotique (goethite mal cristallisée) à plages résiduelles de plasma argileux jaune. Dans des vides séparant de très petits graviers, très belles cristallisations sphériques orangées goethitiques.

Ce sont des concentrations ferrugineuses, de goethite essentiellement et peut-être de silice, dans un matériau qui, s'il est rubéfié, ne renferme pas de taux suffisants de sesquioxydes pour amorcer la nodulation. Elles diffèrent des bandes illuviales surtout argileuses qui se forment dans les matériaux perméables, sables ou cailloutis, comme par exemple les nappes grossières d'épandage à blocs de quartzite du Mounio (M.3). Elles diffèrent des grès en plaquettes des formations continentales, à plasma bien cristallisé, micro-oolithes, de goethite et hématite. Elles ressemblent aux concrétions, de forme toute différente, qui se développent dans les sables au toit des nappes phréatiques. Elles seraient donc des traces de l'ancienne nappe sous-alluviale.

Les cuirasses qui couronnent ces alluvions en quelques points ont le même aspect macroscopique, massif à porosité alvéolaire, que certaines des plus anciennes qui recouvrent les glacis du socle. La plus haute, supposée homologue du modelé M.1, a de fait une microstructure très classique, convenant parfaitement à son âge relatif supposé.

Squelette : quartz hétérométriques à émoussé très variable, non corrodés.

Plasma : porphyrosquelettique, rouge, alvéolaire à dense; nodules à plasma rouge et dense, irréguliers; cutines brunes zonées très développées, avec halo glebulaire omniseptique.

L'histoire de cette formation est donc la suivante : destruction de sols ou d'altérites kaoliniques, mise en place par épandage fluviatile, ségrégation et apport ferrugineux par la nappe, rubéfaction et cuirassement superficiel accompagnant un façonnement en glacis, érosion des sols meubles s'achevant par une période de corrosion éolienne.

Son attribution au Quaternaire ancien est fondée sur son type de cuirassement et de modelé, sur une assimilation de faciès qui l'identifie aux dépôts détritiques relativement puissants qui sont les premiers sédiments quaternaires superficiels connus autour de la cuvette tchadienne : sables de Kélo du Tchad (PIAS, 1967), grès tendres à galets de la cuirasse supérieure de Nigéria (1) et dans la vallée du Niger ancien (haute terrasse).

3.22 C o n g l o m é r a t s e t
c a i l l o u t i s d e h a u t e t e r r a s s e

3.221 Conglomérats du Niger

Les poudingues (M.1a)

Leur épaisseur peut atteindre cinq mètres. Le squelette est surtout formé de galets de quartz très émoussés (0,5-5 cm) représentant l'apport longitudinal, mêlés d'éléments autochtones : galets de grès durs ferrugineux à quartz ou oolithes (grès Ct.3) plaquettes de grès, graviers et grains de quartz émoussés à anguleux (grès Ct.3 et grès crétacés) gravillons ferrugineux. Les cimentations sont généralement indurées sur toute l'épaisseur, rougeâtres et jaunâtres. Ce sont parfois des argiles kaoliniques simplement durcies bariolées. La structure d'ensemble est massive, en dalle, avec un litage entrecroisé fréquent. La microstructure d'un poudingue rouge est la suivante :

(1) site de Doksa-Adjigin, à l'ouest de Demboa; observation personnelle, 1968.

squelette : galets de quartz émoussés et grains de quartz hétérométriques (10-100 microns) avec tous les degrés d'usure; nombreux gravillons ferrugineux arrondis (5 mm): répartition très irrégulière;

plasma : jeune ondulique plus ou moins densément cloisonné de flocons rouges; volumes nodulaires à plasma cloisonné ou dense, rouge; cutines goethitiques orangées avec halo glebulaire à orientation forte et continue; cutines siliceuses de fissures.

Elle exprime une ferritisation de même style que celui des cuirasses ferrugineuses, dont la modération relative (Série I, stade 1) est en accord avec l'induration très moyenne des poudingues.

A leur sommet, sur moins d'un mètre, il existe souvent une phase granulométrique plus fine, concentrant les grains de quartz plus petits et anguleux et les gravillons, indurée en une cuirasse rouge, massive ou pisolitique (nodulaire) à porosité tubulaire, semblant plaquée sur le poudingue.

A leur base, on a observé soit les grès de la base du Continental Terminal, à plaquettes dures ferritisées, soit les kaolins, soit les grès rouges à graviers anguleux de Kandi (Crétacé Supérieur du sud de Gaya).

Les carapaces oolithiques (M.1b)

Elles ont été observées à Say et Tondibia où elles se substituent, en position plus basse, aux poudingues. Épaisses de 3,5 à 7 mètres, elles sont formées uniquement d'oolithes ferrugineuses héritées du Continental Terminal, légèrement cimentées entre elles par un ciment gris, parcourues de grosses tubulures et légèrement feuilletées. Le sommet, sur deux mètres, peut être une dalle plus fortement indurée à galets ou blocs arrondis de grès oolithiques. Ce sont des apports latéraux par de petits affluents, légèrement postérieurs à la mise en place des galets du poudingue.

3.222 Cailloutis du Gorouol

Au nord de Kossa (14° 36' N., 0° 15' 20" E., cote 247) affleure, à 12 m au-dessus de la zone d'inondation, un cailloutis à gros galets anguleux de quartz, visible sur sept mètres, à matrice argileuse rouge, fortement lié, les joints étant ferritisés et mis en relief par le ruissellement, avec un pendage de quelques degrés. Ce dépôt se distingue des basses terrasses du même bassin, par l'absence de fragments de roches tendres (schistes) et de gravillons de cuirasses ferrugineuses. Rubéfié et localement ferritisé, il ressemble aux alluvions de Maradi.

3.223 Basses terrasses indurées (M.2)

Les cailloutis, épais de deux à dix mètres, reposent sur la roche modérément altérée : arène de granites, shales, roche verte à cortex d'altération en pain d'épices. La matrice est argileuse, kaolinique, rouge, plus rarement bariolée. Le squelette est hétérogène. Les tailles modales vont de 2 à 5 cm, mais peuvent atteindre 15 cm. L'émoissé n'est prononcé, sur quartz, qu'au dessous de 2 cm. Les graviers, galets, blocs émoissés de quartz et quartzite sont mêlés à de fortes proportions de galets de grès ferrugineux à quartz ou oolithes, de graviers et débris de schistes siliceux ou ferritisés, de graviers de roches vertes, de gravillons de la cuirasse supérieure. La cuirasse sommitale, épaisse de deux à trois mètres au sud (Sirba, Mekrou) n'atteint plus que 60 cm au nord (Gorouol). Le squelette est celui du cailloutis, ou plus fin. Les ciments sont rouges, la structure, ordinairement feuilletée, se développe à partir de la base sur une structure massive à porosité alvéolaire et tubulaire, ou pisolitique. Parfois une cuirasse plus mince, ou manganésifère, se situe quelques mètres plus bas, sur une petite entaille des cailloutis.

3.224 Basses terrasses des vallées sèches (M.3)

Ce sont des placages peu épais de galets et graviers (0,5-5 cm) de quartz, quartzite, grès oolithiques ferrugineux, grès en plaquettes, emballés dans une argile rouge à brune parfois légèrement indurée. Cette nappe détritique paraît prolonger celle du glacis nu M.3. On connaît toutefois un exemple de basse terrasse cuirassée sur quarante centimètres aussi haut en latitude

qu'Anderamboukan (pluviosité : 350 mm), sur argiles gréseuses du Ct.2, dans une région où des lambeaux de cuirasse accrochés à des reliefs de la surface infra-continentale témoignent d'un ancien modelé à cuirasses de type M.2.

3.225

Les graviers sous berge

Ils se sont déposés aux pieds de la basse terrasse, sous les remblais des grandes rivières du Niger occidental.

Dans la vallée du Niger, ce sont des sables et graviers arrachés au socle (quartz anguleux et feldspath) et aux grès (oolithes), mêlés par lits à des galets de quartz (2-5 cm) très roulés. Dans la nappe sous-alluviale, ils subissent une réduction en gley et une accumulation saisonnière de sodium due à l'évaporation.

Au confluent Gorouol-Niger, ils recouvrent une plaine caillouteuse de quelques cinquante kilomètres carrés fossilisés partiellement par un erg. Le dépôt est mince, métrique, à galets de quartz peu émoussés et sables partiellement issus de l'arène granitique sous-jacente. Il n'y a plus d'engorgement que pluvial, mais il existe une légère accumulation calcaire.

Sous le remblai de la Mekrou, ils sont formés de débris irréguliers mais légèrement émoussés de quartz, quartzite, grès ferrugineux (base du Ct.3) schistes du Buem, dans un emballage sablo-argileux hâriolé par hydromorphie parfois avec traces de circulation oblique de solutions ferrugineuses.

En aval de la Sirba, des blocs et galets anguleux de quartz (3-10 cm) des galets émoussés de cuirasse (2 cm) couvrent d'un lit peu épais le granite blanchi. Ils sont parfois pris dans une cuirasse manganésifère.

3.3

CONCLUSIONS

Les cailloutis évolués à quartz des hautes terrasses sont remplacés dans les basses terrasses par des apports graveleux locaux. Cette substitution est très sensible

dans les petits bassins (Gorouol, Goulbi de Maradi) encore perceptible dans la vallée du Niger. Elle traduit une diminution de l'hydraulicité qui, à son tour, décèle une décroissance de la pluviosité car elle s'accompagne d'une réduction de la puissance du cuirassement.

Les cuirasses des terrasses ont la même minéralogie et la même structure que celles des versants et glacis, même si leur aspect macroscopique paraît différent (poudingues). Leur formation appartient à la même pédogenèse; la plupart ont été le réceptacle des solutions venues de la chaîne amont dont la circulation a créé une structure feuilletée; quelques unes sont des horizons B illuviaux normaux, cela n'étant décelable que lorsque le sommet des alluvions est granulométriquement différent.

Des transformations différentes se sont produites dans la masse des cailloutis par l'action de la nappe sous-alluviale. Ce sont des ségrégations, des apports ferrugineux dans les dépôts les plus anciens et les plus méridionaux, ou encore des accumulations de sels et de calcaire dans les cailloutis plus récents et septentrionaux coiffant le socle arénisé.

L'identité de la pédogenèse des cuirasses est confirmée par celle des variations géographiques. Leur épaisseur décroît des hautes terrasses vers les basses terrasses et, sur ces dernières, diminue vers le nord. Elle est plus importante sur le socle que sur les formations **continentales** tendres, à la fois plus pauvres en fer et en matériel squelettique résistant.

La corrélation des terrasses et des types de modelé est localement évidente, mais souvent incomplète, car on n'a pas toujours trouvé une formation alluviale pour chaque type de paysage. Ainsi on n'associe de cailloutis aux glacis nus M.3 qu'où ces derniers sont très largement dominants (bassin des Goulbi, Ct.2) et non où ils coexistent avec M.2 (bassin du Gorouol). Autre singularité, l'unique niveau reconnu des Dallols du Niger occidental est indiscutablement à la base du versant supérieur M.1 en aval, dans la région des plateaux du Niger moyen, mais est situé aux pieds des glacis inférieurs M.3 en amont, sur les argiles gréseuses. Nous voyons diverses raisons à ces inconséquences :

- les cailloutis minces de M.3 ont pu passer inaperçus dans les régions relativement cuirassées (Gorouol);

- les glâcis sahéliens étendus des formations continentales de type pédologique M.3 réunissent probablement des formes topographiquement distinctes que la mollesse du modelé et l'absence de cuirassement important confondent; l'existence de restes d'un modelé correspondant à M.2, mais très partiellement cuirassé, y est vraisemblable;

- la mise en place des formations détritiques a pu être fort inégale d'un bassin à l'autre pendant les périodes relativement peu pluvieuses où les apports locaux étaient importants, ne serait-ce qu'à cause du gradient pluviométrique. La basse terrasse de M.3 serait ainsi plutôt sahélienne.

4. LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE MEUBLE DES CUIRASSES ET CONGLOMERATS

4.1 LES FACTEURS D'ÉVOLUTION EXTERNES ACTUELS

Les surfaces à sols ferrugineux indurés ont conservé une pellicule meuble, le plus souvent gravillonnaire, toutes les fois qu'elles n'ont pas été très fortement découpées par l'érosion. Les variations en latitude de cette dernière sont faibles, entre 400 mm de pluviosité, qui est la limite nord des témoins cuirassés étendus, et 875 mm qui est la limite sud de l'étude. On observera partout des sols minces, le plus souvent squelettiques, décapés. Les pentes sont faibles, de 0,5% le plus souvent; elles ne dépassent pas 1% et peuvent s'abaisser

jusqu'à 0,15% sur les hautes terrasses du Niger. Les sols n'en ruissellent pas moins très facilement, dès les premières pluies. Des croûtes pluviales, des épandages grossiers, sont les aspects de surface normaux de ces sols, extrêmement battants. Dans le sud, vers 800 mm, l'eau et les éléments très fins s'accumulent dans des sortes de prairies marécageuses parsemées de mares très temporaires sur cuirasse, les "bowé", localisés dans les replats et bas de pente. Dans le nord, la réduction du drainage externe peut être assurée par un cloisonnement dû aux ergs longitudinaux anciens. La morphologie indique qu'à cet engorgement d'une partie des toposequences s'ajoute celui d'une partie des profils.

L'humidité des sols meubles est très faible en moyenne, de 27 mm pour un sol gravillonnaire de 30 cm à pF 2,5; ses variations sont brutales. La végétation pérenne ligneuse s'adapte d'abord en exploitant la cuirasse sous-jacente. Elle disparaît où l'induration est trop forte et continue, comme dans les bowé. Elle réduit également son volume, sa densité, ou modifie sa répartition. La hauteur des arbres dépasse rarement une dizaine de mètres, elle est sensible, tout comme leur nombre, aux variations du volume relatif de terre fine. Au nord de Gaya, les sols ferrugineux indurés tronqués portent une savane boisée, les sols régiques gravillonnaire une savane arborée basse. La sous-strate arbustive se concentre en énormes buissons, formés surtout d'acacias lianescents, sur les cuirasses des glacis M.2 sur granites à l'ouest de Lamorde-Torodi. Lorsque la pluviosité diminue, les grands arbres disparaissent, et aux savanes boisées ou arborées du sud succèdent des brousses et halliers vers 600-700 mm puis des steppes arbustives à 400 mm. De même aux grandes Andropogonées succède la pelouse sahélienne. Il n'y a pas de spécialisation floristique prononcée; quelques espèces semblent plus fréquentes sur cuirasse (*Combretum micranthum*, *Ferethia canthioides*, *Loudetia togoensis*) sans que cette localisation soit exclusive. Selon la latitude, on retrouvera donc les grandes formations climatiques : savanes à *Anogeisus*, *Bombax* (grès) *Burkea* (Voltaïen) Légumineuses au sud, savanes à *Combrétacées* dans la partie moyenne, formations à épineux au nord. Partout de très nombreuses termitières, fixées par l'abondance de la végétation de ces aires incultes, créent un important mouvement des éléments fins.

4.2 MORPHOLOGIE

4.21 Sol ferrugineux lessivé cuiressé érodé

Site de Lamorde Torodi (NK 80)

Lat. : 13° 0' 30" N.
Long. : 1° 45' 40" E.
Cote : 240 m

Base d'un glaciais du bas modelé M.2 sur le contact Ct.3 -
socle. Pluviosité 650 mm.

Surface : croûte pluviale de 2 mm; termitières nombreu-
ses.

O- 8 cm : Gris (10 YR 5/2): sablo-argileux; massif à
A débit mamelonné grossier; cohésion forte; po-
rosité tubulaire irrégulière, avec remplissa-
ges biologiques (pédotubules aggloméroplasmi-
ques très petites).

limite nette

8-28 cm : Brun jaunâtre (7,5 YR 5/4) quelques noyaux
A-B gris (cf. infra); sablo-argileux; polyédrique
(5 mm) à agrégats compacts de cohésion forte,
en assemblage compact de cohésion moyenne;
pores tubulaires, à remplissages, plus nom-
breux localisés entre les agrégats.

limite assez nette

28-60 cm : Bariolé, noyaux polyédriques gris clair (5 YR
B, taches 6/1) à mouchetures rouges (10 R 4/6) et matri-
ce brun jaune terne (10 YR 5/2,5); argileux,
avec pédoreliques comme ci-après, mais moins
nombreuses; polyédrique (1-10 mm) motteux, avec
noyaux de 2 cm, et surstructure à tendance
prismatique vers le sommet; porosité semi-tubu-
laire bien développée, plus fine, régulière,
réduite dans les noyaux.

limite. nette

Principales espèces végétales des aires cuirassées.

Pluviosité (mm)	750-875	650-750	400-450
<u>Arbres</u>			
Bombax costatum	D	.	.
Lanea sp., acida et microcarpa	D	P	.
Anogeissus leiocarpus	D	D	.
Pterocarpus erinaceus	D	D	.
Detarium microcarpum	P	.	.
Prosopis africana	P	.	.
Azalia africana	P	.	.
Daniella olivieri	D	.	.
Ostryoderis chevalieri	P	.	.
Sclerocarya birrea	.	P	.
<u>Arbustes</u>			
Combretum nigricans	D	D	.
Combretum micranthum	P	P	P
Combretum glutinosum	P	P	.
Bauhinia thonningii	P	.	.
Commiphora africana	.	.	P
Acacia seyal	.	.	P
Acacia flava	.	.	P
Acacia senegal	.	.	P
Bauhinia reticulata	.	P	.
Balanites aegyptiaca	.	.	P
<u>Arbrisseaux</u>			
Acacia ataxacantha	P	D	.
Acacia macrostachya	P	P	.
Gardenia sp.	D	P	.
Ferethia canthioides	P	.	.
Crossopteryx febrifuga	D	.	.
Guiera senegalensis	P	P	.
Boscia senegalensis	P	P	.
Dichrostrachys glomerata	.	P	P
Capparis sp.	.	.	P
<u>Graminées</u>			
Andropogon gayanus	D	D	.
Andropogonées annuelles	D	.	.
Loudetia togoensis	.	D	P
Ctenium elegans	P	P	.
Pennisetum sp., (sciaphile)	.	P	P
Schoenefeldia gracilis	.	.	P
Espèces pouvant dominer : D			
Espèces présentes : P			

60 - 85 cm : Nodules indurés brun jaune à mouchetures rouges; incluant des pédoreliques arrondies (jusqu'à 4 cm) avec cutines zonées, quartz laiteux et porosité scoriacée (cuirasse supérieure); matrice argileuse décolorée gris clair.

limite assez nette

86 - 105 cm : Nodules plus gros coalescents avec ciment manganésifère. Sommet de cuirasse.

Interprétation :

Sol ferrugineux tropical lessivé induré de bas de pente (ciments manganésifères dans la cuirasse) en voie d'érosion superficielle. Cette dernière est décelée par le très fort appauvrissement en argile de l'horizon A, sa limite inférieure très nette, par l'homogénéisation du sommet des horizons B par la faune (A-B). La succession de ces derniers, à taches, concrétions puis cuirasse est des plus classiques. Les caractères morphologiques les plus importants en sont les suivants :

- les ségrégations (= séparations) et concentrations ferrugineuses se localisent dans des volumes structuraux plus compacts que la matrice; ces "noyaux" sont un des critères qui permettent de séparer les séries les plus différenciées des Sols Ferrugineux Peu Lessivés;
- ferritisation et gleyfication sont localement associés; la mobilité du fer est assurée par les conditions temporairement réductrices existant en hivernage dans les horizons B compacts.

L'enrichissement progressif en gravillons vers la base est une caractéristique que l'on observe jusqu'au bas de la chaîne, où se différencient des sols à pseudogley d'ensembles non lessivés argileux.

Les sols ferrugineux aussi bien conservés sont des plus rares. On en connaît dans la région de Tenda, au nord de Gaya, sur la haute terrasse du Niger. Ils possèdent des horizons A et A-B identiques, avec une forte porosité biologique dans ce dernier; mieux drainés, ils sont plus finement structurés (structure toujours polyédrique, jamais prismatique) et le sommet de l'horizon à taches est

uniformément rubéfié (rouge jaunâtre 5 YR 5,5/8). Rappelons qu'il existe également dans des incisions peu prononcées de la surface supérieure.

4.22 Les sols régiques à
faciès ferrugineux

Site de Tambole (NK 83 et 87)

Lat., : 13° 6' N.
Long., : 1° 32' 10" E.
Cote : 255 m

Sommet de glacis du modelé M.2 sur granites (NK 87);
pluviosité : 625 mm.

Surface : nombreuses termitières

0-15 cm : gris-brun; sableux; massif; cohésion moyenne;
A porosité intergranulaire.

15-34 cm : beige jaunâtre; argilo-sableux; polyédrique
B (4 cm) en assemblage compact; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire fine bien développée; nombreuses racines horizontales.

34 cm : cuirasse ferrugineuse pisolitique brun-rouge
C foncé; des remplissages de pores brun-jaune.

Base du glacis (cote 253)

Surface : nombreuses termitières

0-13 cm : gris-brun (10 YR 5/2,5); gravillons à emballage finement sableux; prismatique à cubique
A (2-10 cm); cohésion forte; assez compact, quelques remplissages à porosité semi-tubulaire

13-30 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/6) fonds beige à marbrures brun-jaune à contraste moyen; gravillons à emballage argileux; polyédrique (2-20 mm) à cohésion forte, en assemblage compact de cohésion faible; porosité tubulaire plus fine mais plus développée
B g

30-50 cm : cuirasse ferrugineuse brun-rouge irrégulièrement pisolitique à volumes nodulaires centraux noirs.

Cette différenciation en deux horizons, le plus profond plus argileux et pouvant s'engorger vers le bas des toposéquences, est constante dans les sols minces et/ou squelettiques qui couvrent les modelés cuirassés. Leur surface se distingue de celle des sols ferrugineux tronqués par des gravillons en affleurement, par des blocs de cuirasse en pavage, reliques d'une érosion différentielle. Les gravillons sont des fragments de cuirasse ou des nodules des anciens horizons concrétionnés dont la matrice a partiellement disparu. Cette interprétation se fonde sur l'existence de restes de ces horizons B encore en place et sur les ressemblances entre les gravillons et la cuirasse sous-jacente. Cette nappe grossière est pour l'essentiel autochtone, relictuelle. Au nord, sa surface s'organise en reg en passant sous les dunes anciennes : le sommet en est parfaitement horizontal, plan; les petits éléments sont tassés dans les interstices laissés par les gros; les fragments déprimés se disposent à plat; la patine secondaire brun-jaune devient noire, vernissée au sommet, tout comme sur les aires sahéliennes actuellement à nu. Cela a été observé aussi bien dans le bassin du Gorouol (NO 67) que dans le bassin de la Korama (NA 59). La terre fine peut elle-même être héritée du sol ancien (NL 25), ou résulter des mouvements de surface, des apports par les termitières. Dans le domaine des ergs anciens, la nappe gravillonnaire a été profondément pénétrée de sables éoliens. Tout au sud, ce sont des sables très fins ergileux qui recouvrent les bowé. L'épaisseur meuble au-dessus de la cuirasse se situe ordinairement entre 10 et 30 cm. L'horizon A, gris, sableux, facilement compact, est identique à celui des sols ferrugineux bien développés lorsqu'il est peuvre en gravillons. C'est une caractéristique climatique des sols acides kaoliniques, stable jusqu'à 40Cmm. Par sa structure, sa tendance à l'engorgement, l'horizon profond argileux est également semblable à un horizon B illuvial de sol ferrugineux lessivé. De fait, la mobilité plasmique est démontrée dans les sols les plus gravillonnaires par la disposition de la phase argileuse en cutines compactes et lisses autour du squelette (structure intertextique); le lessivage peut alors être décelé à la pénétration de cette phase dans la cuirasse. Ces enrobements sont perforés, morcelés, par la faune du sol dans les niveaux qui lui sont favorables : immédiatement au-dessus de la cuirasse (humidité) et sous

l'horizon organique. Ce développement de la porosité est antagoniste de la mobilité et du lessivage et paraît toujours leur succéder, l'horizon A s'accroissant à sa partie inférieure dans l'horizon argileux. Ce serait une conséquence de l'érosion continue, encore active, de ces sols. La couleur et la structure des horizons B sont une manifestation du drainage et/ou un héritage de la couverture pédologique ancienne. Médiocrement drainés, ils sont jaunâtres, comme sur les cuirasses des glacis sur granites ou voltaïen. Ils ne sont alors rouges qu'hérités du sol ancien. Mieux drainés, ils sont rubéfiés et finement polyédriques; cela est fréquent sur les conglomérats, cailloutis, grès :

site de Gaya (NJ 70)

Lat. : 11° 56' 50" N.
 Long. : 3° 29' 50" E.
 Cote : 222 m

A mi-pente du versant supérieur (M.1); pluviosité : 870mm

Surface : gravillons et boulettes fécales grises

- 0-9 cm : gris-brun (10 YR 5/3). 50% de gravillons :
 A1 nodules arrondis brun-rouge foncé à cutine brune; emballage sablo-argileux; très finement polyédrique (1 mm) avec surstructure de même type; cohésion moyenne; très poreux
- 9-23 cm : brun à peine rougeâtre (7,5 YR 5/4); plus gravillonnaire; même emballage, à structure encore plus développée et porosité plus forte
 A2
- 23-40 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5,5/6): 70% de gravillons; emballage argilo-sableux, polyédrique, moins poreux que ci-dessus
 B
- 40 cuirasse feuilletée et tubulaire rouge et brun-jaune.

L'existence de sols semblables sur les cailloutis de la haute terrasse du Niger ou des alluvions de Meradi démontre que ce développement n'est pas lié obligatoirement à un sol cuirassé ancien, mais à une granulométrie et à un type de matériau, kaolinique et désaturé :

Site de Dan Isa (ND 2)

Lat. : 13° 14' 13" N.
Long. : 7° 15' 40" E.
Cote : 406 m

Sommet de glacis. Pluviosité : 623 mm. Alluvions à galets de Maradi.

Surface : buttes allongées de galets (100 x 15 m; h = 2-3 m); croûte pluviale avec algues et lits de sables grossiers; des rejets

0-12 cm : beige rosé (5 YR 6/6)

0-2 cm : sableux, finement lité

A1 2-12 cm : sableux, avec graviers; massif, débit polyédrique (2-3 cm); cohésion moyenne à faible; porosité très fine très développée; chevelu de radicelles

12-34 cm : beige rosé; galets (6 x 3 cm) et graviers de quartz émoussés; emballage sableux à sablo-argileux; grains de quartz généralement ferritisés; très finement polyédrique (0,5 mm) en assemblage très lâche, très poreux, à cohésion très faible (structure aggloméroplasmique); nombreuses radicelles

A2

34-58 cm : rouge clair (2,5 YR 6/6); graviers plus nombreux; emballage légèrement plus argileux à structure fine polyédrique en assemblage plus compact et cohérent que ci-dessus; moins de radicelles

B

limite nette et festonnée

58-100 cm : rouge (10 R 4,5/7); galets (4 cm) et graviers de quartz enrobés d'une argile ferritisée extrêmement dure et compacte, mais dispersible, à structure finement polyédrique. Sommet tronqué des alluvions anciennes à galets

R

100 - banc plus grossier des alluvions.

Inversement un très mauvais drainage produit les sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble des bowé :

Site de la Tapoa (NL 23)

Lat. : 12° 29' 20" N.
Long. : 2° 23' 30" E.
Cote : 238 m

Base de glacis (M.2) sur le contact
Ct.3 - voltaïen. Pluviosité : 775 mm

Surface : fissurée (fentes de 2 mm tous les 12 cm, retrait de 1,5%) encroûtée; termitières "champignons"

0-7 cm : gris clair (10 YR 5,5/1) fines ($\phi = 0,5$ mm) taches linéaires jeune rougeâtre (7,5 YR 5/8) le long des racines, taches rouge jaunâtre (5 YR 5/8) dans des trous de vers ($\phi = 5$ mm): argilo-très finement sableux; prismatique aplati (13 x 7 cm): cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire fine (racines) et grossière (vers) moyennement développée

7-18 cm : brun grisâtre foncé (10 YR 4/2) fond grisâtre à taches nettes (2-3 mm) jaunâtres à centres rougeâtres, parfois durcies, polyédriques; même texture; massif à débit polyédrique (2-6 cm) à facettes rugueuses (3-4 mm); cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire ($\phi = 0,5-2$ mm) moyennement développée

18-35 cm : brun jaunâtre clair (10 YR 6/3,5); taches mieux individualisées, à taille croissant vers la base (3 à 6 mm) localisées dans les volumes les plus compacts : certains agrégats, les parois des pores; certaines durcies; même texture, à gravillons de cuirasse brun-rouge foncé; polyédrique en assemblage compact (3-4 mm) ou massif; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire un peu plus grossière

35 cm : cuirasse feuilletée brun-rouge renferment les mêmes gravillons que ci-dessus et des quartz de 0,5 mm

Le matériau est une accumulation des fractions fines des sols de la toposéquence, à sols ferrugineux rouges non indurés en amont et sols gravillonnaires, apportée sur la cuirasse par le ruissellement. Il n'y a en effet

ni continuité ni parenté morphologiques entre cette dernière et les horizons à taches ferrugineuses. La texture est caractérisée par des sables très fins (0,07 mm pour le mode) et des taux de limons modérés néanmoins inhabituels. Ces propriétés sont aussi celles des sols de toute la toposéquence, notamment des sols rouges d'altération d'amont, sur grès, plus généralement celles, dans une certaine mesure, des sols méridionaux du Niger, sur grès ou remblais fluviatiles. Ces pseudo-limons sur cuirasse ont parfois été attribués à un dépôt éolien sur les marges sud des ergs anciens (MICHEL, 1959). Ici, ils paraissent hérités d'une couverture pédologique autochtone. La différenciation du profil est celle des ségrégations et concentrations ferrugineuses. L'horizon humifère est réduit, avec des zones réoxydées autour des pores racinaires, sous l'effet d'un engorgement temporaire de surface. Les taches du pseudogley se localisent en profondeur dans les éléments structuraux compacts qui sont ferritisés et légèrement durcis, tout comme dans un horizon B de sol lessivé. C'est une démonstration indirecte de l'hydromorphie induite par l'illuviation dans ces derniers.

Des variantes morphologiques sont dues à des matériaux différents. La présence de sables éoliens produit des profils rubéfiés à structures uniformément massives; ces sols ferrugineux peu lessivés en réduction s'observent jusque dans la région de Kirtachi (pluviosité : 750 mm). L'apport d'argiles gonflantes maintient la rubéfaction (exemple : horizon B 5 YR 4/4) mais crée des structures fragmentaires, en plaquettes en surface, cubiques en profondeur, cela sur glacis du Birrimien.

En latitude, les modifications portent plutôt sur l'état d'érosion, qui croît vers le nord, sur les toposéquences, qui perdent leurs sols très hydromorphes, sur le matériau, souvent à sables éoliens, que sur la différenciation proprement pédologique. Pour s'en convaincre, il suffit de lire la description du profil suivant :

Site de Laba (AD 16)

Lat. : 14° 39' 9" N.
Long. : 5° 53' 9" E.
Cote : 450 m

Légère entaille de la surface supérieure, assimilée à M.I; sur la Série limonitique de l'Ader Douchi. Pluviosité : 400 mm.

- Surface : avec croûte pluviale ou fines fissures; épandages de sables grossiers ferritisés et de débris de grès ferrugineux
- 0-3 cm : sous une croûte beige rosé de 5mm, est brun-jaunâtre clair (10 YR 6/4) avec de très fines taches ocres : sablo-argileux massif à débit régulier; cohésion forte; porosité tubulaire fine réduite; peu de racines
- Alg
- 3-10 cm : légèrement plus jeune, avec quelques taches jaunâtres; un peu plus argileux, avec gravillons, gros quartz ferritisés, débris de grès; polyédrique en assemblage assez lâche, avec quelques faces lisses; cohésion moyenne à faible; porosité tubulaire et d'assemblage fortes; chevelu de radicelles important
- A.2
- 10-28 cm : brun jaune vif (7,5 YR 5/5); argilo-sableux; structure de même type mais plus anguleuse que ci-dessus; cohésion moyenne à forte; porosité encore forte
- B, argile
- 28-70 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5,5/6); un peu moins argileux; finement polyédrique (1 cm) en assemblage compact, les facettes lisses; cohésion moyenne à forte; porosité uniquement tubulaire, fine; nombreuses concrétions (cf. ci-dessous)
- B.2, fer
- 70-130 cm : horizon concrétionné; nodules irréguliers très durs (1 cm) jaunes, brun-rouge foncé, à centres noirs, localement coalescents en amas de 3 à 5 cm; matrice jaune argileuse, avec sables grossiers; forte porosité due à un foisonnement des racines
- B.3
concrétions
- 130 cm : cuirasse en plaquettes formée par ferritisation d'un grès.
- B.4/R

Les dix premiers centimètres sont des colluvions plaqués sur les restes d'un très beau sol ferrugineux lessivé à concrétions et cuirasse. Leur teinte plutôt brune que grise est tout ce qui rappelle le milieu sahélien, alors que la variation des textures et structure reste celle des sols ferrugineux lessivés.

Les taux de matière organique les plus élevés (2%) sont ceux des sols méridionaux ou hydromorphes, les plus bas (1%) ceux des sols sahéliens ou sableux. Elle décroît très vite en profondeur; à 20 cm, elle a diminué de près de 50%, ce qui contribue à individualiser fortement l'horizon A. La décroissance est plus lente dans les sols légers, comme dans les sols ferrugineux peu lessivés dunaires, ainsi que dans les sols septentrionaux. Les rapports C/N sont compris entre 11 et 16, valeurs notablement plus élevées que celles des sols bien drainés (ferrugineux peu lessivés, 10-12) des mêmes régions, et égales à celles de sols hydromorphes.

L'horizon A est toujours le plus pauvre en argile, hors des bowé, que la terre fine soit héritée d'un paléosol ou allochtone. Ce qui se vérifie en effet dans les sols à sables éoliens; exemple (NJ 26) ;

5% à 5 cm (A.1), 10% à 17 cm (A.2), 14% à 32 cm (B)

Le bilan des apports, par ruissellement, rejets d'insectes, désagrégation des pédoreliques, et des exportations, par ruissellement, lessivage, est donc négatif. Il l'est aussi pour les gravillons, dont le taux diminue vers la surface, mais est positif pour les sables. La texture superficielle est due, dans le cas le plus général, à la désagrégation des pédoreliques, à l'éluviation de l'argile, à l'accumulation relative des sables. La variation rapide du taux de cette dernière à la base de l'horizon A est constante; elle ne peut être expliquée que dans quelques cas particuliers par la superposition d'un matériau par une phase ruisselée plus sableuse. On doit plutôt la considérer comme une résultante de l'ablation superficielle et des mécanismes précités, se traduisant morphologiquement par une progression du contact A-B vers la base du profil, par l'apparition de structures poreuses, aggloméroplasmiques, d'horizon A.2 au sein des structures porphyrosquelettiques ou intertextiques du sommet des horizons B. Les différences petites mais non nulles des taux d'argile entre les horizons B peuvent être attribuées à l'illuviation morphologiquement constatée. Finalement le profil textural des sols les plus minces et les plus squelettiques reproduit celui des sols évolués, ferrugineux lessivés ou peu lessivés selon

leur texture, ce qui suggère une permanence des processus pédogénétiques.

Les sesquioxydes de fer varient comme l'argile ou situent leur maximum plus bas. On ne peut pousser plus loin l'analyse, car les pédoreliques les plus petites contribuent au fer total. Les rapports du fer libre au fer total ne sont donnés que pour mémoire. Bien que tout le fer soit sous forme de sesquioxydes, puisqu'il n'y a que des traces de minéraux primaires, l'attaque de la méthode du fer libre ne dissout qu'une fraction indéterminée de ces derniers.

L'acidité, la désaturation sont générales et moins prononcées en surface, sous l'effet correcteur de la végétation. Il n'y a que peu de bases car la capacité d'échange est faible, de 16 à 30 milliéquivalents pour 100 g d'argile de l'analyse granulométrique. Le minimum tend à se localiser dans l'horizon A.2 ou A-B, par la combinaison des variations verticales de la désaturation et de la texture. Ces propriétés sont communes aux sols régiques et aux sols évolués.

Il n'y a d'agrégats qu'en profondeur, mais ils s'effondrent sans prétraitement protecteur. La dispersibilité de l'argile accroît l'instabilité structurale vers la base. Cette fragilité s'exprime par la battance des horizons A et par la mobilité plasmique de l'argile des horizons B (enrobements et faces d'agrégats naturels lisses).

4.4

CONCLUSIONS

Les sols ferrugineux lessivés indurés sont désaturés, kaoliniques, à profils ABC ou ABR, à horizons A gris, sableux, massifs, peu perméables et à horizons B légèrement colorés en jaune ou rouge, selon le drainage, argilo-sableux, polyédriques. Des nodules ferritisés naissent des agrégats compacts, souvent gleyifiés, des horizons B. Leur coalescence produit les cuirasses qui peuvent également se former dans le matériau ou au sommet de la roche par illuviation oblique.

Dans la nature actuelle, leur épaisseur est faible,

leurs horizons A sont visiblement remaniés, le sommet de leurs horizons B est dégradé. Ils sont le plus souvent remplacés par des sols régiques qui ont leurs nodules pour squelette grossier et qui conservent la même différenciation verticale, au concrétionnement près. L'évolution des sols squelettiques est due à l'illuviation et au lessivage, à l'érosion différentielle des horizons A, à l'hydromorphie, processus qui entrent également dans la pédogenèse des sols ferrugineux lessivés. Ces mécanismes sont liés au plasma à kaolinite et oxydes de fer dans une bande climatique étendue, au minimum, entre les isohyètes 400 et 900 mm. L'évolution normale des sols ferrugineux lessivés indurés aboutit ainsi à une nappe gravillonnaire où agissent encore quelques uns de leurs principaux processus de formation.

Il est évident que l'organisation et les propriétés structurales des sols lessivés indurés favorisent l'érosion : imperméabilité par instabilité structurale et superposition de textures et structures, arrêt de l'approfondissement du profil par induration. Elle est fortement ralentie dans les sols squelettiques, qui ne sont jamais tronqués; elle est freinée par la mise à nu des horizons indurés, compensée par la désagrégation de ces derniers et les remontées par la faune du sol. Son bilan n'en reste pas moins négatif, la base des horizons A progressant vers les horizons B. Il existe donc une possibilité théorique de passage continu des sols ferrugineux lessivés aux sols squelettiques. Mais elle ne paraît pas s'être réalisée effectivement. Dans le nord, les cuirasses ont été mises à nu, les nappes gravillonnaires se sont formées, avant la mise en place des dunes. La matrice des nodules a pu disparaître et être remplacée par des sables éoliens. Il est certain que ces conditions climatiques arides ont accéléré catastrophiquement l'érosion normale des sols lessivés. Il est également sûr que cette aire d'érosion a du déborder vers le sud le domaine des ergs vifs, comme dans les marges péri-désertiques actuelles. Comme, au Niger, il existe encore des restes dunaires à 775 mm (région de Kirtachi) il est vraisemblable que la phase d'érosion majeure, celle qui a mis à nu les horizons concrétionnés et/ou indurés, s'est achevée partout pendant cette crise climatique. Dans un sens, le paysage gravillonnaire est hérité. La pluviosité redevenue plus forte, l'évolution a repris son cours ancien, sans doute parce qu'elle était guidée par les propriétés spéciales d'un matériel très évolué.

5. LES VARIATIONS DE LA
PÉDOGENÈSE DES VERSANTS ET
GLACIS CUIRASSES

Les sols des modelés cuirassés du Niger sont nés de la même pédogenèse séparant le plasma, à kaolinite et sesquioxydes de fer, du squelette. Le premier se concentre dans des horizons illuviaux indurés, le second dans des horizons grossiers qui seront un matériel facilement repris par l'érosion hydrique et éolienne.

Le cuirassement limite l'évolution qui ne peut reprendre qu'après ablation de la couverture de sols. Celle-là peut théoriquement se faire progressivement par érosion normale des horizons meubles et par dissolution des concrétions ferrugineuses amenées au contact des horizons humifères. En fait, l'étagement des modelés et l'ampleur des creusements montrent à l'évidence que des périodes d'incision et de cuirassement ont alterné, tandis que l'invasion des dunes fixées n'a pu que coïncider avec une érosion accélérée. Entre ces crises, la pédogenèse reprenait, identique, car elle était la seule possible, entre des limites de pluviosité assez larges, pour des matériaux kaoliniques. Or ces derniers ont été longtemps fournis par le manteau d'altération, par les grès, peut-être encore par altération, finalement par héritage des sols ferrugineux plus anciens. La pluviosité diminuait cependant car la puissance des cuirasses et des cailloutis se réduit d'un modelé à l'autre au point de disparaître presque complètement des glacis les plus récents et les plus septentrionaux (M.3) sur lesquels, à moins de 500 mm de pluviosité, les conditions de kaolinisation du front d'altération ne sont plus réunies, si celles de l'évolution ferrugineuse d'un matériau déjà kaolinique le sont encore.

Il est plus hasardeux de préciser davantage l'histoire de ces sols. Une hypothèse simple fait coïncider les périodes d'érosion accélérée et celles d'incision avec des climats plus secs, les périodes de cuirassement avec des climats plus humides. Ce schématisme est fondé sur ce que les variations de niveau de base, d'ordre tectonique ou autre, ont été petites, puisque l'ampleur du relief est de moins de deux cent mètres pour tout le Quaternaire, et n'ont pu fort bien s'actualiser, s'inscrire dans le relief, qu'à la faveur d'une péjoration climatique. La tendance générale à l'assèchement a été faite d'oscillations dont les crêtes humides l'étaient de moins en moins, dont les minima étaient de plus en plus secs au point que le dernier fut un climat désertique qui détruisit tout ce qui pouvait rester d'horizons meubles anciens. On arrive ainsi à expliquer que les sols des modelés étagés soient de moins en moins différenciés :

- haut modelé à cuirasses épaisses (M.1)
- bas modelé à cuirasses médiocres (M.2)
- bas modelé à sols non indurés (M.3) ferrugineux uniquement sur des matériaux à kaolinite héritée.

La recherche de modèles climatiques pour chacune des vicissitudes impliquées par ce schéma se heurte à deux difficultés insurmontables. La première est qu'on ne sait définir le milieu de formation des sols indurés que par leur géographie, qui est un legs. La seconde est qu'on ne connaît pas en Afrique de l'ouest de région où des cailloutis aussi épais et évolués puissent se mettre en place dans un paysage aussi plat et dans des bassins aussi petits que ceux du Gorouol ou du Goulbi de Maradi au Niger.

La légère allitisation des cuirassés est strictement associée à la ferritisation, comme dans la cuirasse de la surface supérieure, mais non à l'altération des quartz. La différence entre ces deux ensembles de sols est dans l'organisation structurale et dans la part plus grande prise par le lessivage, l'illuviation et les remaniements mécaniques résultants dans la formation des sols ferrugineux.

6.

R E F E R E N C E S C A R T O G R A P H I Q U E S

Lithosols

Horizons indures dénudés des buttes témoins.

Lithosols sur roches diverses, sur cuirasses ferrugineuses	coupure Zinder
Lithosols et Regosols sur grès ferrugineux et grès argileux (impuretés)	coupure Maradi
Lithosols sur roches diverses	coupure Niamey
Lithosols, cuirasses ferrugineuses de glaciais	carte du Gorouol
Lithosols sur conglomérats ferruginisés	coupure Niamey
Lithosols, sols d'éboulis, sols à pavage sur grès ferrugineux à oolithes, grès fins ferruginisés, cuirasses ferrugineuses conglomératiques	carte de l'Ader Douchi

Regosols

Cailloutis non indurés

Regosols sur cailloutis fluviatiles ferruginisés	carte du Gorouol
--	------------------

Sols Régiques à Faciès Ferrugineux

Sols minces ou squelettiques en voie d'érosion lente à horizon B plus ou moins coloré.

Sols Régiques sur gravillons ferrugineux, sur granites, grès, schistes	coupure Niamey
--	----------------

Sols Régiques sur gravillons ferrugineux avec ou sans placage sableux	carte du Gorouol
Sols Régiques à Faciès Ferrugineux sur colluvions sablo-argileuses issues du Continental Terminal.	
Association à sols gravillonnaires et lithosols.	
Association à sols gravillonnaires et Sols Ferrugineux Peu Lessivés	coupure Niamey
Les Sols Régiques à Faciès Ferrugineux sur colluvions sablo-argileuses (grès-quartzites voltaïens).	
Association à sols gravillonnaires et sols de bowé	coupure Niamey
Regosols à Faciès intergrade vers les Sols Ferrugineux Non ou Peu Lessivés sur placages sablo-argileux issus d'alluvions à galets	coupure Maradi
<u>Sols Lithiques à Faciès Hydromorphe</u>	
Sols Lithiques à Faciès Hydromorphe sur sables limoneux sur cuirasse (Bowé). Association à sols gravillonnaire et Sols Ferrugineux sur grès argileux	coupure Niamey
<u>Sols Ferrugineux Lessivés Indurés</u>	
Quelques profils en place sur cuirasse dans les Associations à Sols Régiques à Faciès Ferrugineux du Niger occidental	coupure Niamey

**SOLS ET PEDOGENESE
AU NIGER MERIDIONAL**

M. GAVAUD

Tome 2

Chapitre V

LES SOLS

FERRALLITIQUES

1. P H Y S I O G R A P H I E

1.1 LES SOLS ROUGES DE GAYA

Des sols à aspect de sols faiblement ferrallitiques existent, associés à des cuirasses ferrugineuses, sur le plateau de Bangou Béri au nord-est de Gaya, ainsi que sur celui de Ganda Kiré au sud-est de la même ville, où ils sont très fortement érodés. Ces reliefs dominent l'interfluve du Niger et du Dallol Maouri à leur confluent. Leur ossature est constituée de lambeaux de glacis cuirassés à faible pente entaillant le contact des grès continentaux tertiaires du Ct.3 et des grès crétacés de Kandi et se raccordant à leur base aux cailloutis ferritisés en poudingues de la haute terrasse du Niger. Ils appartiennent de ce fait au haut modèle (M.1) qui, nous l'avons vu, s'est développé considérablement au sud du pays sur le Continental Terminal. Les sols rouges peuvent s'associer aux cuirasses sur la même forme topographique mais plus souvent encore recouvrent des pentes qui entourent et entaillent légèrement les glacis cuirassés. Ces deux situations coexistent sur les versants nord-est et sud-ouest du plateau de Bangou Béri :

Cotes de référence :

- 242 m : niveau interpolé de la surface supérieure cuirassée.
- 200 à 208m: cotes des affleurements de la haute terrasse.
- 159 m : cote du lit majeur du Niger limitant la zone d'inondation.

Versant sud-ouest

- 225 - 198 m : glacis induré à sols régiques à faciès ferrugineux rouges et gravillonnaires; pente uniforme de 0,5%; à la base: épandages de galets de quartz; assimilé au haut modelé M.la.
- 198 - 194 m : chanfrein à pente de 1,5% limitant le haut glacis.
- 194 - 179 m : glacis à sols ferrallitiques à horizon B rouge 2,5 YR et horizons supérieurs légèrement compacts; pente uniforme de 0,6%. A la cote 190, épandages de gravillons et galets, affleurement de poudingue coiffant des argiles kaoliniques du Ct.3, interprétés comme base de la haute terrasse.
- 179 : changement de pente.
- 179 - 167 m : glacis à sols ferrugineux rouges à horizons B 5 YR s'achevant par une très petite cuirasse ferrugineuse en bordure d'un marigot; pente moyenne de 0,7%; légèrement concave; sur grès ferrugineux à graviers de quartz crétacés.

Versant nord-est

- 225 - 221 m : court versant à pavage sur le revers du haut glacis induré.
- 221 - 215 m : prolongeant ce dernier, glacis à terre de Barré à horizon B rouge 2,5 YR; pente de 0,6%; forte érosion superficielle.
- 215 - 211 m : en continuité topographique apparente

avec le précédent; glacis induré à sols régiques rouges à faciès ferrugineux.

211 - 204m: changement de pente (1,3%).

204 - 185m: glacis à sols ferrallitiques à horizon B rouge 10 R; légèrement concave; pente moyenne de 0,6%; se raccorde vers le sud-est avec le glacis 221-215 dont l'apparente continuité avec le glacis induré est due à ce qu'il est situé en tête de bassin versant.

Les sols ferrallitiques définissent ici une forme postérieure au glacis induré. Sur le versant nord-est, ils sont en place sur les grès et argiles très fins du Continental Terminal. Sur le versant sud-ouest, ils se développent sur le même matériel, remanié et plus grossier, que les sols ferrugineux. Ce matériau recouvre la dernière assise du Continental Terminal (argile à dendrites violettes et les grès à graviers et quartz du Crétacé. Il est issu de ces derniers ou de la destruction des alluvions de la haute terrasse.

Les sols ferrugineux ne sont que très localement indurés. Leur cuirasse ne prend un certain développement qu'à l'ouest de Gaya, où la base de leurs profils est particulièrement graveleuse. Leur parenté morphologique avec les sols ferrallitiques indiquerait qu'ils font partie de la même toposéquence que ces derniers s'ils n'en étaient séparés par une discontinuité topographique.

La pluviosité est de 870 à 900 mm. Les 2/3 des sols meubles sont cultivés, principalement les sols ferrugineux. Les formations végétales les mieux conservées sur sols ferrallitiques sont des savanes arborées à *Bombax costatum*, *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus*, *Sclerocarya birrea*, *Prosopis africana* et tapis herbacé annuel à *Ctenium elegans*, avec quelques touffes d'*Andropogonées* vivaces, dont le *Cymbopogon giganteus*. Dans les cultures, quelques *Parkia biglobosa* sont conservés. Le *Combretum glutinosum* domine dans les recrûs de jachère.

Les sols ferrallitiques sont soumis à une érosion superficielle importante. Les profils les mieux conservés sont visiblement tronqués, les autres sont souvent

réduits à de minces placages. Le ruissellement y est fort apparent, même sous les formations arborées incultes. Une cause active paraît en être leur position topographique, aux pieds de glacis à couverture cuirassée ou gravillonnaire à faible capacité de rétention.

1.2 LES SOLS ROUGES DU SAMBERRA

La succession des sols de Gaya est unique au Niger. Pour préciser sa signification, il est nécessaire de la comparer à des séquences du même milieu climatique. Les plus proches sont celles du bassin inférieur des Dallols Fogha et Maouri, sur grès du Niger moyen, formées de deux ensembles topographiques et pédologiques. Le premier est le haut versant induré, à sols régiques ferrugineux à horizon B rouge, le second le bas versant à sols meubles assez épais, à horizon B 2,5 YR ou 5 YR, formant transition entre les sols ferrugineux peu lessivés et les sols ferrugineux lessivés. Il est clair que le versant cuirassé est l'homologue du glacis induré de Gaya, que les sols ferrugineux des deux régions sont extrêmement proches, que l'ensemble des sols ferrallitiques et ferrugineux correspond au bas versant des vallées du Moyen Niger.

1.3 LES SOLS ROUGES DU BASSIN DE LA TAPOA

En rive gauche de la Tapoa des sols rouges s'associent à des sols cuirassés sur le contact grès continentaux (Ct.3) - grès-quartzites voltaïens :

251 m : cuirasse attribuée à la surface supérieure; légèrement dégagée en une corniche de 50 cm.

251-244 m : glacis à sols ferrugineux à horizon B rouge 2,5 YR, sous forêt claire; pente de 0,65%; sur grès.

244-239 m : glacis cuirassé à sols régiques à faciès ferrugineux à horizon B jaunâtre 7,5 YR; pente de 0,62%; sur grès.

- 239 m : légère rupture de pente.
- 239 - 232 m : glaciais fortement induré; sols lithiques hydromorphes sous prairie (bowal); pente de 1% sur grès, puis de 0,4% en aval sur grès-quartzites.
- 232 - 228 m : glaciais non induré, ou décapé par l'érosion, sur grès-quartzites; sols régiques ferrugineux; même pente de 0,4%.
- 228 - 223 m : rebord de l'entaille de la Tapoa.

Les sols rouges sont en tête de la même pente qui raccorde la surface supérieure au lit de la Tapoa, en amont d'un long glaciais induré dont quelques restes d'horizon B jaune rouge à concrétions encore en place dans leur matrice, montrent qu'il est dû au cuirassement d'une chaîne à sols ferrugineux lessivés. Il est vraisemblable que le terme supérieur de cette dernière était formé des sols rouges qui ressemblent beaucoup aux sols ferrallitiques, dont ils ne diffèrent que par la structure. Comme il n'existe pas de discontinuité à la fois topographique et pédologique le long de cette coupe, il n'est pas possible de la corréler avec celles de Gaya, avec lesquelles elle a de grandes analogies. Si on fait abstraction des interprétations génétiques de nuances dans la topographie et la morphologie des profils, on constate que dans les deux cas on a une suite de sols de moins en moins rubéfiés et de plus en plus compacts et indurés, sur des pentes et des matériaux identiques, le cuirassement minimum coïncident, comme il est normal, avec les structures les plus perméables des sols ferrallitiques. Or les sols rouges de la Tapoa ne sauraient être moins vieux que ceux de Gaya, puisqu'ils sont situés au moins au sommet du "bas versant"; ils se sont donc formés dans des conditions au moins aussi humides. L'origine de leur différenciation en sols ferrugineux est à rechercher dans des facteurs locaux.

1.4 LES SOLS ROUGES FOSSILES DES VERSANTS SUPERIEURS

Nous avons déjà cité les argiles rouges finement structurées, à microstructure ortho-bimassepique, fossilisées sous quelques cuirasses et carapaces du versant supérieur des plateaux du Niger moyen (Ct.3). Elles sont morphologiquement assimilables à des horizons remaniés de sols faiblement ferrallitiques.

1.5 CONCLUSIONS

Des sols rubéfiés, à structure fine, semblable aux terres de Barre ou sols faiblement ferrallitiques des anciennes classifications, se sont formés sur les parties hautes et moyennes des versants et glacis sur grès continentaux : haut versant (M.1) ou sommet du bas versant (M.2). Ils forment la partie supérieure de séquences à sols ferrugineux lessivés variablement indurés. La proportion de ces derniers, qui peuvent se substituer entièrement aux sols faiblement ferrallitiques, et leur degré de cuirassement, dépendent de facteurs locaux. Actuellement, il n'existe plus de terres de Barre que dans la région de Gaya, sur le bas versant, à près de 900 mm de pluviosité; elles ont pu se former sur le haut versant jusqu'à 700 mm actuels au moins. Elles n'ont jamais du être communes, car leurs restes sont très rares et les cuirasses toujours formées dans des horizons de sols ferrugineux. Il est probable que la pluviosité, un peu marginale, les cantonna en des lieux privilégiés au sommet de toposéquences qui étaient normalement à sols ferrugineux lessivés. Cette interprétation est déduite de la géographie des sols ferrallitiques les plus septentrionaux de l'Afrique de l'ouest qui apparaissent en îlots de sols rouges cantonnés sur des formations gréseuses continentales, à lithologie monotone dont les constituants presque invariables sont la kaolinite, les oxydes de fer, les quartz détritiques. On les connaît sur le Continental Terminal du Sénégal (1000 à 1100 mm de pluviosité au minimum) sur le Cambro-Ordovicien de Haute Volta (1100 à 1300) sur le Crétacé du Dahomey et de Nigéria (900 à 1000 mm). Les sols rouges de Gaya appartiennent incontestablement à l'avant-garde septentrionale de cet ensemble.

2. E T U D E M O R P H O L O G I Q U E

2.1 LES SOLS FERRALLITIQUES ET FERRUGINEUX DE GAYA

2.1.1 Les sols ferrallitiques

Site de Gaya (NJ 72)

Lat. : 11° 58' 20" N.
Long. : 3° 30' 50" E.
Cote : 197 m

Au tiers supérieur de la toposéquence; pente de 0,8%;
inculte; pluviosité de 850 mm.

Surface : fine croûte pluviale grise.

0-14 cm : rouge-brun (2,5 YR 3,5/6); sablo-argileux;
quelques concrétions ferrugineuses (cf. infra);
A.1 massif, débit irrégulier, cohésion forte,
parfois très forte dans de petits volumes;
fine porosité semi-tubulaire moyennement dé-
veloppée; nombreuses radicelles.

Transition de 4 cm; contraste de couleur
faible.

14-35 cm : rouge légèrement violacé (2,5 YR 4/3); argilo-
sableux avec concrétions. massif à débit po-
lyédrique (1 cm) facile; cohésion moyenne à
B.A forte; quelques agrégats polyédriques à co-
(ou B.1) hésion très forte; porosité de même type plus
grossière et développée.

Transition de 4 cm: contraste faible.

35-157 cm : rouge violacé plus clair (10 R 3,5/6). légèrement plus argileux; toujours des concrétions (moins de 3% du poids); structure friable polyédrique fine à très fine (10-2 mm) à cohésion variant, selon l'agrégat, de moyenne à très forte; porosité semi-tubulaire très développée; peu de racines au-dessous de 90 cm.

B.2

Transition de 5 cm; contraste nul.

157-240 cm: même couleur; même texture de la terre fine mais avec 40% d'éléments grossiers :

B.2 à concrétions - quelques débris (1 cm) de grès ferrugineux
- concrétions isodiamétriques, arrondies, lisses, ferrugineuses; section (1-5 mm) jaune-rouge ou rouge violacé avec cutine brune (0,5 mm);

même structure polyédrique, à cohésion moyenne; porosité plus grossière et forte due à la faune du sol.

Roche mère: non observée dans ce puits; grès fin ferrugineux du Ct.3.

Ce profil s'apparente aux sols ferrallitiques par sa couleur très rouge et homogène, plus encore par sa structure très fine, friable, poreuse, accompagnant un taux d'argile assez élevé (35%). Ce dernier caractère est spécifique des sols de Gaya au Niger et des sols ferrallitiques en général. Les sols ferrugineux de même texture n'ont de structures que massives à débit polyédrique ou polyédriques en assemblage compact dans leurs horizons B, alors que la définition des sols ferrallitiques indique expressément que :

"leur structure en éléments nettement individualisés, "en général assez fins, de forme polyédrique ou nuci- "forme, parfois grenue (farineuse) confère à leurs ho- "rizons (B) ou B une grande friabilité lorsqu'ils ne "sont pas indurés en carapace ou cuirasse."
(Classification pédologique de la section de pédologie de l'ORSTOM, 1965).

On sait que cette propriété est l'expression de liaisons à fine échelle de la kaolinite et des oxydes de fer. Les noms de ces édifices structuraux varie selon la méthode

utilisée pour les examiner ou les séparer : micropeds volumes nodulaires (micromorphologie) agrégats polyédriques (examen de terrain) pseudo-sables ou pseudo-particules (artefacts de l'analyse mécanique).

Cette structure se dégrade sans changement textural au sommet de l'horizon B (B.A) puis disparaît dans un horizon de surface nettement appauvri en argile. On attribue cette évolution régressive propre aux sols faiblement ferrallitiques à l'érosion superficielle qui les affecte, ici très importante puisqu'elle a réduit à moins de deux mètres des horizons habituellement très puissants. L'ablation de la masse du sol, l'éluviation de l'argile, entraînent la descente du contact A-B, la destruction des agrégats du sommet des horizons B sous l'effet de fermentations microbiennes dans l'épipédon (CHAUVÉL, 1968).

Le concrétionnement est dû à la ferritisation d'agrégats, d'où sa finesse; il n'est pas associé à des caractères d'hydromorphie, ni à des causes internes ou externes de mauvais drainage. On le retrouve, moins développé, avec la même apparence (taches durcies ou concrétions violacées à limites nettes) en profondeur des horizons B des sols ferrugineux rubéfiés peu lessivés à lessivés sur des matériaux très voisins. Ce n'est pas un caractère habituel des sols ferrallitiques typiques, ni des sols rouges plus septentrionaux leur ressemblant (FAUCK, 1968). Il est même, en théorie, antinomique de la stabilité de la liaison kaolinite-oxydes et des propriétés qui en découlent : robustesse et finesse de la structure, drainage excellent et uniforme. Aussi l'attribue-t-on à une empreinte ou à une tendance ferrugineuse lorsqu'on le découvre. Cette interprétation est plus particulièrement avancée au nord du domaine ferrallitique où le concrétionnement, la formation de taches sont fréquemment cités (LEPRUN, 1967). Au Niger, elle ne fait cependant guère plus que constater une convergence en termes génétiques. Le degré de concrétionnement y est indépendant, en effet, du profil structural et ne peut indiquer de filiation entre sols ferrugineux et sols ferrallitiques. D'autre part, l'étude micromorphologique des cuirasses nous a montré qu'il n'y avait pas de différence de nature entre les globules sesquioxidiques les plus petites (micropeds) ou les moins différenciées (volumes nodulaires) et les nodules et concrétions, mais des variations de taille, c'est-à-dire du nombre de centres de nodulation par unité de volume, et d'intensité de la ferritisation de la trame kaolinique.

Ainsi les petites concrétions du sol ferrallitique sont dues à une accentuation des mécanismes formateurs de la structure finement polyédrique, tout comme celles des sols ferrugineux sont l'aboutissement des volumes plus compacts des horizons massifs. Que le sol de Gaya soit concrétionné ne signifie pas, par ce fait, qu'il eut ou aura un profil de sol ferrugineux, ni même un horizon de ce type. La contre-preuve en est apportée par des sols effectivement intermédiaires qui ne sont pas concrétionnés :

site de Gaya (NJ 73)

Lat. : 11° 55' 0" N.
Long. : 3° 28' 40" E.
Cote : 193 m

Sur le versant sud-ouest, symétrique du précédent (NJ 72); tiers supérieur de la toposéquence; cultures; pluviosité : 850 mm.

Surface : lit de 2 à 5 cm de sables et d'agrégats rouge-jaune foncé

0-13 cm : rouge-jaune foncé (5 YR 4/6); sablo-argileux, à sables grossiers quartzeux et débris de grès ferritisés (2-3 mm); structure due au travail à la houe; motteuse, grossièrement polyédrique (3-5 cm); très nombreuses radicelles

A.1 p

Transition de 5 cm; contraste moyen.

13-40 cm : couleur rouge intermédiaire; plus argileux, avec sables grossiers et graviers de quartz (2-4 mm) non émoussés; massif à débit irrégulier; cohésion forte; porosité semi-tubulaire assez grossière bien développée; quelques volumes compacts

A.B
(ou B.1)

Transition sur 15 cm; contraste très faible.

40-99 cm : rouge sombre (2,5 YR 4/6); argilo-sableux, graviers moins abondants; polyédrique (1-2 cm) en assemblage compact; cohésion faible à forte selon l'agrégat; porosité de même type moins développée; volumes compacts plus nombreux; pas de radicelles au-dessous de 99 cm

B.21

Transition sur 10 cm; contraste nul.

99-250 cm : même couleur; un peu plus argileux, mais avec 25% de graviers arrondis et émoussés de quartz et de grès, localement alignés en une stone-line rudimentaire; finement polyédrique (2-5 mm); cohésion moyenne, parfois très forte; même porosité

B.22

Matériau : produits remaniés issus d'alluvions anciennes, probablement de la haute terrasse; les éléments les plus grossiers sont concentrés vers la base du profil.

Ce sol a conservé du profil ferrallitique le même découpage en horizons, l'homogénéité de la couleur. La rubéfaction est nettement moins prononcée, la structure friable ne s'est conservée que dans l'horizon graveleux, ce qui réduit sa spécificité, car la présence d'éléments grossiers induit des structures fines dans les horizons bien drainés.

2.12

L e s s o l s f e r r u g i n e u x

Vers les bas de pente, les sols rouges friables de cette toposéquence sont remplacés par des sols à structures plus compactes et horizons plus contrastés. La décoloration, la subdivision en A.1 et A.2 de la surface sont corrélatifs de la diminution de porosité des B et manifestent un drainage interne nettement diminué. La rubéfaction diminue mais se stabilise longtemps dans les rouges 5 YR avant de disparaître tout en aval de la toposéquence. Le profil textural et structural est intermédiaire entre celui des sols ferrugineux peu lessivés et lessivés :

site de Gaya (NJ 74)

Lat. : 11° 55' 0" N.
Long. : 3° 27' 40" E.
Cote : 171 m

Sur le versant sud-ouest; tiers inférieur de la toposéquence.

- 0-25 cm : brun (7,5 YR 5/5), teinte habituelle des sols ferrugineux rubéfiés pour cette pluviosité;
 A.1 sablo-argileux; massif; cohésion forte; porosité semi-tubulaire grossière bien développée
- 25-47 cm : rouge brun (5 YR 4/4); un peu plus argileux; massif à débit polyédrique (1-2 cm); cohésion forte; horizon le plus poreux
 A.2
- 47-120 cm : rouge (5 YR 5/8); argilo-sableux; polyédrique en assemblage compact (0,5-2 cm); cohésion très forte; porosité semi-tubulaire moins développée; volumes compacts nombreux
 B
- 120 cm : grès ferritisé

Le concrétionnement, le cuirassement peuvent se développer à la base de ces glacis, dans des matériaux graveleux :

site de Sabon Birni (NJ 81)

Lat. : 11° 52' 30" N.
 Long. : 3° 33' 0" E.
 Cote : 169 m

Bas de glacis; contact avec le remblai le plus élevé du Niger; inculte; pluviosité : 870 mm.

Surface : croûte pluviale grise; termitières nombreuses

0-16 cm : brun; sableux; structure motteuse (3-5 cm) nuciforme due aux racines; cohésion forte; porosité semi-tubulaire moyennement développée
 A.1

Transition sur 2 cm; contraste moyen.

16-31 cm : rouge brun; un peu plus argileux; gravillons (2-3 mm) émoussés; massif à débit irrégulier; cohésion forte à très forte; très forte porosité, très grossière
 A.2

Transition de 5 cm; contraste fort.

31-82 cm : rouge; sablo-argileux à argilo-sableux; massif à débit polyédrique facile (0,5-2 cm); cohésion moyenne, localement moyenne à forte; légèrement friable; porosité un peu moins développée
 B.2

- 82-120 cm : cailloutis à gravillons (0,5-5 cm) violacés de la cuirasse supérieure et graviers de quartz anguleux à émoussés; emballage
- II.B.2 ayant les propriétés du B.2; à la base, des agrégats polyédriques décolorés, blancs, ou ferritisés (3 mm)
- 120-170cm : cuirasse feuilletée ou massive à porosité
- III.B.C alvéolaire; ciments brun rouge à rouges; induré grains et galets de quartz.

2.2 LES SOLS FERRUGINEUX ROUGES DU SAMBERRA

Ils forment une transition entre les sols ferrugineux peu lessivés et les sols ferrugineux lessivés. Les profils, épais de plus de trois mètres parfois, se divisent en A.I - A.2 - B ou (B) - C. La toposéquence est presque entièrement formée de sols rouges, à horizon B 2,5 YR en haut de pente, 5 YR ensuite, parfois 7,5 YR en bas de pente. Des taches ou concrétions tendres ferrugineuses se forment dans les profils 5 et 7,5 YR. L'analogie avec la succession du versant sud-ouest de Gaya est évidente; le profil ferrallitique est remplacé par le terme ferrugineux 2,5 YR, alors que les sols 5 YR sont identiques dans les deux suites, à la texture près, plus sableuse dans le Samberra.

2.3 LES SOLS ROUGES DU BASSIN DE LA TAPOA

Site de la Tapoa (NL 22)

Lat. : 12° 29' 20" N.
 Long. : 2° 23' 30" E.
 Cote : 248 m

Sommet de glacis; forêt claire; pluviosité de 775 mm.

Surface : litière; lit de 5 mm de sables fins; petites termitières

0-15 cm : brun foncé (7,5 YR 5/6); très finement sablo-argileux; structure motteuse (5-10 cm) due aux racines; cohésion moyenne; porosité tubulaire développée; agrotubules nombreuses, à remplissage très poreux

A.1

Transition de 2 cm; contraste très fort.

15-32 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5/6); très finement argilo-sableux; quelques concrétions (2-4 mm); polyédrique (5 cm) en assemblage compact; cohésion forte à très forte; porosité tubulaire ($\varnothing = 0,1-0,5$ mm) peu développée; quelques plages à porosité de type semi-tubulaire (= agrotubules très petites et irrégulières)

B.A (ou
B.1)

Transition de 5 cm; contraste faible.

32-145 cm : rouge (2,5 YR 5/6); très finement argilo-sableux; quelques concrétions; quelques restes de joints de stratification lités, ou de remplissages, jaunes et finement sableux; massif à débit polyédrique; cohésion très forte; nettement moins poreux; des enduits argileux dans les plus gros pores

B.2

Transition de 1 cm; contraste nul.

145-175cm : rouge (2,5 YR 5/6); nombreuses taches rouge jaune et rouge violacé compactes (noyaux résiduels de grès); 50% de gravillons ferrugineux (1-2 cm) rouge violacé à quartz laiteux de 0,25 mm, n'existant pas dans la matrice fine; emballage argileux compact lissé au contact du squelette grossier.

II.B.3

Ce sol fait partie du même ensemble morphologique que les sols ferrugineux du Samberra. Les variations de la texture, l'épaisseur et la succession des horizons sont semblables à ceux du profil ferrallitique à concrétions (NJ 72). Les différences sont dans la couleur, les structures et l'interprétation des concentrations indurées ferrugineuses, jugées ici allochtones parce que leur squelette diffère de celui de la matrice, là autochtones pour la raison inverse. La convergence des horizons de surface exprime l'uniformité dans la même zone climatique des processus superficiels d'éluviation de l'argile, de l'action de la végétation, sur des horizons B en voie

d'érosion. Nombre des sols ferrugineux rubéfiés de ces régions montrent une augmentation d'éléments graveleux vers la base du profil où apparaissent des traces de litage. Ce sont des traces de mouvements modérés lors de l'évolution qui ne font pas disparaître les lithoreliques gréseuses fragiles, qui n'amènent pas de différences importantes entre les anciennes concrétions et la matrice, qui conservent la distribution verticale de ces dernières. Que des sols ferrugineux apparaissent ainsi plus remaniés que des sols ferrallitiques d'âge voisin, est confirmé par l'évolution plus faible de leur structure qui peut s'accommoder de perturbations mécaniques, alors que les micropeds ferrallitiques sont promptement détruits.

2.4

CONCLUSIONS

Les sols ferrallitiques reliques de Gaya se sont substitués à des sols rubéfiés à horizon B 2,5 YR au sommet de certaines toposéquences de sols ferrugineux modérément lessivés. Leur conservation implique qu'ils ont échappé aux remaniements mécaniques d'ensemble dont les traces sont encore visibles dans les sols ferrugineux. Ils ont pu se concrétionner, sans que leur morphologie en soit autrement affectée. L'existence de conditions pédoclimatiques proches de celles des sols ferrugineux s'est traduite dans le passé par la formation de profils à structures intermédiaires et actuellement par la dégradation structurale et l'éluviation des horizons supérieurs.

Le sol ferrallitique le plus typique est essentiellement kaolinique et goethitique, avec un taux d'alumine libre trop faible pour être certain et de la magnétite (ou titanomagnétite) héritée de la roche mère. Le sol ferrugineux donné en exemple, de même que tous ceux issus des grès, sont kaoliniques, dépourvus d'alumine libre, uniquement goethitiques.

Horizons B.2	NJ.72	NK.29
Taux virtuels		
Quartz	56,4	49,4
Kaolinite	27	41
Autres silicates	3,5	2,1
Gibbsite	1,8	0
Goethite	6,5	5,4
Magnétite	3,9	0
TiO ₂	1,0	0,9
Total ...	100,1	98,8

La richesse en fer paraît une caractéristique propre aux sols ferrallitiques de Gaya. Le rapport du fer libre à l'argile l'estime grossièrement :

	Horizons B.2 non concrétionnés Fer libre/Argile (%)
Sols ferrallitiques	
horizon B 10 R (magné- tite exclue)	15
horizon B 2,5 YR	16
Sols ferrugineux	
B 2,5 YR (grès Ct.3)	11,5
B 2,5 YR (hte terrasse)	8
B 5 YR (grès Ct.3)	11,8
B 5 YR (grès crétaés)	9,2

Ce facteur lithologique a pu favoriser l'apparition de caractères ferrallitiques : couleur, agrégats fins ou micropeds, légère altération allitique de la kaolinite.

La granulométrie des sables varie d'un glacié à l'autre, cette hétérogénéité reflétant celle des grès sous-jacents. Les sols ferrallitiques de Gaya sont hétérométriques, fins (NJ 72, médiane de 0,07 mm) ou grossiers (NJ 73, médiane de 0,60 mm). Les sables des sols ferrugineux de la même région sont également très mal triés, de taille moyenne (NJ 81, médiane de 0,26 mm) alors que ceux de la Tapoa sont très fins (NL 22, médiane de 0,07 mm) et très bien triés. La morphoscopie ne se distingue pas de celle des grès du Niger moyen. Les grains subanguleux et émoussés sont les plus communs alors que les états de surface luisants, picotés et mats sont à-peu-près équivalents. Il ne semble donc pas qu'il y ait eu une altération prononcée des quartz dans cet ensemble de sols.

Le sol ferrallitique le plus rubéfié (NJ 72) est riche en grains noirs d'oxyde magnétique inclus dans des quartz, ou libres dans la masse, ou emprisonnés dans des concrétions.

Le profil textural est celui qui est fréquemment décrit dans les sols faiblement ferrallitiques : les taux d'argile sont nettement plus faibles en A.l, puis restent constants ou augmentent très légèrement jusque vers 100 cm, à des irrégularités dues aux concentrations ferrugineuses près. Mais il est aussi celui qui se rencontre le plus fréquemment dans les sols ferrugineux à horizon B argilo-sableux. On verra que chez ces derniers, le type de répartition des taux d'argile varie de façon aléatoire dans le même ensemble morphologique par l'effet de facteurs indépendants : lessivage et illuviation, éluviation et érosion superficielles, épaisseur du matériau. Le profil précité se développe plus fréquemment dans les sols les plus argileux dont la médiocre perméabilité favorise l'érosion. L'état de surface actuel des sols ferrallitiques montre qu'ils subissent effectivement ce décapage et ce tri superficiels.

Les taux de fer varient parallèlement à ceux de l'argile, sauf dans les horizons à concrétions où une fraction de ces dernières passe dans la "terre fine".

Les taux de matière organique et les rapports C/N sont identiques dans les deux ensembles de sols. La pluviométrie, la texture, les conditions de drainage externes étant les mêmes, l'accumulation de matière organique ne dépend plus que du couvert végétal :

Taux de matière organique à 800 mm de pluviométrie des horizons A.1 à 5 cm de profondeur, pour des sols rubéfiés sablo-argileux ou argilo-sableux :

forêt claire : 0,8 - 1,2%
savane boisée ou arborée : 0,4 - 0,5%
savane arborée très dégradée par les cultures :
0,3 - 0,4%.

Les sols ferrallitiques sont parmi les plus acides et les plus désaturés des sols issus de grès continentaux, mais ils partagent cette particularité avec quelques sols ferrugineux. Ainsi l'horizon B.2 du profil NK 29 est saturé à 28% seulement et possède un pH de 4,5. Comme de telles valeurs peuvent exister déjà dans les grès, on ne peut attribuer à l'évolution ferrallitique rien d'autre que le maintien d'une caractéristique héritée de la roche. Cette filiation est démontrée par l'équilibre des bases, où le calcium peut être moins abondant que le magnésium, particularité que l'on observe dans la majorité des sols issus des grès continentaux. La nature kaolinique de l'argile s'ajoute à la désaturation pour réduire à quelques milliéquivalents la somme des bases échangeables. La capacité d'échange, ramenée à cent grammes d'argile de l'analyse mécanique est en effet de 11 milliéquivalents dans les sols ferrallitiques, de 8 à 16 milliéquivalents dans les sols ferrugineux. La végétation compense en partie ces déficiences dans l'horizon A.1 nettement moins acide et plus riche en bases.

La fraction granulométrique inférieure à 0,2 mm incluse dans des agrégats de plus de 0,2 mm, atteint 30% dans les horizons B des sols ferrallitiques, alors que ce chiffre ne dépasse pas 13% dans les sols ferrugineux. Ces édifices ne s'effondrent qu'après prétraitement au benzène en libérant une argile très aisément dispersible. Ils se raréfient en surface.

4. CONCLUSIONS

4.1 NATURE DES SOLS ROUGES D'ASPECT FERRALLITIQUE DE GAYA

4.11 Développement du profil

C'est celui de sols faiblement ferrallitique très érodés au sens de la classification de 1965. Il s'oppose à celui des sols ferrugineux par une homogénéité qui est due à une structure particulièrement fine et développée. Le projet de classification de 1966 (AUBERT et SEGALEN) attribue, il est vrai, une "structuration souvent accusée" à l'horizon B ferrugineux. En fait, la structure de ce dernier est à éléments relativement grossiers, à limites souvent indistinctes, étroitement assemblés, contrastant fortement, à cause de leur taille, de leur cohésion, avec les horizons A massifs et diversément poreux. L'horizon B de sol faiblement ferrallitique est constitué d'agrégats petits, à limites nettes, en assemblage poreux dont le contraste avec les horizons A est atténué par la finesse des éléments structuraux et la fragilité de l'assemblage. Les matériaux étant, au Niger, massifs, il est normal d'attribuer aux sols ferrallitiques le maximum de différenciation structurale, bien que certaines apparences macroscopiques donnent une impression inverse.

Il n'existe qu'un facteur de formation qui soit propre aux sols ferrallitiques, la richesse en fer du matériau. Il est possible qu'elle ait favorisé la

formation d'une structure de sol ferrallitique en quelques points de chaînes à sols ferrugineux. Nous avons en effet noté l'association de concentrations ferrugineuses, de la formation de micropeds kaoliniques, de l'allitisation dans les horizons pisolitiques de la cuirasse supérieure.

4.12 Evolution

Elle s'est traduite dans le passé par l'apparition de caractères qui appartiennent également aux sols ferrugineux. Le concrétionnement doit être tenu plutôt pour une convergence que pour une tendance au sens propre vers les sols ferrugineux. Il est en effet compatible avec un développement normal du profil ferrallitique, dans la nature et théoriquement. En effet, l'existence d'agrégats présuppose une certaine mobilité plasmique et implique la formation de volumes plus compacts que la matrice, toutes conditions favorables à la nodulation. Il existe également des profils à morphologie intermédiaire sur une grande épaisseur; s'ils ne sont pas dus à des remaniements mécaniques, ils indiquent une tendance au sens propre vers les sols ferrugineux. De toute façon, cette dernière ne s'est manifestée que lors de la formation de l'ensemble des sols ferrallitiques.

En effet, la dégradation structurale, l'éluviation et l'érosion qu'ils subissent actuellement sont des phénomènes superficiels qui ne touchent pas la masse du profil, qui ne parviennent même pas à créer une succession A1 - A2 qui soit celle de sols ferrugineux typiques. Elles assurent la disparition finale des sols ferrallitiques, mais non leur transformation. Elles sont liées aux conditions de régime hydrique, de couvert végétal, d'utilisation de la zone à sols ferrugineux plutôt qu'à un type de développement très précis. Elles démontrent l'inactualité des sols ferrallitiques.

4.13 Altération

Le degré d'altération élevé, les produits principaux de néosynthèse, la désaturation et l'acidité sont hérités deux fois, du manteau kaolinique d'abord, des grès continentaux ensuite. Bien que ces formations soient réputées

ferrallitiques, elles ne sont jamais gibbsitiques, sauf en des sites très définis du contact grès-socle. Aussi les très petites quantités d'alumine libre virtuelle peuvent-elles être attribuées à une légère altération allitique dans les sols rouges. Il n'est pas possible de déceler d'autres traces d'évolution des matériaux.

Bien que les roches-mères aient tous les caractères requis des "sols ferrallitiques faiblement désaturés" du projet de 1966, il existe au Niger trois types de développement de profil qui ont hérité ces caractères : les sols faiblement ferrallitiques, les sols ferrugineux rubéfiés, les sols ferrugineux à taches et/ou concrétions. Aussi est-il logique que nous subordonnions l'altération au développement et à l'évolution du profil.

4.2

CLASSIFICATION

Système de 1965

Groupe des Sols Faiblement Ferrallitiques

Sous-groupe modal

Faciès à concrétions ferrugineuses

Famille sur matériau kaolinique, ferrugineux et désaturé.

Série inactuelle en voie d'érosion à profil peu épais (NJ 72).

Faciès à structure tendant vers celle des Sols Ferrugineux

Famille et Série identiques (NJ 73).

Système de 1966

Sous-classe des Sols Ferrallitiques faiblement désaturés en (B)

Groupe des Sols Ferrallitiques faiblement désaturés appauvris

Sous-groupe à concrétions (équivalent du sous-groupe induré du projet)

Famille sur matériau kaolinique et ferrugineux (désaturé, figure déjà dans la Sous-classe)

Série comme ci-dessus (NJ 72).

Sous-groupe modal ou bien faiblement remanié
Faciès, Famille et Série comme ci-devant (NJ 73).

L'ordre logique des critères de classification est, pour les sols de Gaya :

- le type de développement, situé dans l'ensemble des sols ferrallitiques;
- les variantes de ce dernier, locales, ayant orienté l'évolution vers celle des sols ferrugineux ou dans une voie parallèle (structures intermédiaires et horizons à concrétions);
- l'évolution superficielle actuelle, associant la dégradation de la structure, l'éluviation, l'érosion;
- la famille
- la série, indiquant le degré de conservation.

Le système de 1965 est le moins éloigné de la classification régionale optimum.

4.3 REPARTITION DES SOLS FERRALLITIQUES AU NIGER

Le manteau kaolinique paléocène est une relique d'altération d'intensité ferrallitique, tout comme les grès continentaux tertiaires, mais on ne sait rien du type de développement des sols correspondants. L'existence d'horizons à morphologie ferrallitique est vraisemblable au-dessus de la cuirasse de la surface supérieure. Les cuirassements quaternaires se sont accompagnés d'une légère allitisation, mais dans une morphologie de sols ferrugineux. Les sols ferrallitiques n'existent plus qu'au sommet de certaines des toposéquences à sols ferrugineux rubéfiés qui recouvrent le bas versant (M.2-3) sur grès tertiaires, vers 800 mm, en des sites fixés par la richesse en fer de la roche mère. Des reliques plus réduites existent également sur le haut versant, à sols ferrugineux indurés, si bien que la toposéquence a pu être qualitativement la même sur l'ensemble des versants, ne différant que par l'extension relative de ses termes : ferrallitique, ferrugineux rubéfié, ferrugineux induré. Les premiers sont dus au développement maximum d'une différenciation qui tendait à maintenir un bon drainage le long de la chaîne et par là à réduire le cuirassement par rapport à ce qu'il était alors sur le socle. La géographie des sols indique

les grès comme cause première de cette pédogenèse, leur nature suggère la minéralogie, la perméabilité de la roche comme facteurs externes déterminants. Les pentes, un peu moins faibles que sur le socle, ne sont pas indépendantes de la formation des sols, mais ont contribué à l'orienter dans le même sens. Les sols rubéfiés disparaissent lorsque le drainage externe est nul (grandes dépressions circulaires de la surface supérieure); ils disparaissent encore, et les pentes diminuent, lorsque les grès sont remplacés par des argiles gréseuses, comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

5.

R E F E R E N C E C A R T O G R A P H I Q U E

Sols Faiblement Ferrallitiques Modaux,
sur argiles sableuses. Association
à sols intergrades vers les Sols
Ferrugineux Lessivés

Feuille Niamey

Chapitre VI

LES SOLS FERRUGINEUX
LESSIVES OU APPAUVRIS
NON INDURES ou
LES TOPOSEQUENCES NON
INDUREES SUR MATERIAUX
KAOLINIQUES

1. LES FACTEURS DE FORMATION

1.1 LES MATERIAUX

Les sols ferrugineux lessivés se localisent strictement sur des matériaux kaoliniques issus de l'altération des granites du socle ou de la délapidification des grès continentaux : arènes, kaolins, argiles sableuses, restes d'horizons BC rubéfiés de sols cuirassés plus anciens, colluvions remaniant les altérites. Le développement du profil et les principaux caractères analytiques sont stables, indépendants de la situation en latitude, bien que cette dernière les mêlent aux sols ferrallitiques au sud, aux sols subarides au nord. Cette homogénéité est liée à la présence de la kaolinite car elle s'atténue lorsque des minéraux argileux différents s'y mêlent : montmorillonite du Continental Hamadien, phyllites potassiques des schistes nigériens. La kaolinite, et les sols ferrugineux, disparaissent du socle en milieu sahélien dans les mêmes conditions pédoclimatiques où se maintiennent les sols ferrugineux lessivés sur grès continentaux. Il existe donc un type de développement subordonné à la kaolinisation pouvant s'accommoder de climats plus secs que cette dernière.

Ils recouvrent les glacis du bas modelé non induré (M.3) des granites du Niger occidental et central, des argiles gréseuses du Continental Terminal (Ct.2) des grès du Continental Hamadien. On leur assimile la couverture résiduelle des versants inférieurs et supérieurs (M.1 et M.2-3) des grès du Niger moyen (Ct.3). Ils occupent également de très petites surfaces sur des alluvions se raccordant au remblai supérieur du Niger vers Gaya (région de Sia) sur les grès-quartzites voltaïens de la surface infra-continentale dans le parc du W. Ce sont dans leur ensemble les sols les plus récents qui se soient formés sur les matériaux kaoliniques, après les sols ferrugineux indurés.

Les pentes sont partout régulières et faibles. Elles peuvent atteindre 2% sur les versants gréseux, varient de 1 à 1,5% sur le Continental Hamadien, s'abaissant à 0,15-0,6% sur les granites et sont plus petites encore sur les plaines désolées du Ct.2. Le drainage externe n'en est pas moins assuré, sauf si le paysage est cloisonné par les dunes anciennes (Ct.2, Continental Hamadien) ou inscrit dans les dépressions fermées de la surface supérieure. Le drainage interne, tel qu'on peut l'estimer d'après la morphologie des profils, dépend cependant davantage de l'organisation de ces derniers que de facteurs externes. Il est médiocre et ne s'améliore qu'au voisinage des reliefs résiduels cuirassés ou sur les versants gréseux, sites plus pentus et à matériaux plus perméables. L'engorgement par une nappe phréatique est limité à quelques fonds de vallées; on a pu démontrer qu'il pouvait être inactuel en zone sahélienne.

Il existe des sols ferrugineux lessivés sur toute l'étendue de la zone cartographiée, soit de 350 mm à près de 900 mm de pluviosité, sans que cette ample extension corresponde à des variations importantes à l'échelle du profil. Les sols à taches et concrétions des argilites du Ct.2, évoluant entre 350 et 600 mm, sont ainsi très

proches de leurs homologues du socle à 600-700 mm. L'apparition d'argiles gonflantes sur les granites à moins de 500 mm et la disparition corrélative des arènes kaoliniques manifeste une diminution du drainage des toposéquences et peut être attribuée à la réduction de la pluviosité.

Comme ces sols acides sont des plus répandus dans les limites climatiques précitées, leur végétation peut être considérée comme banale. Elle est formée d'une strate arbustive ou buissonnante relativement dense, tendant à se contracter vers le nord, à se recouvrir d'une strate arborée vers le sud. Son développement n'est important que dans les zones basses méridionales, où existent quelques savanes boisées à *Anogeissus leio-carpus*. Sur les glacis, un régime hydrique déficient le limite le plus souvent à celui de brousses à *Combrétacées*, à *Acacia lianescents*. Les formations contractées sahéliennes revêtent quelques aspects curieux sur certains substrats : brousses tigrées sur des sols à concrétions érodés (Ct.2) brousses annelées à aires rondes dénudées des zones basses sur Continental Hamadien.

Les mêmes raisons qui limitent le développement de la végétation empêchent l'agriculture qui se localise sur les bas de versants ou glacis, sur les alluvions ou remblais.

Principales espèces végétales des sols ferrugineux lessivés

	Grès continentaux					Grani-
	Ct.2		Ct.3		Hamadien	glacis
	Glacis 350-600	versants 450-750	cratères 700	alluvions 850	glacis 500-600	glacis 575-700
Pluiosité (mm)						
<u>Types de formations</u>						
Forêt claire	.	.	P	P	.	.
Savane boisée	.	.	D	.	.	.
Savane arborée	.	P	.	.	P	D
Savane arbustive	P	D	.	.	P	D
Brousse tigrée	P	.	.	.	.	.
Brousse annelée	.	.	.	.	P	.
Steppe d'épineux	D	.	.	.	.	.
Formations buissonnantes	D	.	.	.	D	P
<u>Arbres</u>						
<u>Plus de 600mm</u>						
Anogeissus leiocarpus	.	P	D	P	P	D
Bombax costatum	.	.	D	P	P	.
Lannea acida	.	.	.	.	.	P
Prosopis africana	.	P	.	.	.	P
Diospyros mespiliformis	.	.	P	P	.	.
Butyrospermum parkii	.	.	.	P	.	P
Parkia biglobosa	.	.	.	D	.	.
Pterocarpus erinaceus	.	.	.	P	.	P
Vitex sp.	.	.	.	P	.	.
Burkea africana	.	.	.	.	.	P
<u>De 450 à 875mm</u>						
Sclerocarya birrea	.	P	P	P	P	D
Combretum glutinosum	.	D	.	D	P	P
Acacia adstringens	.	.	.	.	.	P
<u>Arbustes</u>						
<u>Plus de 600 mm</u>						
Lonchocarpus sericeus	.	.	P	.	.	.
<u>De 450 à 875mm</u>						
Combretum micranthum	D	D	.	.	D	D
Combretum nigricans	.	D	P	.	.	D
Bauhinia reticulata	P	P	P	P	.	D
Acacia laeta	.	.	.	.	.	P
<u>De 350 à 700mm</u>						
Commiphora africana	D	P	.	.	D	P
Maerua crassifolia	P	.	.	.	.	.
Balanites aegyptiaca	P	.	.	.	.	P
Acacia senegal	.	.	.	.	.	P
Croton zambesicus	P	.	.	.	P	.
Cassia sieberiana	P	P	.	.	.	.

	Grès continentaux					Grani-tes
	Ct.2	Ct.3			Hamadien	
	glacis 350-600	versants 450-750	cratères 700	alluvions 850	glacis 500-600	glacis 575-700
<u>Arbrisseaux</u>						
<u>Plus de 600mm</u>						
Gardenia sp.	.	.	P	.	.	D
Crossopteryx febrifuga	.	.	.	.	.	P
Annona senegalensis	.	.	P	.	.	.
Gymnosporia senegalensis	.	.	.	P	.	.
<u>De 450 à 875mm</u>						
Acacia macrostachya	P	P	.	.	P	D
Acacia ataxacantha	P	.	.	.	D	.
Boscia senegalensis	D	P	P	.	P	P
Guiera senegalensis	D	D	P	P	.	D
Ximena americana	.	.	.	.	P	P
Combretum aculeatum	.	.	.	.	.	P
Grewia bicolor	.	.	.	.	P	.
<u>De 350 à 700mm</u>						
Grewia flavescens	P	.	.	.	P	P
Dichrostrachys glomerata	P	.	.	.	.	.
<u>Moins de 450mm</u>						
Grewia tenax	P	.	.	.	.	.
<u>Graminées</u>						
<u>Plus de 600mm</u>						
Andropogon gayanus	.	D	D	D	.	D
<u>De 450 à 875mm</u>						
Ctenium elegans	P	D	.	P	.	P
Loudetia togoensis	P	D	.	.	.	D
Andropogon amplexans	D	.	P	.	.	.
Eragrostis tremula	P	P	P	.	.	.
Cymbopogon schoenanthus	D	.	.	.	.	D
Pennisetum pedicellatum	P	P	.	.	D	D
<u>Moins de 450mm</u>						
Cenchrus biflorus	P	.	.	.	.	.
Schoenefeldia gracilis	P	.	.	.	.	.
Andropogon pulchellum	P	.	.	.	.	.
Aristida mutabilis	P	.	.	.	.	.

2. EVOLUTION GENERALE DES SOLS

Elle est indépendante de l'origine et du mode de mise en place du matériau; elle aboutit toujours à une succession A-B-C ou A-B- IIC. Les horizons A sont pauvres en argile et en sesquioxydes de fer, leurs structures sont massives. Les horizons B sont plus riches en plasma. Les sesquioxydes s'y répartissent de façon diffuse dans des niveaux rubéfiés, puis se séparent et se concentrent à plus grande profondeur en taches et concrétions (1). Leurs structures sont presque toujours polyédriques. Il est rare de pouvoir définir le matériau, car l'évolution a entièrement transformé la couche meuble, au demeurant assez mince, qui recouvre la nappe grossière située à la base de la plupart de ces sols. Lorsque cela est possible, on constate un enrichissement en fer des horizons B alors

(1) Taches

1°-concentrations sesquioxydiques dont la cohésion diffère peu de celle de la matrice; nodules ou halo glebulaires pour la plupart: ce sens est celui qui est utilisé dans la classification.

2°-volumes appauvris en sesquioxydes par rapport à la matrice des horizons hydromorphes.

3°-séparations sesquioxydiques différent de la matrice par la couleur, l'hydratation, le degré de cristallisation.

Concrétions

concentrations sesquioxydiques dont la cohésion est nettement plus importante que celle de la matrice, si bien qu'on peut les extraire de cette dernière sans les briser. Dans les sols ferrugineux, sont plutôt des nodules que des concrétions au sens micromorphologique.

que les taux d'argile n'y dépassent que quelquefois ceux du matériau. Les résultats sont les mêmes lorsque la comparaison est faite avec le matériel situé sous la nappe grossière (II C). L'argile se sépare donc facilement du squelette des horizons A mais ne se rencontre pas toujours dans les horizons B sous-jacents: elle est alors exportée du profil par des mécanismes plus pressentis que démontrés par l'observation ; éluviation oblique, ablation différentielle par le ruissellement. Plus généralement, s'il existe de multiples évidences morphologiques et analytiques des propriétés spécifiques de ces sols, la mobilité du plasma par rapport au squelette et des sesquioxydes par rapport à l'argile, il est difficile de préciser le sens des mouvements, latéraux ou verticaux, leur bilan et l'agent de transport : eau du sol, eau de la circulation hypodermique, eau de ruissellement, microfaune. On a récemment proposé de nommer "appauvris" plutôt que lessivés les sols où l'illuviation de l'argile dans les horizons B ne pouvait être démontrée par un enrichissement par rapport au matériau sous-jacent (FAUCK, 1968). C'est un terme commode, sans signification génétique, que l'on peut utiliser dans les cas où l'on ne peut préciser la dynamique des éléments fins.

Les toposéquences caractérisent des régions correspondant à une roche et un type de modelé et ne comprennent qu'un petit nombre de types de profils généralement à concrétions, plus rarement à taches, très exceptionnellement sans concentrations ferrugineuses. On peut les interpréter globalement en admettant une toposéquence compréhensive théorique dont les divers termes seront représentés inégalement dans chaque région selon des facteurs locaux. Cette suite est formée au sommet de sols rubéfiés bien drainés, pauvres en concentrations ferrugineuses, de sols peu colorés à taches et concrétions sur les pentes, de sols hydromorphes acides à la base. Les premiers dominent sur les grès continentaux, les seconds sur les granites et les argiles gréseuses continentales, les troisièmes sur le Continental Hamadien.

Les successions différentes où entrent des sols ferrugineux, des sols lessivés, ne couvrent que de petites surfaces au Niger. La toposéquence à sols ferrallitiques de Gaya a été décrite. Au Tchad, au Cameroun, en Nigéria, existent des chaînes sur granites ou alluvions

dont les termes inférieurs sont à argiles gonflantes, souvent carbonatées, dont les termes supérieurs sont des sols ferrugineux rubéfiés à profil ABC ou des sols à forte éluviation oblique, de type AI-A2-C, se réduisant à des horizons grossiers décolorés coiffant les altérites (BOCQUIER, 1967, BRABANT, 1967, GAVAUD, 1968). La smectitisation est attribuée à l'illuviation des bases et de la silice exportées des parties hautes; elle progresse vers l'amont avec le temps en créant des glacis étendus à sols montmorillonitiques (BOCQUIER, 1967). On conçoit que cette chaîne ne puisse se former où les minéraux altérables font défaut, sur les kaolins et les grès tertiaires. Une dynamique de ce genre est plus vraisemblable sur le Continental Hemadien moins altéré et moins désaturé où elle serait à l'origine de traces de carbonates, de pH légèrement alcalins, parfois de concentrations d'argiles gonflantes dans certains sols hydromorphes. Au niveau du front d'altération du socle, dans les aires à sols ferrugineux, les sols à argiles gonflantes sont situés sur des enclaves de roches basiques. Les sols hydromorphes sont acides, même s'ils sont associés à des sols éluviaux AC que nous avons observés en un point. Inversement nous n'avons pas découvert de reliques ferrugineuses sur les glacis sahéliens à sols montmorillonitiques. Nous ne pensons pas que ces faits infirment la théorie génétique précitée car les mêmes processus peuvent donner plusieurs répartitions de sols sous l'effet de facteurs externes ou historiques différents. Ainsi le drainage paraît plus facile au Niger occidental que dans la cuvette tchadienne; le type d'altération, même au niveau des arènes, peut fort bien être déterminé par l'héritage du manteau paléocène dans le premier territoire, alors qu'il ne paraît dépendre que de la pédogenèse la plus récente dans le second.

L'évolution des toposéquences à sols ferrugineux du Niger sera donc celle des sols lessivés. On peut répéter à leur propos ce que nous avons dit des sols ferrugineux indurés : du fait de l'organisation du profil, des mauvaises propriétés structurales, ils s'amenuisent par une érosion superficielle lente aboutissant à une nappe gravillonnaire limitant alors l'ablation. Cette érosion est actuellement décelable par des épandages grossiers transitant sur les glacis, par des plages décapées par l'érosion en nappe ravinante. Hydrique au sud, elle se combine à l'érosion éolienne dans le nord. En un lieu donné, elle n'est pas uniforme dans le temps, des périodes d'ablation alternant avec des périodes de rémission, voire

de reconstitution des profils. Des colluvions peuvent être ainsi inclus dans des horizons humifères; des reprises d'érosion spectaculaires peuvent suivre la mise en cultures de terroirs sahéliens (Djermaganda). Le bilan final est toujours négatif.

Pour concilier l'hétérogénéité fréquente du matériau et la parfaite continuité des horizons, on admet la combinaison d'une pédogénèse constante dans son expression morphologique et d'une érosion lente, d'intensité irrégulière. Des discontinuités texturales, la plus fréquente est celle qui sépare les horizons concrétionnés des horizons meubles. Les premiers possèdent en effet souvent un squelette plus grossier, où peuvent se mêler des éléments pris à l'altérite sous-jacente et des débris allochtones, le plus souvent des gravillons de la cuirasse ancienne. Dans certains cas, on peut constater que cette discontinuité est aussi une surface d'érosion: les concrétions ont été déplacées, arrangées en reg, leur matrice a disparu; des plaquettes de grès ont été ciselées par corrasion éolienne. On reconnaît les traces de la période d'érosion qui a précédé la mise en place des dunes anciennes. Certains sols ont pu avoir une histoire aussi compliquée que la suivante :

- concrétionnement d'un sol ferrugineux à la base duquel étaient concentrés des éléments squelettiques grossiers;
- érosion jusqu'à l'horizon concrétionné, cette phase s'achevant ou coïncidant avec la mise en place des dunes anciennes;
- fossilisation par des colluvions, par des apports dus à la faune du sol;
- évolution et érosion actuelles.

3. LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES
A CONCRETIONS SUR GRANITES DU
NIGER OCCIDENTAL

3.1 CARACTERES LOCAUX DU MODELE ET DE LA REPARTITION
DES SOLS

Ces bas glacis, à pentes très faibles, sont situés entre 575 et 700 mm de pluies. Ils recourent une arène kaolinique, plus rarement des kaolins, quelquefois des argiles montmorillonitiques d'altération de roches basiques. Ils sont dominés par les témoins de sols indurés, surtout ceux du modèle M.2. A la base des profils une nappe grossière à quartz anguleux est la règle; elle s'enrichit de débris de grès au contact des grès continents. Les sols rubéfiés sont très rares, toujours au contact de buttes cuirassées résiduelles. Les sols dominants sont relativement mal drainés, concrétionnés, fort érodés. Il n'existe de sols épais que dans une gouttière séparant les granites du Birrimien (dépression de Kero).

3.2 ETUDE MORPHOLOGIQUE

3.21 Les sols ferrugineux lessivés
rubéfiés

Site de Oueresouldou (NL 69)

Lat. : 12° 48' 0" N.
Long. : 1° 56' 20" E.
Cote : 242 m

Sommet d'interfluve; pente faible se raccordant à une butte du haut modelé cuirassé; pluviosité : 700 mm.

0-9 cm : brun (10 YR 5,5/4); sableux; massif; cohésion moyenne; porosité intersticielle, fine, peu développée; quelques pores et racines
A.I

Contraste fort; transition sur 2 cm.

9-22 cm : brun rouge (7,5 YR 4,5/6); des agrotubules petites et brunes; des mouchetures (agrégats) rouges; sablo-argileux; massif à débit polyédrique; porosité moyenne, par pores et agrotubules
A.2

Contraste fort; transition sur 5 cm.

22-58 cm : rouge (5 YR 5/7); plus argileux et plus riche en sables grossiers; polyédrique (3-5 cm) en assemblage compact; cohésion forte; porosité réduite; pas de racines au-delà de 57 cm
B.21

Contraste faible; transition sur 10 cm.

58-120cm : rouge (5 YR 5/7) à taches beiges (10 YR 6/6) vers la base; sablo-argileux à quartz anguleux de 1-2 mm; même structure; cohésion très forte; nombreux volumes compacts.
B.22g.

Le matériau, non atteint ici, est un sable argileux rubéfié à quartz anguleux possédant l'association de minéraux lourds des kaolins. Sa localisation, la présence de gravillons de cuirasse, montrent qu'il est issu de la destruction des anciens sols indurés, probablement de la lithomarge sous-jacente aux cuirasses. Cette interprétation est confirmée par l'existence de sols identiques en position topographique comparable sur schistes birri-miens (site de Tongou-Tongey, NO 12).

Le profil peut ne pas dépasser 50 cm, lorsque l'épandage a recouvert une cuirasse plus récente (M.2); il est alors plus rubéfié (horizon B rouge 2,5 YR 4/5) mais la succession des horizons est encore A.I-A.2-B.2. Ce type de développement, combinant un appauvrissement superficiel très prononcé et un drainage interne qui maintient

ou accentue le rougissement hérité du matériau, est identique à celui des sols ferrugineux associés aux sols ferrallitiques de Gaya. Il est caractéristique des sables argileux kaoliniques les mieux drainés, la percolation étant facilitée par la position topographique et/ou par des propriétés physiques héritées.

3.22 Les sols ferrugineux lessivés
à concrétions

Site de Tongou Tongey (NF 8)

Lat. : 13° 37' 40" N.
Long. : 1° 4' 30" E.
Cote : non mesurée

Sillon séparant les granites du Birrimien schisteux; plaine large de 5 km se terminant en aval par le mare de Kero. Pluviosité : 550 mm. Formation arbustive contractée en fourrés.

Surface : croûte pluviale beige clair recouverte d'une litière sous les fourrés, d'épandages de sables grossiers quartzeux et feldspathiques sur des aires décapées: nombreuses termitières rouges de grande taille

0-11 cm : gris (10 YR 5,5/1); sablo-argileux; massif à débit régulier; cohésion moyenne; compact en dehors de quelques places à porosité semi-tubulaire fine
A.I

Contraste moyen; transition sur 3 cm.

11-25 cm : beige (7,5 YR 5,5/5); un peu plus argileux; massif à débit polyédrique facile (1-2 cm); cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire plus grossière ($\emptyset = 0,25-0,5$ mm) plus développée, mais laissant subsister des volumes compacts
A.2

Contraste fort; transition sur 2 cm.

25-52 cm : jaune rouge (7,5 YR 5/8) plus rubéfié dans des B.I ou B volumes à sables grossiers; des taches jaunes de couleur

diffuses; sablo-argileux à argilo-sableux; polyédrique (2-4 cm) en assemblage compact; porosité de même type réduite; des agrotubules très poreux

Contraste moyen; transition sur 10 cm.

52-90 cm : brun jaune clair (10 YR 7/6); juxtaposition d'un fond: beige, de taches rouges (5 YR 5/6) B.21 à petites (0,5 cm) et compactes, de taches jaunes (7,5 YR 5/6); argilo-sableux; polyédrique taches (1-10 cm) en assemblage très compact; cohésion très forte à excessive; porosité tubulaire fine peu développée; des films argileux sur les parois des pores; parfois des logettes à quartz luisantes

Contraste faible; transition sur 10 cm.

90-117cm: développement des ségrégations et concentrations; contrastes de couleur plus nets; taches rouges plus grandes (1-2 cm), mieux individualisées, souvent durcies; argilo-sableux, plus riche en quartz de 2 mm; polyédrique (3 cm) en assemblage compact; cohésion très forte; quelques pores

Contraste moyen; transition sur 10 cm.

117-145cm: beige (10 YR 6/8) à zones décolorées blanches (10 YR 7/1); taches et concrétions (nodules) B.22 à rouges (5 YR 5/8) arrondies ou allongées (1-2 concrétions cm); quelques mouchetures et concrétions mangésifères noires; argilo-sableux à quartz de 4 mm et feldspath; polyédrique (1-4 cm) en assemblage compact; cohésion excessive; pores peu communs, à cutines argileuses.

Enracinement peu développé en A.I, abondant et oblique en A.2 et B.I, réduit et vertical en B.2, jusqu'à 120 cm.

La succession et la nature des horizons sont typiques. Les taux d'argile croissent fortement de A.2 en B.I, modérément de B.I en B.2, puis restent constants au-delà, bien que des traces d'illuviation (cutines de vides) soient visibles jusqu'à la base. Les quantités de fer croissent plus régulièrement jusqu'à l'horizon

concrétionné. L'activité biologique déserte le A.I, très appauvri, et se concentre dans l'horizon A.2 dont elle développe la porosité. La compacité des horizons B augmente parallèlement à la nodulation ferrugineuse qui se manifeste dès le B de couleur par la ferritisation de volumes à texture et porosité particulières. En profondeur, elle crée des conditions localement réductrices dont les manifestations sont la gleyification, le dépôt d'oxydes de manganèse.

Les sols aussi épais sont exceptionnels; les types érodés sont les plus fréquents :

site de Mossipaga (NK 74)

Lat. : 12° 45' 30" N.

Long. : 1° 38' 30" E.

Cote : 238 m

A mi-pente d'un glacis sur arène.

Surface : croûte pluviale de 2 mm

0-10 cm : gris clair (10 YR 4,5/2), taches diffuses ou taches linéaires ocres; sablo-argileux massif; cohésion moyenne à forte; médiocre porosité semi-tubulaire; quelques gros pores; des radicelles obliques
A.I

10-25 cm : gris beige (10 YR 5/3), des marbrures jaunâtres; sableux; massif à débit très mamelonné; cohésion forte; porosité semi-tubulaire moyennement développée
A.2

Contraste fort; pas de transition.

25-60 cm : jaune rouge (5 YR 4/8), décoloré autour des pores; des remplissages gris poreux vers la base; argilo-sableux; agrégats polyédriques (2 cm) à cohésion très forte en assemblage de cohésion faible; porosité tubulaire à semi-tubulaire peu développée
II.BI

Pas de transition

60 cm : sommet d'un horizon concrétionné; nodules mamelonnés (0,5-2 cm) parfois en amas (4-5 cm), brun rouge (10 R 3/4) à centre noir (2,5 YR 3/0);
II.B2

squelette abondant, à blocs de quartz et gravillons de la cuirasse supérieure; emballage jaune rouge identique au matériel sus-jacent.

Il y a autant de phases granulométriques que d'horizons, ce qui ne modifie pas la succession de ces derniers. Le profil s'est différencié dans un matériel qui incluait une nappe détritique à sa partie inférieure, puis a été rajeuni par érosion et fossilisation, ou par éluviation oblique accentuée au niveau du contact A.2/B.I. Les marbrures dénotent un drainage local médiocre, commun dans les sols peu épais. Les variations de couleur des horizons B sont l'effet principal des changements de drainage dus à la position sur le glacis. Les sols d'aval sont jaunâtres (NK 76) :

- 0-10 cm : A.I : gris (10 YR 5,5/5); sableux
- 10-40 cm : A.2 : beige (10 YR 5/4); sablo-argileux
- 40-96 cm : B.I : jaunâtre (7,5 YR 6/5) marbré; argilo-sableux
- 96-112 cm : B.21 : blanc jaunâtre; argilo-sableux; concrétions rouges groupées en amas verticaux
- 112-140cm : B.22 : concrétions brun-rouge à centre foncé plus nombreuses

En amont une érosion en nappe ravinante plus forte limite l'évolution à celle de Sols Régiques à Faciès Ferrugineux :

site de Mossipaga (NK 75)

Lat. : 12° 45' 50" N.
Long. : 1° 38' 50" E.
Cote : 248 m

Sommet de glacis sur arène kaolinique.

Surface : décapée

0-21 cm : gris clair (10 YR 5,5/2); sableux; massif à débit régulier; cohésion forte; porosité I.A.I semi-tubulaire moyenne

21-40 cm : beige (10 YR 6/3); très petites taches rougesâ-
II.BC.II tres (7,5 YR 6/4) à contraste moyen; texture
argilo-sableuse ayant conservé le toucher onc-
tueux de l'arène kaolinisée; polyédrique (2-3
cm) en assemblage lâche; cohésion très faible
pour l'assemblage, moyenne pour les agrégats:
ces derniers finement poreux

Contraste très faible.

40-61 cm : diffère par des taches rouges plus distinctes,
II.BC.12 par la présence de petites concrétions tendres
(3 mm) rouges à brun-jaune, par une structure
polyédrique plus fine (1 cm) en assemblage
plus compact

Pas de transition.

61-77 cm : au sommet lit de quartz et de gravillons de
III.B cuirasse; débris de quartz filonien dans un
emballage blanc argileux et kaolinique (onc-
tueux) très compact, à structure polyédrique,
envahi à 50% par un concrétionnement tendre
de teinte brun-rouge, plus foncé au centre des
nodules

77-165 cm : arène kaolinisée à quartz friables, à petites
IV.C taches jaunes et rouges réunies en amas de 1-
2 cm, à taches manganésifères au-dessous de
105 cm.

L'histoire de ce profil paraît être : érosion de l'arène
et mise en place d'une nappe détritique, fossilisation par
des colluvions issues de l'arène, concrétionnement, mise en
place de colluvions sableuses. Elle démontre que :

- les éléments grossiers situés à la base des profils peu-
vent être détritiques et coïncider avec une surface d'é-
rosion;
- le profil textural des sols appauvris peut être hérité
de la mise en place;
- la formation de concentrations ferrugineuses, la struc-
ture polyédrique, se manifestent très aisément dans les
matériaux kaoliniques et sont probablement dus aux pro-
priétés du minéral argileux.

3.23

L e s s o l s t r è s f o r t e m e n t
l e s s i v é s

Site d'Alareni (NM 13)

Lat. : 13° 19' 50" N.
Long. : 1° 30' 0" E.
Cote : 227 m

1/3 inférieur d'un glaciais. Pluviosité : 600 mm.

Surface : découpée, blafrarde, à épandages de sables grossiers

0-18 cm : gris très clair (10 YR 6/3); sables quartziques anguleux hétérométriques; des sables très fins limoneux blancs en enduits dans les pores; massif; porosité semi-tubulaire bien développée

18-30 cm : beige; concrétions rouges à centre noir très mamelonnées dans une matrice argilo-sableuse très riche en débris de quartz

30 cm : arène blanchie dure.

C

Les caractères très particuliers de ce profil permettent de l'identifier aux sols très fortement lessivés décrits par les pédologues du Tchad et du Cameroun :

- horizons A très blanchis, réduits aux seuls quartz par l'effet d'une altération des minéraux et d'un lessivage très intense. La phase migratrice ultime est formée de limons siliceux produits par la pulvérisation des quartz
- horizon B pouvant être très mince, parfois totalement absent, à nodules à formes tourmentées dues à la grossièreté du squelette. Il se formerait en deux temps. Au contact de la roche, une très forte éluviation oblique ne laisserait subsister que les éléments les plus gros et les plus résistants du matériau. Ce A.2 très poreux serait ensuite colmaté d'argiles illuviales au sein desquelles s'opérerait la nodulation ferrugineuse (BOCQUIER, 1968).

Les mécanismes de l'évolution de ces sols permettent d'expliquer l'existence d'horizons de lithoreliques grossières autochtones à la base du profil sans qu'intervienne un quelconque remaniement mécanique, le fait que des A.2 puissent être moins argileux que des A.1 (cf. ci-devant NK 74) sans que des apports superficiels par la faune en soient responsables. Mais ils ne sont faciles à déceler que dans les cas simples représentés par le sol relativement jeune donné en exemple. Dans les sols plus mûrs, la formation d'horizons B, les phases d'érosion et de colluvionnement ont pu oblitérer leurs effets. En théorie, rien n'empêche qu'ils ne soient intervenus aux premiers stades des sols ferrugineux lessivés évolués qui dominent très largement au Niger (MAIGNIEN, 1968). Nous n'avons pas observé les termes illuviaux, à aspect de planosols, correspondant ailleurs aux sols fortement lessivés. Les fonds sont à sols hydromorphes désaturés, parfois appauvris.

3.24 Les sols hydromorphes

Site d'Alareni (NM 14)

Lat. : 13° 19' 50" N.
 Long. : 1° 36' 0" E.
 Cote : 230 m

Flat entre deux glacis; végétation de sol non inondée, mais plus haute que sur le glacis (Anogeissus); pluviométrie : 585 mm

0-20 cm : gris (10 YR 6/2,5) à taches diffuses ocres; finement sablo-argileux; massif; cohésion moyenne; porosité tubulaire et semi-tubulaire peu développée

A.Ig

20-33 cm : jaune-brun (7,5 YR 4/4) à très petites taches rougies et pores décolorés; plus argileux; massif à débit mamelonné; porosité semi-tubulaire grossière bien développée

A.2g

33-75 cm : brun-jaune à nombreuses taches rouges (2 mm) en amas; argilo-sableux; massif à débit horizontal facile; traces de litage soulignées de pores très fins; cohésion moyenne

B.I

75-100 cm : gris clair (2,5 Y 8/0) à taches rouges (2,5 YR 3/6) nettement durcies, parfois manganésifères, en amas (1-5 cm); argileux; graviers de quartz croissants en nombre vers la base; polyédrique, forte porosité tubulaire
B.2g

100-160 cm : brun-jaune à taches et concrétions noires (1 cm); graveleux, à quartz émoussés et feldspath; emballage argileux peu abondant.
B.3g

Nappe phréatique : sommet à 75 cm en hivernage
sommet à 145 cm en saison sèche.

Sur un matériau d'apport, ce profil est extrêmement proche de celui des sols ferrugineux des glaciers. L'engorgement de nappe n'a fait qu'accentuer des tendances qui existaient déjà dans les sols lessivés : formation d'un pseudogley dans les horizons A par ralentissement du drainage, gleyification de la matrice compacte du B.2, développement de la porosité tubulaire. Seul le magasin de la nappe, par ses taches jaunes se concentrant progressivement vers leur centre en nodules manganésifères (halo glebulaire) a un aspect purement hydromorphe.

Outre ces sols ferrugineux appauvris à pseudogley et gley de profondeur, les dépressions colmatées portent des sols hydromorphes plus durablement inondés, à profils moins différenciés où le seul horizon de surface se distingue par des structures de retrait, par une décoloration qui n'est pas due au lessivage de l'argile et des sesquioxides :

site de Tambole (NK 90)

Lat. : 13° 5' 40" N.
Long. : 1° 29' 20" E.
Cote : 232 m

Flat; végétation de sol inondé (Mitragynes); pluviosité : 625 mm

Surface : fissures polygonales

0-36 cm : gris très clair (10 YR 5/1,5) à taches linéaires ocres le long des pores; très finement argilo-sableux; prismatique (\emptyset = 5-20 cm) sous-structure cubique au sommet, polyédrique à la base; cohésion excessive; porosité tubulaire
I.Ag

($\phi = 0,2-2$ mm) peu développée; argile : 36%
fer total : 4,9%; fer libre : 3,1%

- 36-70 cm : brun-jaune à marbrures rougies et zones décolorées le long des pores; un peu moins argileux; polyédrique en assemblage compact; cohésion forte; argile : 22%; fer total : 3,6%; fer libre : 2,2%
- I.g
- 70 cm : lit de gravillons et de fragments de feldspath
- 70-147 cm : sables massifs bariolés de jaune, rouge, noir, à pores décolorés

3.3 ETUDE ANALYTIQUE

L'uniformité de la répartition des taux d'argile, qui croissent jusqu'à 50-80 cm dans les sols épais ou jusqu'au niveau grossier dans les autres, montre une convergence d'effets des mécanismes d'éluviation, de lessivage, de transports sur les glacis qui ne disparaît que de certains flats alluviaux (type NK 90). Les taux de fer ne varient indépendamment de ceux de l'argile (rapport du fer libre à l'argile de 3 à 12 selon le profil) que dans les horizons à concrétions où les sesquioxydes se concentrent.

Les taux de matière organique et les rapports C/N croissent vers l'aval des toposéquences, avec l'humidité du profil. Les chiffres correspondant aux sols à concrétions sont de ce fait situés entre ceux des sols rubéfiés et ceux des sols hydromorphes.

Type de sol		à 5 cm	à 20 cm	à 50 cm	à 90 cm
Ferrugineux rubéfié	Matière organique	0,4- 0,6	0,4- 0,5	0,2	0,10
	C/N	10,5-11	8,0-10	7	5
Ferrugineux à concrétions	Matière organique	0,7- 1,1	0,4- 0,6	0,2- 0,35	0,15-0,20
	C/N	11,5-15	10,5-13	6,5-10	4 - 7
Hydromorphe	Matière organique	0,7- 3,3	0,4- 1,8	0,2- 0,4	
	C/N	11,5-16	9,2-12	6,6-10,9	

La décroissance avec la profondeur est rapide, les taux diminuant de moitié dès 20 cm dans les sols le plus organiques.

Tous ces sols sont acides et désaturés. Dans l'arène, le coefficient de saturation peut s'abaisser à 25 et le pH à 5,1. La seule variation constante est la correction de l'acidité en surface, dans l'horizon A.I, du fait des apports par la végétation. Les bases échangeables sont en petites quantités car la capacité d'échange de l'argile est faible (15 à 25 milliéquivalents, 20 à 30 dans les sols hydromorphes). Le minimum en est souvent situé dans l'horizon A.2, à la fois dépourvu d'argile et de matière organique.

Il n'y a pas d'agrégats stables, sauf dans les sols hydromorphes les plus organiques. L'argile est aisément dispersible et l'instabilité structurale élevée. La compacité apparente est confirmée par les mesures de porosité totale :

31% en volume dans les horizons A.I
36 -41% en volume dans les horizons A.2
31 -36% en volume dans les horizons B.I

L'eau de rétention (PF 3) de l'ordre de 150 mm pour un profil épais de 80 cm, ne représente que les 2/3 environ de la porosité. Il est donc probable que l'humidité du sol doit dépasser cette valeur dans les horizons morphologiquement mal drainés, B à taches et concrétions, certains A.I et A.2.

3.4

CONCLUSIONS

Le profil de base de ces sols ferrugineux lessivés est la succession A.I-A.2-B.I (couleur) - B.2 (taches puis concrétions). Ses variations sont associées à celles de l'humidité, elle-même déterminée par la position le long de la toposéquence et par des facteurs accidentels, tels que la texture, l'état d'érosion, la présence d'une nappe, la pente locale. Vers l'aval les modifications se limitent au passage du rouge au jaune de l'horizon B.I et à une augmentation du taux de matière organique. En amont, sur des surfaces très limitées, l'existence d'un bon drainage sur toute l'épaisseur ne permet plus une nodulation importante en B.2 et coïncide avec le profil A.I-A.2-B.I des sols rubéfiés. Un héritage favorisant cette propriété physique à ce niveau n'infirmes pas la

logique de cette évolution, mais affirme sa permanence au travers de vicissitudes érosives. A des facteurs locaux revient l'accentuation de la tendance du profil de base à l'hydromorphie, ce qui produit des sols ferrugineux lessivés à pseudogley de surface (A.1, A.2), à pseudogley ou gley de profondeur (B.2).

Dans les sols les plus jeunes, la même superposition granulométrique de sables sur une argile sableuse coiffant ou enrobant un niveau grossier, est la conséquence aussi bien du lessivage que de remaniements mécaniques. Cette convergence doit être admise des sols mûrs dont le profil textural est invariable et indépendant de l'origine apparente du matériau. Elle est spécifique des sols ferrugineux lessivés et ne peut qu'être une conséquence de l'évolution de ces derniers. Le niveau grossier est un éluviat, un reste d'horizon A.2, avant d'être une nappe détritique. Il ne peut donc coïncider obligatoirement avec une surface d'érosion. L'existence d'horizons concrétionnés à sommet raboté est un indice plus sûr d'ablation. Le fait que celle-là ait détruit des sols de développement égal, n'est qu'une présomption d'une phase d'érosion située dans le temps de façon précise, car l'érodibilité dépend du degré d'évolution. Cette indétermination ne sera levée que par l'étude des sols situés dans la zone d'invasion dunaire.

4. LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVÉS A PSEUDOGLEY SUR GRANITES DU NIGER CENTRAL

Au sud de Maradi, à 650 mm de pluviosité, des glacis sur granites calco-alcalins, à pentes modérées (2%) mais fortement ravinées, ont été mis à jour par l'érosion des

alluvions ferritisées à galets étudiées précédemment. Une arène acide et désaturée (pH de 5,4) y est recouverte d'une nappe graveleuse décimétrique, concrétionnée, formée de ses éléments résistants (quartz, feldspath) auxquels se mêlent parfois des galets de l'ancienne couverture. Des cortex ferrugineux craquelés et recimentés montrent que ce niveau a pu être exhumé après le concrétionnement. Il est surmonté de sols ferrugineux lessivés à pseudogley de profondeur de type A.1 - A.2 - B.1g - B.2g, épais de 60 cm environ, rougeâtres (5 YR 4/4 en B.1) à taux d'argile croissant jusqu'au niveau grossier concrétionné. La transition entre horizons meubles (B.2g) et horizon graveleux (B.2g à concrétions) est assez progressive (profil ND 91 Dambo) pour que l'on soit assuré de l'identité de la pédogenèse sur l'ensemble du matériau. Lorsque la discontinuité est évidente, le sol peut être plus jeune, visiblement colluvial en surface, avec une morphologie indécise plus proche de celle d'un sol à pseudogley de surface que d'un sol lessivé : A.1g-2B.g / graviers à concrétions (ND 90 Dambo). Les propriétés analytiques sont identiques à celles des sols du Niger occidental, à une désaturation moins forte près :

	ND.91				ND.90	
	0-8	15-25	30-40	50-60	0-10	18-28
	A.1	A.2	B.1g	B.2g	A.1g	2B.g
Argile (%)	9,9	18,2	23,2	29,1	15	25
Fer total (%)	1,2	2,2	2,65	2,6		
Matière organique (%)	0,74	0,60	0,31	0,28	0,50	
C/N	11,0	9,7	6,0	5,5	14,0	
Saturation (%)	74	78	72	80	80	50
pH eau	5,8	5,2	4,7	4,6	5,8	4,8

5. LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES -
APPAUVRIS A CONCRETIONS
SUR GRÈS ARGILEUX

5.1 CARACTERES LOCAUX DU MODELE ET DE LA REPARTITION
DES SOLS

Le complexe argilo-sableux du Continental Terminal (Ct.2) affleure au centre et au nord du Niger méridional, depuis l'isohyète 600 mm jusqu'au delà de l'isohyète 350 mm. Il forme une auréole autour et en amont des plateaux des grès du Niger moyen (Ct.3) plus résistants et de surcroît protégés par l'entablement pliocène. Il est essentiellement formé d'argiles kaoliniques compactes et imperméables mais tendres, mêlées à des proportions variables de sables de taille moyenne, bariolées de taches ferrugineuses, interstratifiées avec des sables, des graviers, des grès fins ferrugineux en plaquettes ne jouant qu'un rôle effacé dans la morphogénèse et la pédogénèse. Le relief en est excessivement mou et monotone. Ce sont des glacis très peu pentus, sans organisation visible sur le terrain, donnant l'impression de plaines argileuses. En dehors de témoins isolés du Ct.3, de rares cuirasses accrochées à des irrégularités de la surface infra-continentale (grès-quartzites nigériens à la limite ouest du Continental Terminal) ou de la zone de contact avec les grès limonitiques (Ct.1) il n'existe pas de reliefs résiduels, ce qui enlève de la certitude aux essais de corrélation chronologique. Comme ils se raccordent topographiquement au bas versant sur grès, au bas glacis sur schistes nigériens, il est possible de les assimiler au bas modelé (M.3) mais pour l'essentiel seulement. En effet l'étude des sols indurés et des cailloutis et

conglomérats suggère que ce paysage réunirait plusieurs formes distinctes, M.2 et M.3 par exemple, confondus par la mollesse du modelé et l'uniformité de la pédogenèse.

Les glacis disparaissent en grande partie sous le manteau éolien. Les zones libres de sables varient en dimensions des quelques dizaines de mètres de la cuvette interdunaire aux dizaines de kilomètres des grandes bandes nues étirées d'est en ouest. Les traces de ruissellement superficiel sont évidentes et nombreuses : plages d'épandage de débris de grès ferrugineux, croûtes pluviales, nappes ravinantes. Le réseau de drainage n'est cependant pas organisé, tout se résoud en multiples microbassins endoréiques. La végétation est pauvre, chétive, formée de xérophytes arbustifs ou buissonnants. Elle s'organise en une brousse contractée monotone où des zones dénudées, blafardes, dessinent les voies vaguement convergentes du ruissellement et isolent des îlots broussailleux hérissés de grosses termitières blanches.

Il n'a pas été observé d'autres variations ordonnées selon la pente que celles qui sont dues à l'état d'érosion des sols, cette dernière étant dans son ensemble moins prononcée que sur les glacis du socle. Les profils à concrétions sont les plus communs; des sols régiques, des régosols apparaissent plus fréquemment près des axes d'écoulement principaux. Les sols évolués sont en place dans la majorité des cas (7 cas sur 12) ou du moins leur base paraît-elle passer en continuité à la roche-mère en même temps qu'ils ne présentent aucune discontinuité granulométrique dans leur squelette. Ces dernières peuvent exister au niveau du contact A.2/B (1/12) B1/B2 (2/12); l'horizon concrétionné a été parfois remanié (1/12); tout le profil peut fossiliser une nappe détritique de grès en plaquettes concrétionnée (1/12). La rareté des éléments résistants dans la roche-mère, l'absence d'un cuirassement étendu qui aurait pu les immobiliser et les accroître ont réduit le développement de l'horizon graveleux et facilité la reconstitution des profils érodés.

5.2 ETUDE MORPHOLOGIQUE

5.21 Les sols ferrugineux lessivés
à concrétions

Site de Domfon (NF 1E)

Lat. : 14° 51' 36" N.

Long. : 5° 7' 0" E.

1/3 supérieur d'un glacis; pluviosité de 385 mm

Surface : blanche et décapée; litière de feuilles et rejets de termites sous les fourrés

0-19 cm : gris très clair (10 YR 6,5/3); sableux; massif; cohésion moyenne; porosité intersticielle
A.I

19-48 cm : gris clair (10 YR 6/3); sableux; massif, débit plus irrégulier; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire assez grossière ($\phi = 0,25-0,5$ mm) moyennement développée
A.2

Contraste moyen; transition très brève.

48-118 cm : brun-jaune clair (7,5 YR 6,5/4); sablo-argileux; massif à débit irrégulier; cohésion moyenne à forte; porosité de même type, moins développée, des volumes compacts
B.I

118-152cm : même couleur; des concrétions rouges (2,5 YR B.2 à con- 4/6) à cortex rouge jaunâtre (5 YR 5/8) de crétions 0,2-1 cm; argilo-sableux; même structure; cohésion forte; porosité de même type réduite

152-175cm : disparition progressive des concrétions, apparition de noyaux de grès résiduels de plus en plus abondants vers la base
B.C

175cm : argile gréseuse bariolée de blanc (10 YR 8/1) de jaune rougeâtre (7,5 YR 7/8); des tubules à remplissage argilo-sableux brun-jaune clair.
R

Récapitulation morphologique

Elle définit l'aspect de sols ferrugineux lessivés à concrétions en place évoluant en milieu actuellement sahélien :

Type de développement

A.I-A.2-B.I de couleur-B.2 à concrétions-B.C-R est la succession de base la plus commune. Les variantes portent sur le développement des concentrations ferrugineuses; élevé, il donne deux horizons concrétionnés successifs; faible, il ne produit que des taches, fait rare (1 cas sur 12). Des marbrures peuvent apparaître en B.I. La dégradation superficielle peut faire disparaître le A.2.

Epaisseur

120 à 200 cm, médiane de 155 cm, y compris l'horizon B.C.

Horizon A.I

12 à 23 cm; médiane 19 cm; teintes très claires grises à beiges (10 YR 6/2-3-4, plus rarement 7,5 YR 5-6/4): sableux et homogène, plus rarement strié ou franchement colluvial; massif à débit régulier; cohésion moyenne à forte; porosité intersticielle médiocre

Horizon A.2

10 à 41 cm, médiane 20 cm; légèrement plus sombre ou coloré, gris et beige rosé (10 YR 6/3-4, 7,5 YR 6/3); parfois des marbrures ou des raies rougeâtres; sableux ou sablo-argileux; massif, débit mamelonné, plus rarement polyédrique; cohésion moyenne, plus rarement forte. Maximum de porosité du profil, de types surtout biologiques, tubulaires et semi-tubulaires.

Horizon B.I

25 à 90 cm, médiane 40 cm; jaune rougeâtre pâle (7,5 YR 5-6-7/4-6, plus rarement 5 YR 6/4) et jaune clair (10 YR 7/5); parfois des marbrures ou des raies rougeâtres; plus argileux que l'ensemble A.I + A.2, mais n'est que rarement le B textural; sablo-argileux ou argilo-sableux; massif, débit mamelonné à polyédrique, cohésion irrégulière, de moyenne à excessive, le plus souvent forte; plus compact que l'horizon A.2 et porosité plutôt tubulaire; des films argileux dans les pores.

Horizon B.2

20 à 70 cm, médiane 37 cm; sommet de 65 à 165 cm de

profondeur, médiane 90 cm; plus jaune ou de même couleur que le B.I; jaune rougeâtre (7,5 YR 6,5/4, 5 YR 6/4) et jaunâtre (10 YR 5-6/5-6); concrétions et taches rouges (2,5 YR 4/6, 5 YR 5/8) plus rarement brunes (7,5 YR 5/6); leurs limites sont nettes, leur taille de l'ordre du centimètre; lorsqu'il en existe deux niveaux, les plus profondes sont plus durcies et brunes; le plus souvent horizon B textural; argilo-sableux; structure aussi ou plus développée que dans le B.I, massive, avec débit mamelonné à polyédrique, ou polyédrique généralement fine; cohésion moyenne à excessive, le plus souvent très forte; très compact.

Horizon B.C

de l'ordre de 40 cm; le passage de la roche au sol se fait par une délapidification progressive au sein des pores tubulaires forés par les racines et la faune. Leur coalescence aboutit à un matériau homogénéisé incluant des noyaux de grès résiduels, identifiables à leur compacité et à leur bariolage.

On notera la très grande ressemblance de cette organisation avec celle des sols sur granites. Les différences tiennent à de minimes différences de couleur et d'épaisseur, les sols sur grès argileux étant plus épais, même en A, et plus clairs en surface d'une à deux unités de valeur :

	sur granites	sur Ct.2
épaisseurs totales (cm)	60-150	120-200
A.1	10-21	12-23
A.2	11-30	10-41
valeur des teintes 10 YR		
en A.1	4 à 5,5	6
en A.2	5 à 6	6

5.22 Les sols ferrugineux lessivés sans taches ni concrétions

A proximité de grands axes de drainage, nous avons observé deux fois un profil A.1-A.2-B.1-B.2 t ne se distinguant du précédent que par l'absence de taches et concrétions, à l'exception de quelques marbrures en B.2. Dans un cas il passait à des grès nettement remaniés. Ce serait un stade d'évolution plus récent que celui des sols à concrétions,

car il est identique par sa nature, sa localisation, sa stratigraphie à celui des vallées du Djermaganda (cf. ci-après) dont le matériel passe latéralement à celui des dunes anciennes.

5.23 Les sols régiques et les régosols

Les régosols sont représentés par des affleurements effrités d'argile et grès kaoliniques. Les sols régiques sont mal drainés en surface et de type A.Ig-BC-R; un petit horizon peu humifère brun (10 YR 5,5/5) à marbrures ocres y surmonte un horizon de délapidification du grès argileux pouvant atteindre 70 cm. Le délitage y est dû aux racines et à l'humectation, cette dernière induisant une structure prismatique au sommet. Un stade plus différencié, à Faciès Ferrugineux, est représenté par le profil A.I-A.2-BC plus coloré, parfois marbré -R. L'épaisseur est inférieure à 60 cm.

5.24 Les sols hydromorphes à pseudogley

Site de Zama (NK 59)

Lat. : 14° 19' 0" N.
Long. : 2° 51' 10" E.
Cote : 223 m

Mare très temporaire.

- 0-15 cm : colluvions sableuses grises à taches rouges le long de pores; débit horizontal aisé
- 15-59 cm : noir (7,5 YR 4/0) à très petites taches rouge foncé; argileux; structure en plaquettes (0,5 x 2 cm) en assemblage compact; pores tubulaires peu nombreux; très dur et cohérent
- A.g
- 99-105 cm : gris, avec concrétions tendres rouges (2-3 mm); argileux; polyédrique (2-3 cm) en assemblage compact; très dur
- C.g

105-140 cm : argile kaolinique blanche à taches ocres et rouges, parcourue de tubules verticales et de fissures emplies du matériau de l'horizon sus-jacent
 II.R

L'organisation est toute différente de celle des sols ferrugineux, la seule ressemblance étant la formation de concrétions, convergence due à l'identité minéralogique et structurale de l'horizon argileux hydromorphe et des horizons B. Les propriétés analytiques sont très voisines, à une plus forte accumulation organique près (horizon Ag, à 30 cm) :

matière organique	0,70	somme des bases échangeables	4,76
argile	51,5	saturation	61
fer total	2,0	pH eau	5,0
fer libre/fer total	44	instabilité structurale	3,6

5.3 PROPRIETES ANALYTIQUES DES SOLS FERRUGINEUX

Les sables sont de taille moyenne (tailles médianes de l'ordre de 0,18 mm) et leurs variations de diamètres sont indépendantes de celles des taux d'argile. Elles montrent que le matériau est homogène, sauf en surface où il peut être remanié. Le profil textural est croissant jusqu'à la roche; il dessine plus rarement un "ventre" d'argile en B.1 ou B.2 (deux cas sur douze). Les taux d'argile sont inférieurs ou excèdent de très peu ceux de la roche mère. Ils sont du même ordre de grandeur que sur granites; en particulier ils admettent une limite supérieure égale, voisine de 35%. Par analogie, on admettra qu'ils sont dus à la même combinaison de mécanismes, lessivage, éluviation latérale, remaniements, bien que n'ayons pas observé de cas probants de sols obliquement lessivés ni de sols à la fois évolués et à matériau complexe.

La faiblesse des taux de matière organique et des valeurs du C/N sont en harmonie avec la faible pluviosité et le maigre couvert végétal. Ils montrent également que ces sols ne sont pas hydromorphes en dépit de leur imperméabilité. Leur répartition, lentement décroissante, est celle des sols subarides peu organiques.

L'acidité, la désaturation, les basses capacités d'échange sont celles de la roche mère, très légèrement corrigées en surface. Le minimum des bases échangeables est encore en A.2.

L'imperméabilité est remarquable; l'instabilité structurale croît en profondeur du fait de la dispersibilité de l'argile. Comme dans tous les sols pauvres en matière organique et à argile minéralogiquement constante, l'humidité équivalente est une fonction linéaire du taux d'argile (A) :

$$He (\%) = 0,35 A + 1 (+ \text{ ou } - 0,9)$$

5.4

LES SOLS DES DEPRESSIONS DE LA SURFACE SUPERIEURE

Précédemment situés, ils évoluent sur un matériau également kaolinique et tendre, dans un paysage aplani et endoréique, mais sous une pluviosité plus élevée (700 mm). On les considère comme l'extension méridionale des sols du Ct.2 à cause de la similitude de leur morphologie. La série de Kirtachi est à concrétions :

A.I-A.2-B.I (7,5 YR 5/5) - B.2 à concrétions rouges (2,5 YR 4/6)

La série de Badifa, sur matériau colluvial remanié, n'est qu'à marbrures :

A.I-A.2-B.2 textural (7,5 YR 5,5/5) - B.C-C colluvial à lits de graviers de quartz - IIC, grès délapidifié sur 140 cm.

Les plus petites dépressions portent des sols ferrugineux lessivés à peu lessivés rouges qu'il aurait été plausible d'assimiler au terme rubéfié de la toposéquence théorique des sols lessivés à concrétions si leur isolement géographique n'avait été aussi complet.

Les différences avec les sols sahéliens sont peu nombreuses. L'accumulation de matière organique est plus importante, corrélativement les horizons A sont plus foncés et reprennent les intensités 4 et 5 sur l'échelle des valeurs qui étaient la leur sur granite :

10 YR 4,5/3 ou 5,5/2 en A.I, 10 YR 4-5/4 en A.2. Cela est l'effet d'une végétation plus dense qui augmente plus fortement encore le pH et la saturation du A.I, parfois jusqu'à la neutralité (Kirtachi). Cet effet n'est pas accidentel; on le retrouve dans les horizons A.I de sols ferrugineux rubéfiés sous savane boisée : pH de 6,7 (NJ 29) de 7,6 (NJ 28, brûlis). L'altération et le concrétionnement peuvent se faire sur une plus grande épaisseur (sur 140 et 90 cm respectivement). Les caractères communs sont en majorité. L'argile croît ainsi soit jusqu'à la base, ou présente un maximum modéré en B.2, du même ordre de grandeur cependant que le taux de la roche mère. Le fer varie parallèlement en A et B.I, se concentre fortement dans l'horizon B.2 à concrétions, modérément dans l'horizon à marbrures.

La minéralogie est estimée à 1% près par les résultats de l'attaque triacide en admettant l'hypothèse d'un mélange formé de quartz, kaolinite et goethite pour l'essentiel. Les variations des silicates résiduels (feldspath, illite) par rapport à la kaolinite peuvent ainsi expliquer les variations du rapport silice/alumine. La plus simple voit croître ce dernier vers la surface; elle est due à la disparition de l'argile en admettant que les feldspath calculés sont inclus dans le squelette. Ce résultat est indépendant du minéral choisi par hypothèse car on l'obtient directement en remarquant que, pour rendre compte de la constance relative des bases dans certains profils, le plus simple est d'admettre l'existence de minéraux résiduels en proportion définie dans le squelette. L'argile de l'analyse granulométrique et les argiles calculées sont du même ordre de grandeur, à l'exception d'un échantillon de grès altéré (NJ 47). Il n'y a donc pas lieu d'envisager l'existence d'agrégats argileux résistants dans ces sols. De fait l'analyse de la structure n'en a produit qu'après le prétraitement protecteur à l'alcool.

5.5 CONCLUSIONS

Les sols kaoliniques lessivés-appauvris sont stables sur toute leur aire et peu sensibles à la pluviosité entre 725 et 350 mm. Des variations quantitatives minimales et des nuances qualitatives ne changent pas leur type de

développement. L'accumulation organique de type subaride ne correspond à aucune autre modification du profil; l'accroissement du pH en surface propre au milieu sahélien ne se manifeste pas. La ressemblance de leurs traits et propriétés pédologiques avec ceux des sols à concrétions du socle granitique est élevée; elle correspond à celle des facteurs de formation, dont le type d'argile est le plus déterminant. La différence dans l'importance de l'horizon graveleux permet de préciser son origine et son rôle. C'est avant tout une concentration du squelette résistant de la roche mère. Il localise et accroît le concrétionnement. Il limite l'approfondissement du profil et freine ainsi sa reconstitution après érosion. Il intervient ainsi dans l'histoire locale des sols, dont le déroulement général est cependant le même. La fréquence des sols en place sur Ct.2 est ainsi plus élevée que sur le socle bien que les discontinuités texturales et les niveaux remaniés s'y répartissent de la même manière dans les profils. Cela a permis de constater que l'exportation de l'argile hors du sol était un fait plus général que l'illuviation, que les sols sur matériau remanié étaient souvent sans concrétions et pouvaient de ce fait être effectivement plus jeunes que les sols en place.

6 LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES A CONCRETIONS ET LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES JEUNES SUR GRES ARGILEUX (Ct.3)

6.1 CARACTERES LOCAUX DU MODELE ET DE LA REPARTITION DES SOLS

La discontinuité du manteau éolien, la présence de sols ferrugineux lessivés, l'érosion généralisée de la couverture pédologique sont les traits spécifiques et associés des vallées creusées dans les grès du Niger moyen (Ct.3) ayant partiellement échappé à la fossilisation dunaire pour des raisons géologiques ou paléoclimatiques ou topographiques. Au nord (400 mm) dans le Djermaganda, de vastes surfaces de matériaux argilo-sableux issus du Ct.2 ont diminué la fixation des sables dans les fonds de vallées. Dans la région de Samberra (800 mm) au sud, les dépôts éoliens se sont amenuisés sur les marges péri-désertiques anciennes. Dans la zone moyenne (500-700 mm) la situation par rapport aux vents d'est, aux obstacles, aux dépôts alluviaux sources de sables, a déterminé le degré d'ensablement. Ainsi les vallées de la rive est du Niger, plus généralement les versants est et nord, sous le vent, ont été partiellement préservés.

Le drainage externe est partout assuré par les pentes modérées des versants dont l'étagement (M.1 et M.2-3) est très marqué dans le sud. Les sols en place sur un horizon d'altération des grès sont bien moins fréquents que ceux dont la base est une nappe graveleuse parfois concrétionnée où se mêlent les lithoreliques du matériau autochtone sous-jacent, des gravillons venus de la cuirasse supérieure, des débris de grès ferrugineux. La surface peut en être éolisée. Au nord, les matériaux remaniés recouvrant l'horizon grossier passent latéralement aux sables dunaires sur le même versant; au sud cette transformation n'est connue que par une modification progressive de la couverture sableuse vers les latitudes méridionales.

Les sols rubéfiés dominent dans les toposéquences mais les sols les mieux conservés, situés sur des replats ou dans les fonds de vallée, sont peu colorés. Les sols en place sont concrétionnés par ferritisation d'agrégats comme les sols lessivés déjà décrits. Les sols sur matériaux remaniés ne le sont pas ou bien sont affectés par un concrétionnement de nappe tout différent.

Des successions de la région de Samberra démontrent l'indépendance des toposéquences à sols lessivés et à sols dunaires :

Site de Zamodeye Youti
(12° 39' N., 3° 8' E.)

Versant nord

- Cote 246 surface supérieure cuirassée
246-243 chanfrein de bordure du plateau; sols ré-
giques à faciès ferrugineux.
- 243-215 toposéquence à sols ferrugineux lessivés.
- 243-225 pente de 0,9%; sols rubéfiés sans concrétions sur horizon graveleux; horizon B 2,5 YR; très érodés.
- 225-222 pente de 0,13%; sols ferrugineux lessivés à concrétions; non rubéfiés.
- 222 petite cuirasse ferrugineuse; base du versant supérieur (M.I).
- 222-215 même pente, mêmes sols.
- 215-207 pente de 0,19%; sols ferrugineux peu lessivés à horizon B rouge 5 YR (cote 213) puis 7,5 YR, sur sables dunaires.
- 207 thalweg. .

Versant sud

- 239 surface supérieure.
- 239-235 chanfrein.
- 235-215 pente de 1,2%; sols ferrugineux peu lessivés sur sables dunaires; horizon B 2,5 YR puis 5 YR.
- 215-207 pente de 1%; mêmes sols à horizon B 7,5 YR.

Dans les vallées situées vers 600-700 mm, la répartition des sols est d'abord celle des matériaux. Sur le manteau éolien, on retrouve la toposéquence à sols ferrugineux peu lessivés. Sur les sables argileux recouvrant les graviers, se développent des sols ferrugineux lessivés à horizon B ordinairement rouge 5 YR; sur l'horizon grossier ou les grès altérés, ils sont remplacés par des

sols régiques à faciès ferrugineux à horizon A très décoré.

Le matériel dunaire se dégage progressivement des matériaux colluviaux des versants du Djermaganda :

- sous la corniche et le versant à pavage limitant les plateaux de la surface colluviale s'étend un glacis colluvial concave à sols rubéfiés peu lessivés à lessivés;
- un glacis à pente linéaire de moins de 1% lui succède; le matériau et le modelé superficiel y prennent progressivement un aspect dunaire; la toposéquence y est encore à sols ferrugineux peu lessivés rubéfiés à horizons B successivement 2,5 YR, 5 YR, 7,5 YR;
- à sa base réapparaissent des sables argileux colluviaux à sols ferrugineux lessivés non ou modérément rubéfiés caractérisés par un concrétionnement de nappe important et inactuel (série de Siwili);
- le fond est un thalweg linéaire (région de Tigo) ou une plaine râclant des argiles gréseuses identiques à celles du Ct.2, à sols ferrugineux lessivés à concrétions et à sols à pseudogley (régions de Ouallam et de Zama).

6.2 L'EROSION DES SOLS

Son intensité est une caractéristique de cet ensemble. Les nappes ravinantes ont réduit à quelques décimètres les sols de la partie centrale. Au sud, elles s'accroissent en un réseau de rigoles ou ravineaux parallèles dont la fréquence va jusqu'à cinq au kilomètre. Au nord, elles balayent tous les glacis à la base desquels elles se concentrent sans doute à cause de l'afflux des eaux de ruissellement, et s'associent à des formes mineures d'érosion éolienne pour donner un modèle particulièrement complexe de "brousse tigrée". Là, sur des pentes de moins de 1%, des bandes isohypses ou légèrement obliques sur les courbes de niveaux alternent, les unes larges de 100 m et nues, les autres plus étroites (30 m) et arbustives, cela sur plusieurs kilomètres. Les bandes décapées sont au niveau

d'un ancien horizon à concrétionnement de nappe ou au sommet des graviers formant la base du matériau. Ce sont autant de surfaces de ruissellement dont la limite amont, régressive, entaille sur environ cinquante centimètres les sols couverts mieux conservés. La surface de ces derniers n'est pas le sommet primitif, mais une ancienne surface d'érosion en nappe classique, parfaitement plane. Des nebka, formées par le vent en saison sèche, coiffent le petit gradin limitant les bandes arbustives vers l'aval. Il est vraisemblable que ce système compliqué évolue par crises car si le ruissellement est actif sur les zones nues, il n'existe pas de nebka très fraîches; toutes sont colonisées par des arbustes âgés.

Cette érosion déblaie trop rapidement les sols dunaires dont le volume est limité pour qu'elle ne soit pas accélérée. Elle a cette force partout où les sols sableux sont associés à des sols moins perméables qui peuvent concentrer les eaux de ruissellement. Ces paysages aujourd'hui ruinés sont ou furent des terroirs agricoles recherchés (Djermaganda, Samberra) parce que les possibilités d'humectation des terres légères y sont plus grandes que dans les aires purement éoliennes. L'érosion a pu s'accroître après les premiers défrichements, parce que la reconstitution du couvert végétal était freinée partout par les méthodes culturales, sur les grès par la pauvreté chimique, dans le nord par l'insuffisance de la pluviosité. Nous verrons en effet que les sols lessivés du Djermaganda sont inactuels et correspondent à un pédoclimat plus humide. En détruisant la végétation, l'homme a précipité les effets d'un déséquilibre hérité de variations paléoclimatiques entre le volume végétal actuellement productible et celui qui était nécessaire à la protection des sols.

6.3 ETUDE MORPHOLOGIQUE

6.31 Les sols ferrugineux lessivés
rubéfiés sans concrétions

Récapitulation morphologique

Organisation

A.1 - A.2 - B de texture et couleur -II C grossier
-III C (grès altéré).

Epaisseur

25 à 120 cm; médiane 100 cm; les profils les plus minces sont du type A.1- B.

Horizon A.1

9 à 20 cm; gris (10 YR 5/3-4), beige rosé (7,5 YR 5/4), rarement rougeâtre (7,5 YR 5/4); sableux; sommet encroûté; massif, débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; souvent traces de remaniements : litage, débit feuilleté, poches de sables; le plus compact.

Horizon A.2

13 à 22 cm; beige rosé (7,5 YR 5/3-4) surtout si l'horizon B est de cette teinte, sinon jaune rougeâtre (5 YR 4/6, 5/5-6); sablo-argileux; débit très mamelonné, exceptionnellement polyédrique; cohésion moyenne; parfois forte; des agrégats plus compacts durcis; horizon le plus poreux.

Horizon B

10 à 60 cm; médiane 45 cm; sommet à 10-40 cm, médiane à 25 cm; parfois rouge en haut de pente (2,5 YR 4-5/7-8), le plus souvent rouge jaunâtre 5 YR 5/5-6-8, quelquefois jaune rougeâtre (7,5 YR 6/4) sur des pentes très faibles; sablo-argileux à argilo-sableux; débit très mamelonné, quelquefois polyédrique en assemblage compact; cohésion variable dépendant du développement de la porosité, moyenne à très forte; des agrégats durcis; porosité semi-tubulaire et tubulaire aussi développée qu'en A.2 ou un peu moins forte.

Horizon de contact avec le substrat (Bg, ou BC, ou horizon

à nids d'insectes)

Quelques centimètres; plus clair ou jaune que le B; parfois des taches ferrugineuses diffuses; plus ou moins argileux que le B; structure voisine, mais cohésion parfois excessive; plus compact; nombreux nids et galeries d'insectes.

Horizon grossier (II C ou II B)

2 à 95 cm; médiane 35 cm; débris de grès sous-jacent, le plus souvent ferritisés, gravillons de la cuirasse supérieure, débris de grès durs ferrugineux; éléments de 1 cm (grès tendres) à 50 cm (grès durs) pouvant être lités et disposés à plat; base festonnée, sommet horizontal; réduit à quelques gros blocs sur les bancs de grès dur dont la surface peut être ciselée par corrasion éolienne (gisement 288 grades); même texture ou plus argileux que le B; contient parfois de grosses concrétions ferrugineuses irrégulières non usées mais déplacées (NK 37).

Horizon III C

sur grès tendres seulement; environ 50 cm; noyaux résiduels de roche dans une masse argilo-sableuse homogénéisée.

Le type de développement et le profil granulométrique sont les mêmes que dans les sols ferrugineux rubéfiés des toposéquences à sols ferrallitiques méridionales. La différence principale est dans l'épaisseur, ici réduite et par là mettant la totalité du sol dans la zone d'activité biologique maximum. Il s'agit donc du même ensemble mais ayant subi une érosion plus forte qui a culminé dans une phase aride très nette. Cette dernière n'a pas mis en place le niveau grossier, mais en a simplement façonné la surface car elle se situe après la formation de concrétions ferrugineuses, au demeurant très rares sous les sols rubéfiés.

6.32

L e s s o l s f e r r u g i n e u x l e s s i v é s
à c o n c r é t i o n s

Site de Samberra (NK 10)

Lat. : 12° 23' 20" N.
Long. : 3° 2' 40" E.
Cote : 162 m

Bas du versant inférieur; pente très faible; pluviométrie de 815 mm.

0-20 cm : gris-brun clair (10 YR 6/2); sableux; massif; cohésion moyenne; porosité interstitielle très fine peu développée
A.I

Contraste fort; transition sur 17 cm.

20-43 cm : beige jaunâtre (7,5 YR 6/4); argilo-sableux; massif à débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire ($\phi = 0,25$ mm) bien développée
A.2

43-67 cm : jaunâtre (10 YR 6/4) à mouchetures (2 mm) brun-rouge foncé peu nombreuses; argilo-sableux; polyédrique en assemblage très contact (1-2 cm); cohésion forte; porosité de même type réduite; des volumes compacts
B.I

Contraste moyen.

67-86 cm : jaunâtre (10 YR 6,5/4); légèrement plus argileux; matrice homogène à porosité biologique fine et forte enrobant des agrégats polyédriques ferritisés et légèrement durcis (5-20 mm) à section bariolée : rouge jaunâtre (5 YR 5/8) rouge (2,5 YR 4/8) noire (2,5 YR 3/0); ils sont compacts, à porosité tubulaire fine, et représentent 40% de la masse
B.21 à concrétions

86-162 cm : gris jaunâtre (10 YR 6,5/3); même texture; matrice très finement structurée, grenue; agrégats ferritisés plus durs (concrétions, nodules) organisés en amas à grand axe vertical (4-5 cm); section plus uniformément rouge (2,5 YR 4/6); pas de films manganésifères
B.22 à concrétions

162-205 cm : gris clair (10 YR 7/2); un peu moins argileux; matrice polyédrique (5-50 mm) en assemblage compact, moins poreuse, à cohésion très forte; concrétions plus petites (5 mm) plus rouges (10 R 5/8) plus dures, en amas plus diffus
B.23 à concrétions

Enracinement : horizontal et assez dense jusqu'à 67 cm.

Le matériau n'a pu être observé sur cette coupe, mais a été observé sous un profil de même nature vers la base du versant supérieur (NK 8) :

- 0-23 cm : horizon A.I gris clair (10 YR 6/3) sableux et massif.
- 23-70 cm : horizon A.2 jaunâtre (10 YR 6/4) sablo-argileux et poreux.
- 70-80 cm : horizon B.Ig jaunâtre (10 YR 6,5/4) argilo-sableux, polyédrique, à agrégats compacts décolorés avec taches ocres.
- 80-120 cm : horizon B.2_f jaunâtre, argilo-sableux, à concrétions en amas verticaux, matrice à pseudogley finement poreuse.
- 120-200 cm : grès altéré gris très clair (10 YR 7/1) moins argileux que le B.2; polyédrique (2-3 cm) à arêtes aiguës et linéaires (elles sont émoussées dans le sol); porosité uniquement tubulaire et peu développée (elle est semi-tubulaire et forte dans le sol); excessivement dur.

Ces sols sont les plus méridionaux qu'on ait observé sur le Continental Terminal. Leur organisation, très classique, se distingue de celle des sols plus septentrionaux par l'épaisseur maximum plus élevée des horizons A et B.2 (70 et plus de 120 cm) par une organisation plus complexe des concentrations ferrugineuses, par une activité biologique ne se cantonnant plus strictement aux horizons A.2 et B.I, mais envahissant le B.2 concrétionné. Leur situation topographique se traduit par une coloration générale très pâle et la formation de pseudogley en B. Il est vraisemblable que ce sont des sols de ce type qui ont produit le cuirassement de la base du versant supérieur. Nous n'avons pas observé de sols rubéfiés en place sur les grès; le sommet de la toposéquence locale (NK 7) est un profil à horizon B rouge 2,5 YR sur niveau grossier.

6.33 Les sols ferrugineux lessivés
à concrétionnement de nappe

Site de Siwili (NM 34)

Lat. : 14° 58' 50" N.
Long. : 1° 42' 0" E.
Cote : 262 m

Site : base du versant inférieur; pente de 0,5%; pluviosité : 385 mm; savane arbustive à Commiphora.

- 0-10 cm : brun jaunâtre clair (10 YR 6,5/4); des marbrures linéaires brunes; sableux; massif; cohésion moyenne; porosité de type interstitiel.
A.I
- 10-29 cm : même couleur; marbrures anastomosées; sableux; débit très mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire très développée.
A.2
- 29-53 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 7/5); sablo-argileux à argilo-sableux; débit polyédrique (4-6 cm); cohésion forte; porosité semi-tubulaire plus grossière.
B.I
- 53-70 cm : même couleur; argilo-sableux; très grosses concrétions manganésifères noires, coniques, à grand axe vertical (10 x 2 cm à 2 x 0,5 cm); quelques concrétions noires isodiamétriques; matrice fortement poreuse.
B.21 à concrétions
- 70-85 cm : grosses concrétions ferrugineuses brun-rouge à centre noir, allongées, verticales, prolongeant les précédentes; elles passent plus progressivement à la matrice argilo-sableuse, compacte et décolorée; la base renferme des graviers de l'horizon suivant.
B.22 à concrétions
- 85-140 cm : graviers (3-4 mm) émoussés de grès ferrugineux, de quartz, grosses oolithes ferrugineuses, dans un emballage argileux moucheté de blanc et rouge, médiocrement poreux.
II.B3
- 120-140 cm : argile sableuse (Ct.2) bariolée divisée en
III.C

noyaux polyédriques compacts par des zones à porosité biologique semi-tubulaire.

Le matériau de cette série est une alluvion de cours d'eau temporaire souvent très sableuse et litée en profondeur; elle recouvre le substrat altéré. Le concrétionnement, très spécial, est caractérisé par des formes allongées et verticales, à croissance apicale ascendante, dont les ciments, manganésifères au sommet, ferrugineux à la base, imprègnent la totalité de la masse du sol et non des agrégats particuliers. Par coalescence, des panneaux de cuirasse manganésifère d'un noir de jai (2,5 YR 3/0) de plusieurs mètres carrés se forment en bas de pente. Inversement le concrétionnement s'amenuise, les ciments manganésifères disparaissent les premiers, aux cotes plus hautes. Il est caractéristique de l'engorgement de nappe. On l'observe actuellement se développant dans la frange capillaire de la nappe sous-alluviale des sols de remblai du Goulbi de Maradi, à 675 mm de pluviosité (ND 24). Il est ici inactuel; la végétation xérophytique montre l'absence d'eau en profondeur que l'érosion avancée de la série drainerait promptement si d'aventure elle s'accumulait en saison des pluies. La matrice des concrétions a perdu les ségrégations et la compacité qui sont la sienne dans les sols méridionaux dès le niveau manganésifère. Des causes qui expliqueraient la disparition de la nappe, diminution de la pluviosité ou dégradation hydrologique, la première paraît la plus vraisemblable à cette latitude où très souvent les sites concrétionnés de la sorte débordent largement le magasin actuel de la nappe, limité aux sables de lit mineur (Gorouol, vallées hautes de l'Ader Douchi).

Dans les sites les plus mal drainés, le contraste de couleur entre horizons A et B s'affaiblit en même temps que le profil devient plus sombre. Il prend un aspect de sol "brun" caractéristique d'un drainage ralenti en région sahélienne. Il est également un peu plus organique, tous les autres caractères, l'acidité notamment, restant ceux d'un sol ferrugineux lessivé (NJ 57) :

0-6 cm : horizon A.1 brun-jaune (7,5 YR 5/7); sablo-argileux;

6-17 cm : horizon A.2; brun (7,5 YR 5,5/4); sablo-argileux;

58-105 cm : horizon B.2 à concrétions; brun-jaune (7,5 YR 5/6); argilo-sableux.

Le contraste de couleur est plus accusé dans les sols les plus élevés où le concrétionnement de nappe est exclusivement ferrugineux (NM 23) :

0-17 cm : horizon A.I; gris-brun (10 YR 6,5/3); sableux;

17-45 cm : horizon A.2; brun (7,5 YR 5,5/4); sableux;

45-105 cm : horizon B.I; jaune rougeâtre (5 YR 6/5); sablo-argileux;

145-172 cm : horizon B.2 à concrétions; jaune rougeâtre (7,5 YR 5,5/6); sablo-argileux à argilo-sableux.

La plupart des profils sont tronqués au niveau des concrétions dans les bandes nues des brousses tigrées. Dans les bandes arbustives, on constate une reprise de l'éluviation superficielle des horizons exhumés (profils A.I - AB.I - B.2) ou une fossilisation par les nebka à l'origine de pseudo-profils (A - C - II B.I). L'évolution de ces apports, constante dans sa nature mais variable dans son intensité, implique un dépôt discontinu des sables éoliens, des périodes de stabilité interrompant leur mise en place. Le faciès le plus juvénile possède un horizon humifère à peine distinct et des stries ferrugineuses (NK 58) :

0-15 cm : brun-jaune, homogène; sableux; massif; cohésion faible;
A

15-135 cm : brun-jaune à peine plus clair (7,5 YR 6/5); sables à litage légèrement oblique; tous les 2 cm, stries gris violacé (2 mm) légèrement durcies, formées au contact d'un lit supérieur plus grossier et d'un lit inférieur plus fin; massif; cohésion faible;
C

135-180 cm : brun (7,5 YR 5/5); sablo-argileux; polyédrique en assemblage compact; cohésion forte; sommet de sol ferrugineux lessivé tronqué.
II.B.I

Le stade le plus évolué possède un horizon humifère brun et des raies argilo-ferrugineuses (NL 19) :

- 0-20 cm : brun (10 YR 6,5/6), homogène; sableux; massif; cohésion moyenne.
A
- 20-65 cm : brun-jaune (7,5 YR 6/5); sableux. tous les 5 cm, raies (5 mm) rougies et durcies, horizontales, recti-linéaires; massif; cohésion moyenne.
C ou BC
- 65-140 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5,5/6); sablo-argileux; débit polyédrique; cohésion forte; sommet de sol ferrugineux lessivé tronqué.
II B.I

Les sols AC de ce type sont interprétés en général comme des stades juvéniles de sols ferrugineux, d'une part parce que les stries sont des ségrégations, les raies des concentrations argilo-ferrugineuses, dues au lessivage, d'autre part parce que cette évolution s'observe encore sur les matériaux perméables dans les régions plus arrosées où il n'existe que des sols ferrugineux (1).

6.34

Le passage des sols ferrugineux lessivés aux sols ferrugineux peu lessivés dunaires dans les vallées du Djermaganda

Les sols ferrugineux peu lessivés ont la même succession d'horizons que les sols lessivés, mais avec des transitions très progressives, des structures moins différenciées encore massives dans les B, des taux d'argile plus faibles, un concrétionnement par ferritisation d'agrégats très rare. L'affaiblissement de la différenciation a été attribué à la pauvreté en plasma du matériau, d'une part à cause de leur localisation générale sur des sables dunaires ou fluviatiles, d'autre part parce que leur association avec des sols lessivés est aussi celle de matériaux différents. Ainsi dans les vallées du Djermaganda, les proluvions et les sols lessivés à concrétionnement de nappe disparaissent simultanément dès le 1/3 inférieur des glacis sous des sables

(1) observations faites sur le cordon périlacustre le plus ancien du lac Tchad (BOCQUIER, 1968, communication orale; GAVAUD (1968))

éoliens à sols ferrugineux peu lessivés (NL 4) :

- 0-12 cm : brun-jaune clair (10 YR 5,5/4); sableux; mas-
A.I sif; cohésion moyenne.
- 12-28 cm : même couleur; sableux; massif; porosité plus
A.2 forte et grossière.
- 28-87 cm : jaune rougeâtre (5 YR 6/6); sableux à sablo-
B.2 argileux; massif à débit polyédrique; cohésion forte.
- 87-120 cm : devient très progressivement plus clair; sa-
B.C bleux; massif, débit simplement irrégulier.
- 120-140 cm : rose (5 YR 7/4); sablo-argileux à argilo-
II.B sableux; des débris de grès; polyédrique en assemblage compact; cohésion très forte.
- 140-200 cm : débris de grès argileux et de grès oolithique
III.B dans le même emballage sablo-argileux rose.

Le sol dunaire (0-120 cm) recouvre un matériau identique à un horizon B de sol ferrugineux lessivé. Les sables éoliens disparaissent derechef au sommet du versant où se différencient les sols ferrugineux lessivés du glaciaire colluvial (NK 70) :

- 0-19 cm : brun-jaune (7,5 YR 5,5/5); sables à oolithes
A.I ferrugineuses; lité.

Contraste fort; transition linéaire.

- 19-35 cm : brun rougeâtre (5 YR 5,5/4); sableux, avec
A.2 petits graviers de quartz (2 mm); massif, débit irrégulier; cohésion forte; porosité semi-tubulaire assez fine.

- 35-57 cm : brun rougeâtre (5 YR 5/4); sablo-argileux,
B.I avec un lit de blocs (1-10 cm) de grès oolithique; débit polyédrique; cohésion forte.

Contraste moyen; transition sur 10 cm.

- 57-111 cm : rouge (2,5 YR 4,5/6); sablo-argileux à argilo-
B.2 sableux; deux lits de blocs de grès; polyédrique en assemblage compact; cohésion forte à très forte; porosité très fine et peu développée.

- Contraste faible; transition sur 20 cm
- 111-175 cm : rouge plus clair (2,5 YR 5/6); sablo-argileux; débit mamelonné; cohésion moyenne; des raies compactes peu distinctes au niveau de lits de blocs
- B.C
- Contraste fort; transition sur 30 cm
- 175-230 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5,5/6); sables fins; au sommet un lit de graviers à emballage localement durci et compact (aspect de raie illuviale); massif; cohésion moyenne
- C

Le matériau de ces sols est aisé à identifier car il est identique aux colluvions actuelles, sinon subactuelles, qui s'étalent aux pieds des versants à pavage limitant les plateaux. Ce sont des sables et des sables fins argileux rouge jaunâtre (5 YR 5/6) à oolithes ferrugineuses et graviers de quartz, à lits de blocs de grès dur, massif, à débit mamelonné et cohésion moyenne. Epais de plusieurs mètres, ils ne portent que des sols minéraux bruts, douteusement décolorés en surface sur 5-10 cm, parcourus de raies rougeâtres (5-10 mm) nettement durcies, donc évoluant déjà vers les sols ferrugineux (NL 198).

Tous les sols de ces vallées sont dus à la même pédogenèse arrêtée à certains stades par l'âge ou la texture. Les profils AC à raies sont actuels. Le matériau des sols lessivés est une série détritique de sables argileux colluviaux et proluviaux qui sont aussi la source des sables éoliens. Les dunes ont pu succéder à une première pédogenèse ferrugineuse, se nourrissant des horizons éluviaux comme le font les nebkas de nos jours, fossilisant progressivement les horizons B anciens (NL 4). Cette hypothèse n'est pas nécessaire pour interpréter des profils à morphologie et texture intermédiaires, pour lesquels il suffit d'admettre une seule période d'évolution pédologique sur un matériau mis en place dans des conditions de plus en plus arides. Elle est indispensable pour relier les caractères régionaux des sols de vallées sur grès.

Les sols régressifs à
faciès ferrugineux

Site de Katami (NJ 40)

Lat. : 13° 5' 0" N.
Long. : 3° 46' 30" E.
Cote : 238 m.

Bas de versant; pluviosité : 725 mm.

0-20 cm : gris-brun (10 YR 5,5/3); sableux; massif;
cohésion moyenne; forte porosité semi-tubu-
laire; racines s'étalant au sommet de l'ho-
rizon suivant.
I.A1

Transition linéaire.

20-40 cm : beige rosé; graviers arrondis de grès, ga-
lets de quartz (2 cm) et concrétions ferrugi-
neuses (1-100 mm) brun-rouge très irréguliè-
res incluant les éléments squelettiques pré-
cités; emballage sablo-argileux finement po-
lyédrique peu abondant et très poreux.
II.A2

Transition progressive.

40-115 cm : rosé (7,5 YR 6,5/4); même graviers; concrè-
tions plus petites; emballage argilo-sableux
polyédrique, plus compact, formant des films
autour des éléments du squelette.
II.B

Transition linéaire.

115-140 cm : sommet festonné; argile sableuse blanche
(10 YR 6/6) à taches rouges (2,5 YR 5/6), à
canaux à remplissage argilo-sableux rosé;
renferme les mêmes galets.
III.C

140- cm : grès argileux tendre, blanc à taches jaunes;
à galets.

La différenciation en sol ferrugineux lessivé se fait
dans un ancien horizon B à concrétions (phase II) sur
grès argileux (phase III) remanié. Elle est identique à
celle des sols ferrugineux lessivés indurés très érodés

précédemment décrite. Elle illustre la permanence des mêmes processus au cours d'une histoire complexe où l'érosion prend la plus grande part. Lorsque la roche affleure, le profil est du type A-IIC - II R.

6.4

ETUDE ANALYTIQUE

Les sables sont de taille moyenne (médianes de 0,18 à 0,36 mm); au nord la granulométrie dans les horizons A.I tend à s'uniformiser dans les tailles proches de celles des accumulations éoliennes mineures (nebka : 0,22 mm). Les taux d'argile maxima sont rarement situés dans un horizon B médian; ils croissent le plus souvent jusqu'à la base du profil, située entre 75 et plus de 200 cm. Lorsqu'ils dépassent ceux de la roche ou du matériau, c'est d'une petite quantité. Le contraste textural le plus fort est entre les horizons A et B ou A.I et A.2. L'effet des remaniements superficiels est très diversifié dans les sols septentrionaux; l'éolisation tend à abaisser les taux d'argile, le rabotage hydrique tend à les augmenter.

La pluviosité, le couvert végétal, le drainage local fixent les taux de matière organique. Leur répartition est d'autant plus lentement décroissante qu'ils sont plus faibles, cela étant vrai surtout du contact A.I - A.2. Les faciès bruns du Djermaganda sont effectivement isochoriques, bien que leurs autres caractères soient ceux des sols lessivés. Les rapports C/N croissent avec la pluviosité. Finalement la qualité et la quantité de matière organique n'ont pas d'effets sensibles dans cet ensemble de sols.

Il n'existe pas de variation régionale très nette de l'acidité, de la désaturation, toujours élevées. L'effet superficiel correcteur de la végétation est légèrement sensible en A.I, sauf si le sol a été exagérément cultivé (A.Ip de NM 23) ou fraîchement érodé. Cette amélioration est apportée à l'équilibre des bases où initialement K et Ca sont relativement peu abondants :

Taux, % de T	Ca	Mg	K	Na	H
Séries rubéfiées					
A.I	7	36-28	4-3	1-1,5	52-60
B.22	4-8,5	20-25	0,7-1	1	69
C (grès altéré)	4	19	5	3,5	68
Série de Siwili					
A.I	30-62	15-28	1,5-2,7	0-3	15-55
B.22	3-26	12-29	0,3-1,5	0,5-1,2	57-71
C (Ct.3)	4,3	35	1,5	2	57,2
IR (Ct.2)	3,2	31	1,3	3,5	59

La stabilité structurale est toujours médiocre; les réserves en eau sont de l'ordre de 170 mm pour le premier mètre d'un sol moyen à pF 3.

6.5 L'EVOLUTION DES SOLS FERRUGINEUX DES VALLEES SUR CRES (Ct.3)

La toposéquence réelle y a été invariablement la toposéquence théorique à sols concrétionnés en bas de pente (A.I-A.2-B.I-B.2) et à sols rubéfiés sans concentrations ferrugineuses, le plus souvent, en haut de pente (A.1 - A.2 - B. de couleur et texture). Les variations directement attribuables à la pluviosité sont peu nombreuses. L'ensemble A des sols sahéliens est plus mince et plus clair que dans les sols méridionaux; l'épaisseur maximum est en effet de 45 cm contre 70 cm, la valeur dans les teintes 10 YR est de 0,5 unité plus grande. De même les horizons à concrétions ne dépassent pas 45 cm, contre 120 cm à 800 mm de pluviosité. La disparition de l'argile des horizons A d'abord, de l'ensemble du profil ensuite, la concentration du fer en profondeur en bas de la toposéquence, plus rarement l'accumulation de l'argile dans un horizon B textural, s'observent quelles que soient les modalités de la mise en place du matériau et de l'érosion qui font toutes les différences régionales.

Les sols à concrétions en place du Samberra sont les plus anciens, les profils indurés du haut versant (M.I) étant vraisemblablement associés à ce type. Leur

évolution par éluviation différentielle et leur érosion aboutissent aux sols colluviaux sur horizon grossier des vallées centrales. La différenciation de ces derniers, ainsi que celle des matériaux d'apport du Djerma-ganda, a suivi la même voie, le concrétionnement y étant toutefois très faible où n'existait pas de nappe phréatique. Une période aride à reg et dépôts éoliens l'a stoppée. Les dunes, à leur début, se sont édifiées par accumulation des sables des horizons éluviaux d'abord, des horizons B détruits par le ruissellement ensuite. Leur texture y a ultérieurement limité l'expression des mêmes processus dont l'effet actuel est de produire des sols peu évolués à raies dans les matériaux les plus récents. La sensibilité originelle à l'érosion a été accrue par la mosaïque des textures, par la précarité de l'équilibre entre le couvert et les possibilités de régénération, finalement accélérées par les défrichements. La destruction des sols va actuellement par petites crises, menaçant sérieusement l'avenir de ces terroirs.

7. LES SOLS FERRUGINEUX
LESSIVES - APPAUVRIS
HYDROMORPHES SUR CRESES
CRETACES

7.1 CARACTERES LOCAUX DU MODELE ET DE LA REPARTITION
DES SOLS

On retrouve au Niger oriental et central, entre la vallée du Goulbi N'Kabe (450 mm) et les bassins de la Korama

et du goulbi de Maradi (650 mm) un système de sols de faible épaisseur, formés de minces horizons argileux, le plus souvent concrétionnés, coiffés d'horizons plus sableux, occupant des glacis à faible pente (moins de 1,5%) présentant localement des cuirasses ferrugineuses, le tout plaqué sur les grès du Continental Hamadien. Il occupe des panneaux non ensablés dont la forme et l'orientation régulière (NE-SW) sont dues aux cordons dunaires de la couverture éolienne qui les limite. Les parties hautes sont soumises à une érosion en nappe intense, les zones basses à un engorgement temporaire de surface généralisé et renforcé par l'obstruction du réseau de drainage ancien. Les premières ont conservé des sols ferrugineux lessivés à concrétions ou à taches ferrugineuses, les secondes ont des sols de type plutôt hydromorphe lessivé à concrétionnement manganésifère, avec des plages à sols calcaires à argiles gonflantes. Cette disposition est soulignée sur les photos aériennes par l'opposition entre la surface claire des sols dunaires (savane lâchement arborée) la teinte sombre des savanes boisées ou des fourrés arbustifs des sols lessivés, le semis de taches blanches circulaires des brousses annelées recouvrant les sols calcaires. Après une solution de continuité due aux alluvions à galets de Maradi, les bas glacis à sols hydromorphes et calcaires réapparaissent en rive sud du goulbi de N'Kaba, entre Maradi et Dakoro, puis se prolongent par aires disjointes jusqu'à la frontière de Nigéria où des sols ferrugineux lessivés hydromorphes se sont particulièrement bien conservés (série de Sarkaki).

7.2 ETUDE MORPHOLOGIQUE

7.21 Les sols ferrugineux lessivés à concrétions, à taches

Site de Zinder (NA 42)

Lat. : 13° 47' 10" N.

Long. : 8° 53' 25" E.

Cote : entre 447 et 453 m

Glacis à pente de 1,5%; pluviosité de 530 mm.

- 0-9 cm : beige (10 YR 7/3); sableux; massif, débit régulier; cohésion moyenne; porosité intersticielle bien développée; nombreuses radicelles.
A.I
- 9-30 cm : même couleur; sableux; massif à débit polyédrique; cohésion moyenne à faible; porosité très forte; des enduits de sables très fins blancs; nombreuses radicelles.
A.2
- 30-45 cm : beige rosé (7,5 YR 7/4); sablo-argileux; polyédrique; cohésion moyenne; porosité plus faible; saupoudrage de sables fins blancs sur les agrégats.
B.II
- 45-60 cm : jaune rougeâtre (5 YR 7/4); un peu plus argileux; structure polyédrique très irrégulière (3-4 cm) en assemblage compact; cohésion forte; porosité de type tubulaire, avec enduits argileux dans les pores.
B.12
- 60-70 cm : même couleur: argilo-sableux; des graviers de quartz de moins de 2 cm; nombreuses concrétions ferrugineuses brun-rouge; nombreux pores tubulaires.
II.B2 à concrétions
- 70-100cm : rouge clair; argilo-sableux; graviers plus fins; noyaux résiduels de grès; massif; porosité tubulaire.
B.C
- 100 cm : grès ferritisé gris clair à taches rouges; argilo-sableux; massif, structure de ciment très cohérente.
C

La plupart de ces sols à concrétions sont réduits à une nappe de gravillons ferrugineux coiffés d'une pellicule colluviale sur les glacis relativement courts accrochés aux reliefs attribués au Continental Terminal de la région immédiatement à l'ouest de Zinder. Ils sont mieux conservés sur les pentes plus longues et faibles du Niger central, mais ont corrélativement acquis des caractères indubitables d'hydromorphie en profondeur :

Site de Souloulou (NE 13, dérive de Sarkaki)

Lat. : 13° 40' 53" N.
Long. : 6° 30' 53" E.
Cote : 337 m

Glacis subhorizontal. Pluviosité de 620 mm.

- Surface : croûte pluviale, décapée par places; rejets d'insectes.
- 0-10 cm : gris (10 YR 6/2); sableux; massif, débit horizontal facile; cohésion moyenne; porosité intersticielle très fine.
A.I
- 10-32 cm : beige (10 YR 6/4), avec des taches jaunâtres autour de pores; sablo-argileux; polyédrique (4-5 cm) en assemblage compact; cohésion forte; porosité tubulaire ($\emptyset = 0,5-1$ mm) bien développée.
A.2g
- 32-50 cm : beige à taches rouge clair (2,5 YR 6/6) de plus en plus distinctes vers la base; plus argileux; polyédrique (1-2 cm) en assemblage compact; des fissures verticales fines tous les 20-30 cm; cohésion forte à très forte; porosité semi-tubulaire médiocre.
B.I à taches
- Contraste fort, transition sur 1 cm.
- 50-97 cm : gris clair (7,5 YR 7,5/0); nombreux amas (0,5-1 cm) isodiamétriques ou verticalement étirés de mouchetures rouges durcies, avec halo glebulaire plus jaune; argileux; polyédrique (0,5 cm) à faces souvent lisses en assemblage modérément lâche; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire (0,25-0,5 mm) peu développée; les taches sont compactes.
B.2G à taches
- 97-120 cm : gris clair; mêmes amas; argileux; graviers de quartz et plaquettes de grès ferritisé; très nombreuses concrétions ferrugineuses mamelon-concrétions nées (1-2 cm) rouges, jaunâtres et noires; finement polyédrique; très compact.
II.B2G à concrétions

A la décoloration, à la gleyification de la matrice des horizons B.2, s'ajoute l'engorgement superficiel favorisé par la faiblesse de la pente et l'organisation du profil. Les sols à taches de la région de Takiéta (Niger oriental) sur des sites comparables, sont uniformément envahis par les marbrures diffuses du pseudogley et corrélativement moins décolorés que les précédents (horizon B.I 7,5 YR 5/5). Les concentrations ferrugineuses de l'horizon B.2 n'y sont que très modérément durcies. Ils peuvent présenter (NA 52) des niveaux squelettiques et décolorés au

milieu des horizons interprétés comme BC :

0-80 cm : profil A.1g - A.2g - B.2g à taches diffuses.

Transition linéaire.

80-137 cm : gris clair à taches diffuses rouges et jaunes; argilo-sableux; massif à débit polyédrique; cohésion excessive; quelques pores fins.
B.C

137-142 cm : sables particulières blancs hétérométriques, avec des graviers de quartz et des concrétions ferrugineuses.

142-160 cm : gris clair à taches jaunes et rouge vif; argilo-sableux à sables grossiers; très compact et dur.
C

On avait cru à l'origine que ce lit de sable était un ancien joint des grès. En fait il est identique par sa décoloration, sa très forte porosité due à la disparition totale du plasma et des sables les plus fins, la concentration des éléments les plus grossiers du squelette, la présence de concrétions, à la base des horizons A.2 des sols très fortement lessivés du Tchad et du Cameroun déjà cités. Dans ce profil, il indique au moins un fort lessivage latéral à ce niveau.

7.22

L e s s o l s h y d r o m o r p h e s
l e s s i v é s

Site de Tirmini (NA 35)

Lat. : 13° 44' 50" N.
Long. : 8° 40' 55" E.
Cote : 465 m.

Bas de glacis subhorizontal, cloisonné de dunes. Erosion en nappe forte et générale. Pluviosité de 530 mm.

Surface : fissures polygonales fines et croûte pluviale; zones décapées claires découpées en polygones concaves; grosses termitières à l'origine d'épandages stériles.

- 0-2 cm : sous une croûte noire d'algues desséchées, feuillets de 1-2 mm alternativement gris et ocres.
- 2-11 cm : gris (10 YR 5,5/2) à mouchetures ocres; sablo-argileux; prismatique (15 x 11 cm); sous-structure massive; cohésion forte; porosité fine et tubulaire; quelques agrotubules très poreuses. Quelques radicelles.
- A.1g
- 11-24 cm : beige (10 YR 6/3); taches diffuses gris clair ou ocres; sableux à sablo-argileux; plus riche en sables grossiers; des fissures fines tous les 15 cm; polyédrique en assemblage compact; porosité semi-tubulaire très développée; nombreuses racines et radicelles.
- A.21g
- 24-45 cm : brun jaunâtre clair (10 YR 6/3); mouchetures ocres; des sables très fins décolorés blancs dans les pores ou en saupoudrage; sableux; polyédrique (1 cm) en assemblage lâche; cohésion moyenne; horizon le plus poreux, par pores et assemblage; nombreuses racines.
- A.22g
- 45 cm : des concrétions (1,5 cm) noires mamelonnées; même squelette que ci-dessus.
- 47 ... cuirasse ferro-manganésifère; ciments brun-rouge et noirs; graviers et galets de quartz (1-6 cm, hérités des grès); structure feuilletée; matrice argileuse rose clair.
- II.B2 induré

Les sols les plus communs du Continental Hamadien sont ces profils à horizons sableux décimétriques, engorgés parce que reposant sur des horizons concrétionnés, localement cuirassés. Ils sont le terme final de l'évolution des anciens sols ferrugineux lessivés dont ils conservent l'organisation au niveau des horizons A, encore visible malgré le transit colluvial manifeste et les modifications structurales imposées par l'hydromorphie (structure prismatique). Le développement d'une forte porosité à la base des horizons A, la circulation de sables très fins décolorés y sont présents. Il est peu fréquent que ces matériaux résiduels soient remplacés par de véritables dépôts allochtones, tels ceux qui fossilisent les glacis situés au pied du massif du Koutous (Niger oriental). Sableux et sablo-argileux, ils donnent des profils polyphasés Ag - Cg - II B à concrétions et graviers. Des raies

ferrugineuses, des niveaux de sables grossiers lavés au contact de l'apport et du profil tronqué fossilisé, y démontrent la permanence des processus de lessivage et d'éluviation, responsables de l'uniformité morphologique des sols érodés.

L'hydromorphie prononcée, modifiant la répartition des hydroxydes sur tout le profil et la structure de surface, est associée à des dépôts de manganèse et surtout de carbonates de calcium postérieurs, du fait de leur localisation, à la formation des horizons concrétionnés. L'accumulation de carbonates est le plus souvent faible, réduite à quelques amas punctiformes localisés aux points de contact des cailloux et concrétions. Elle est due à l'évaporation d'une nappe temporaire en milieu grossièrement poreux, la source du calcium étant plutôt la roche que la couverture de sol dans son état actuel, car seule la première est saturée. Ce n'est pas un processus nouveau, se surimposant à une pédogenèse ferrugineuse à la suite d'une diminution de la pluviosité et du drainage, mais la modification d'un mécanisme ancien à l'origine de l'accumulation de carbonate des sols calcimorphes.

7.23

Les sols calcimorphes

Site de Kouroungoussa (ND 12)

Lat. : 13° 47' 3"N.
Long. : 7° 0' 13"E.
Cote : 374 m.

Glacis subhorizontal à aspect de plaine; plages circulaires (\emptyset = 10-20 m) nues et décapées entourées d'un cercle de buttes basses. Pluviosité de 550 mm.

a) - Profil de plage nue : sol calcimorphe

Surface : épandages de sables grossiers

0-13 cm : brun-jaune (10 YR 5/3), pauvre en matière organique; argilo-sableux; quelques grains calcaires (1 mm); structure cubique (1-10 cm)
A aplatie au sommet de l'horizon; surstructure prismatique (10 cm); sous-structure finement polyédrique à grenue bien développée; friable;

- porosité grossière, biologique, peu développée.
- 13-40 cm : brun-jaune plus clair; argilo-sableux; calcaire en amas et nodules (1 cm); polyédrique
 B.Ca I (0,5 cm); surstructure de même forme, localement prismatique; cohésion forte; porosité tubulaire plus développée.
- 40-73 cm : gris clair; argilo-sableux; accumulation de carbonates forte et diffuse ; quelques nodules calcaires irréguliers, noirâtres (1 cm); polyédrique fin (moins de 0,5 cm) en assemblage compact; cohésion forte; dur.
- 73-100 cm : bariolé de blanc, rouge et noir; argilo-sableux; également calcaire; très riche en concrétions ferrugineuses brun-rouge foncé et brun-jaune, à cortex noirâtre, fortement mamelonnées (1,5 cm au plus); matrice peu abondante; quelques graviers de quartz.
- 100-140 cm : blanc (10 YR 7,5) à mouchetures jaunâtres (10 YR 6/6) et noires; argileux; non calcaires; polyédrique en assemblage très compact; des graviers de quartz de plus en plus fins vers la base (5 mm).
- II B. Ca, Fe
- II B.C
- b) - Profil de butte périphérique : sol ferrugineux peu lessivé situé à 10 m du précédent (ND 13)
- 0-7 cm : beige (10 YR 6/4); sableux, non calcaire comme le reste du profil; massif, légèrement feuilleté au sommet; cohésion moyenne à faible; porosité intersticielle forte.
- A.I
- Contraste nul; transition très progressive.
- 7-43 cm : beige (10 YR 6/3); sableux; massif, débit moins régulier ("nuciforme"); cohésion plus forte; porosité semi-tubulaire (0,5 mm) bien développée.
- A.2
- 43-70 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5,5/6); sableux à sablo-argileux; massif à débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité de même type plus grossière.
- B.2

- 70-89 cm : même couleur, avec reticulum plus clair;
 B.C : même texture; débit moins irrégulier; co-
 durci : hésion très forte; porosité nettement ré-
 duite.
- 89-110 cm : jaune rougeâtre (5 YR 5,5/6) en moyenne;
 fonds brun-jaune à taches rouges et noires;
 II.B.Fe : argilo-sableux; concrétions très nombreu-
 ses, ferrugineuses, à centre brun-rouge
 (5 YR 4/4) et cortex foncé (2,5 YR 3/2),
 atteignant 3 cm; matrice peu abondante;
 sommet du banc net et faiblement festonné.
- 110-165 cm : comme dans le profil précédent (II B.C).

La finesse des agrégats les plus petits est due au calcium; la forme de la macrostructure, cubique et prismatique, ainsi que l'homogénéité de la couleur et de la texture sont celles de sols à argiles gonflantes. L'horizon à concrétions ferrugineuses et le matériau sous-jacent sont les mêmes que sous les sols ferrugineux lessivés. L'argile du matériau est différente de celle du sol, puisque la capacité d'échange de l'argile n'y est que de 25 milliéquivalents au lieu de 50 à 55. Cet ensemble de caractère est constant, que le profil soit situé aux pieds des glaciers à sols ferrugineux lessivés (NA 41) ou au milieu des plaines à sols calcimorphes dans lesquelles il s'associe soit à des sols hydromorphes lessivés, soit à des sols très sableux, ferrugineux peu lessivés (ND 13). Comme ils se répartissent le plus souvent par aires circulaires contiguës et stériles, nous les avons assimilés initialement à des termitières arasées où la concentration des carbonates, surtout de calcium, est possible du fait de l'évaporation de l'eau nécessaire à la vie des termites (WATSON, 1962). Cela n'expliquait pas le changement du type d'argile entre la roche altérée et le sol. Nous préférons actuellement les rapprocher des accumulations de calcaire et d'argiles gonflantes en forme de dômes observées dans les chaînes à sols ferrugineux lessivés de Nigéria et du Cameroun (GAVAUD, 1968). Leur déterminisme n'est pas encore connu mais nous supposons que ce sont des formes particulières des horizons et sols illuviaux smectitiques calcaires de ces catena. Les termitières s'y seraient alors localisées de préférence, pour des raisons de texture et d'humidité; on leur devrait les restes de galeries à enduits calcaires, les édifices épigés en cônes curbaissés, de hauteur médiocre mais fréquents,

des produits d'épandage stériles. L'origine limnique, admise pour des dépôts plus purement calcaires sur cuirasse du Sénégal (AUDRY, 1960) ne peut être retenue car rien d'autre n'indiquerait l'existence de lacs sur les glacis du Continental Hamadien. L'hypothèse d'une mosaïque de sols ferrugineux lessivés où les sols carbonatés se répartissaient en taches circulaires nous semble préférable. La destruction hydrique et éolienne des premiers aurait produit les sables à sols ferrugineux peu lessivés des bourrelets par le même processus à l'origine des nebka du Djermaganda, à une époque contemporaine de la mise en place de l'erg ancien dont l'évolution pédologique est identique.

7.3

ETUDE ANALYTIQUE

Dans les sols lessivés les taux d'argile sont minima en A.1, parfois en A.2, puis croissent jusqu'aux horizons concrétionnés où ils restent inférieurs à la fois à une limite générale de l'ordre de 35% et à ceux du matériau, cela en dépit de traits illuviaux manifestes (cutines de pores et d'agrégats) dans les horizons B. La fragmentation des quartz est une origine vraisemblable de l'augmentation des limons et des sables fins en surface, correspondant à la phase pulvérulente décolorée souvent notée à ce niveau. La matière organique est plus abondante dans les sols hydromorphes ou les sols ferrugineux à gley que dans les sols mieux drainés où elle varie entre 0,4 et 0,7% en A.1, alors que les taux peuvent dépasser 1% dans les premiers. Corrélativement les valeurs-limites des C/N sont respectivement de 12 et 15. Les taux diminuent rapidement, de plus de 50% à 20 cm de profondeur. L'acidité et la désaturation sont prononcées, les minima (pH de 4,8-5,1 pour les sols ferrugineux, de 4,7-6,0) se situant dans les horizons B, plus rarement en A.2. Le matériau étant saturé, aussi bien sous les profils qu'à grande profondeur (saturation de 90% et pH de 8 dans un grès du puits de Zaro-Zaro) il faut bien que ce soit le lessivage qui ait produit cet effet. Il est donc plus compréhensible de retrouver ces bases, où le calcium domine largement, dans les sols de bas de pente, hydromorphes et calcimorphes. La richesse en sodium de l'échantillon NA 424 (C) est unique; elle ne dépasse pas 0,04 méq dans nos autres prélèvements de roche. L'existence de sols sodiques accompagnent les sols calciques en bas

de chaîne est cependant plausible de ce fait sur le Continental Hamadien.

Les sols calcimorphes sont uniformément argileux ou argilo-sableux (jusqu'à 42% d'argile); la capacité d'échange y est plus de deux fois plus forte que sur les sols lessivés-appauvris (43-55 méq/100 g d'argile contre 20 à 25). La matière organique y est très rare (au plus 0,25%) et peut y faire presque totalement défaut, ce qui montre que la stérilité y est ancienne. Aucun des caractères mesurés ne permet d'expliquer cette dernière. Les taux de sodium sont relativement faibles, les pH modérément alcalins, toutes grandeurs bien au-dessous de ce que peut tolérer une végétation où les espèces sahéliennes, fort résistantes, sont nombreuses (*Commiphora africana*, *Acacia seyal*, *Cordia rothii*, etc..). La compacité du profil y est plutôt plus faible que sur les sols lessivés, et les réserves hydriques y sont évidemment plus fortes (200 mm/m contre au plus 170 mm/m à pF 3).

7.4

L'EVOLUTION DES SOLS DES GLACIS DU CONTINENTAL HAMADIEN

Les sols ferrugineux lessivés-appauvris de la toposéquence sont caractérisés par un niveau de concentration squelettique grossier, l'absence de terme très rubéfié, un concrétionnement extrêmement étendu sans être épais, l'apparition précoce de l'hydromorphie de profondeur, la concentration locale des bases dans des sols illuviaux calcaires à argiles gonflantes vraisemblablement néogénétiques. L'amenuisement des horizons meubles de la chaîne s'est accentué lors de la période de mise en place de l'erg ancien pendant laquelle leurs sables se sont accumulés sur les bourrelets des brousses annelées. L'hydromorphie, la mobilité de l'argile et des sesquioxydes de fer, l'accumulation du carbonate de calcium sont encore perceptibles dans les sols de zones basses, résiduels ou d'apport.

8. LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVÉS
APPAUVRIS HYDROMORPHES SUR
ALLUVIONS ISSUS DE GRÈS
(Ct.3, Crétacé)

8.1 CARACTÈRES LOCAUX DU MODÈLE ET DE LA RÉPARTITION
DES SOLS

Des sols lessivés très décolorés occupent les fonds aplanis de petites vallées débouchant au niveau du remblai supérieur sur la rive gauche du Niger de Koulou à Gaya (pluviosité de 850 à 870 mm). Elles entaillent la base du Continental Terminal et les formations sous-jacentes : gneiss dahoméens kaolinisés jusqu'à Tenda, grès de Kandi plus au sud. Elles sont dominées par des buttes témoins, restes du haut versant (M.I) et de la haute terrasse cuirassée, montrant des formations détritiques quaternaires grossières : cailloutis et poudingues, grès rouges à quartz anguleux, cuirasses conglomératiques. Les alluvions diffèrent selon leur origine. Les sables assez fins argileux de la vallée de Tenda sont issus du Continental Terminal. Les sables grossiers à quartz anguleux de la vallée de Sia proviennent des dépôts quaternaires anciens. Ils recouvrent une nappe de graviers et galets fossilisant les gneiss kaolinisés. Un matériel comparable colmate de petits axes de drainage au sud de Gaya où il dérive des grès crétacés. En hivernage, une nappe temporaire sous-alluviale baigne la base des profils.

Site de Sia (NK 24, série de Sia)

Lat. : 12° 03' 30" N.
 Long. : 3° 18' 20" E.
 Cote : 192 m

Fond plat de vallée; jachère à réserve d'arbres. Pluviosité de 870 mm.

Surface : billonnée, à croûte pluviale et épandages de sables grossiers.

0-12 cm : gris-brun (10 YR 5/2); grossièrement sableux; A.lp massif, débit régulier; cohésion moyenne à forte; quelques pores tubulaires.

Contraste fort; transition linéaire.

12-42 cm : beige (10 YR 6/4); grossièrement sablo-argileux; massif, débit polyédrique; cohésion forte; excessivement dur; fine porosité semi-tubulaire très développée. A.2

42-78 cm : jaune clair (10 YR 7/4); larges taches, ou B.21 à taches organisées en un reticulum à larges mailles (5 cm) à fort contraste et limites nettes, très légèrement durcies; argilo-sableux; massif à débit polyédrique; cohésion très forte; porosité tubulaire fine peu développée.

78-110 cm : jaune clair (10 YR 7/4); taches rouges (2,5 YR 4/6) à centre noir durcies et anastomosées; II B.22 à graviers de quartz (5 mm) dans un emballage concrétions argileux peu abondant; massif; cohésion excessive; compact en dehors de quelques pores tubulaires (5 mm); nappe en hivernage.

La teinte générale très claire, la faible profondeur de l'horizon à taches, le durcissement de l'horizon A.2, l'abondance des ciments manganésifères à la base du profil, sont dus à un mauvais drainage interne dont les variations sont responsables des principales différences

observées dans cet ensemble, par ailleurs fort homogène : ségrégations ferrugineuses dans l'horizon A.2, décoloration complète de la matrice des concrétions (blanc 10 YR 7/1) ferritisation par la nappe produisant de gros nodules d'aspect spongieux. Ces derniers diffèrent cependant assez peu des concentrations propres aux sols ferrugineux lessivés et sont éloignés des concrétions de nappe des sols du Djermaganda. L'engorgement est donc ici plutôt une conséquence de la différenciation pédologique, accentuée par la topographie, qu'un facteur externe d'évolution. Cette interprétation se fonde également sur le fait que dans les sols envahis par une nappe en profondeur, l'horizon B.I peut être rubéfié s'il se trouve suffisamment éloigné de la frange capillaire, alors que la gleyfication tend à affecter l'ensemble des profils dont la compacité est à l'origine du confinement de l'eau. Autrement dit, le concrétionnement des sols de Sia est dû à un engorgement temporaire d'ensemble, accentué en profondeur, alors que celui des sols du Djermaganda fut provoqué par un engorgement permanent de profondeur.

8.3 PROPRIETES ANALYTIQUES

Elles ne diffèrent de celles des sols ferrugineux lessivés sur grès argileux (Ct.3) situés à la même latitude (Séries du Samberra) que par des taux de matière organique légèrement plus élevés : 0,75% dans l'horizon A.I avec un C/N de 15.

9. LES SOLS FERRUGINEUX
LESSIVES - APPAUVRIS SUR GRÈS -
QUARTZITES

9.1 LES FACTEURS LOCAUX D'EVOLUTION

Les barres de grès-quartzites voltaïens de la région du W sont les témoins d'un relief différentiel fossilisé par les grès continentaux (Ct.3) qui ont remblayé des dépressions parallèles creusées dans des schistes. L'érosion à l'origine du haut modelé (M.I) les a exhumés et tronqués à leur sommet par un long glacis cuirassé aux pentes faibles (0,4 à 0,8%) inclinés de la surface supérieure sur Continental Terminal vers le Niger et ses affluents (Mekrou, Tapoa). Ces rivières les ont ensuite difficilement entaillés en corniches hautes de 10 à 30 mètres. Leurs sommets, tabulaires, portent des sols régiques à faciès ferrugineux gravillonnaires et des sols hydromorphes sur cuirasse (Bowé). Leurs versants, soumis à une désagrégation granulaire et à une altération appréciables, portent une couverture autochtone dont l'épaisseur et la différenciation s'accroissent vers les bas de pente. Aux lithosols des escarpements et des pentes les plus raides, succèdent des sols régiques à faciès ferrugineux, épais de quelques décimètres dès que la pente atteint 2%, puis des sols ferrugineux lessivés à taches et concrétions à pseudogley de profondeur. Des sols hydromorphes se développent sur d'étroits flats alluviaux.

Avec une pluviosité de l'ordre de 800 mm, la végétation est floristiquement très pauvre et médiocrement développée. La formation la plus répandue est une savane arborée où se mêlent le Combretum nigricans des sols acides, le

Terminalia avicennoides des sols sableux, le Burkea des lithosols.

9.2

ETUDE MORPHOLOGIQUE

Site de Mekrou Tondikware

Lat. : 12° 19' 0" N.

Long. : 2° 29' 30" E.

Cote : 235 à 225 m

Toposéquence le long d'un versant; pluviosité de 815 mm.

a) - Sol régique ferrugineux (NL 47)

Site : sommet du versant; pentes de 2%; près d'affleurements de grès-quartzites redressés.

Surface : 1 cm de sables ruisselés..

0-8 cm : brun foncé (10 YR 3/4); sablo-argileux; massif; porosité intersticielle et tubulaire
A.I bien développée; enracinement fin et fasciculé.

8-15 cm : brun (7,5 YR 3,5/3); plus argileux; massif à
A.2 débit irrégulier; porosité plus forte; moins de racines.

15-24 cm : brun-jaune légèrement rougeâtre (7,5 YR 4/4);
B argilo-sableux; des fragments de grès-quartzite altéré; friables, principalement formés de sables grossiers; massif; débit irrégulier; porosité semi-tubulaire; des cutines argileuses de vides.

24-33 cm : plus clair et jaune; très nombreux fragments
B.C de grès altérés ferruginisés en rouge (2,5 YR 4/8) et rouge violacé (5 R 2/5) à cortex jaune, disposés en écailles de desquamation (1 cm) sur la roche, séparés par un emballage un peu plus argileux que ci-dessus, plus compact; enracinement abondant.

Du profil à la roche nue, la couverture meuble s'amenuise en biseau sur une dizaine de mètres en montrant une différenciation croissante d'amont en aval :

- épaisseur de 5 cm : profil A-R; un seul horizon brun humifère;
- épaisseur de 7 cm : profil A-BC; un horizon brun et un horizon brun-jaune;
- épaisseur de 13 cm : profil A-B-BC; un horizon brun, un horizon légèrement rougi, un horizon mince plus jaune;
- épaisseur de 30 cm : profil A.I-A.2-B-BC comme ci-dessus.

b) - Sol ferrugineux lessivé à concrétions, avec pseudogley de profondeur (NL 45)

Site : mi-pente du versant; pente 1%;

Surface : croûte grise à algues et sables grossiers; termitières de grande taille; pendant la première et forte tornade (90 mm) de l'hivernage 1964, on a observé un fort ruissellement en nappe mais aucun transport solide, sans doute à cause de la croûte organique superficielle.

0-14 cm : brun foncé (10 YR 3/3,5); sableux; mottes mamelonnées (2-3 cm) en assemblage compact; A.I porosité intersticielle et semi-tubulaire bien développée, nombreuses racines.

Contraste fort; transition linéaire.

14-27 cm : brun-jaune foncé (7,5 YR 3,5/4); sableux; A.2I débit fortement mamelonné; porosité semi-tubulaire développée.

Contraste faible; transition linéaire.

27-37 cm : brun-jaune (7,5 YR 4,5/4); sablo-argileux; même structure; porosité plus réduite et passant au type tubulaire à cause de la réduction du drainage interne due au B sous-jacent; racines toujours nombreuses.

Contraste fort; transition sur 3 cm.

37-52 cm : jaune-brun (7,5 YR 5/5); des zones décolorées autour des racines; de très nombreuses taches (2-3 mm) rouges (5 YR 5/8) en amas (2-3 cm); sablo-argileux à argilo-sableux; polyédrique en assemblage compact (3-4 cm); porosité un peu plus faible que ci-dessus; racines moins nombreuses et décroissant vers la base du profil.

Contraste très faible; transition diffuse.

52-115 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6); zones décolorées plus étendues; taches rouges (2-10 mm) légèrement durcies (concrétions tendres) en amas (10 cm) verticaux; argilo-sableux; polyédrique (4-5 cm) en assemblage compact; porosité plus faible, surtout tubulaire, n'affectant que 50% du volume total.

Contraste fort; transition sur 5 cm.

115-130 cm : jaune rougeâtre clair (7,5 YR 6/5); zones B.23g à décolorées; concrétions rouge vif (2,5 YR 4/8) sans cortex (1 cm); argilo-sableux; plus finement polyédrique.

130 cm ... blocs de grès-quartzite blanc anguleux; cortex B.C (1 cm) ferruginisé rouge (2,5 YR 4/8); emballage argilo-sableux jaune rougeâtre.

c) - Sol hydromorphe minéral à gley (NL 46)

Site : petite cuvette alluviale coincée entre des barres de grès, entourée de sols régiques.

Surface : termitières champignons noirs.

0-5 cm : noir (10 YR 2/2); taches rouille le long des racines; argilo-sableux; grumeleux (racines de vétivers) et poreux.

Contraste moyen; transition linéaire.

5-25 cm : brun grisâtre foncé (10 YR 3/1,5); cutines brun-jaune dans les pores; argilo-sableux; massif; porosité tubulaire ($\emptyset = 1-2$ mm).

Contraste moyen; transition sur 4 cm.

25-60 cm : gris-beige (10 YR 4/2); taches linéaires
ocres très nombreuses; argilo-sableux; po-
G.II lyédrique en assemblage compact; moins po-
reux.

Contraste très faible; transition diffuse.

60-80 cm : gris-beige à taches rougeâtres (5 YR 4/6)
groupées en amas. taches brun-jaune le long
G.12 à de pores ou sur des faces d'agrégats: polyé-
taches drique (1-2 cm) en assemblage très compact;
très peu poreux.

Le ciment de la roche n'est pas entièrement siliceux mais est localement argileux. Outre le quartz recristallisé, elle renferme des minéraux ferro-magnésiens (amphibole, disthène) altérés et quelques feldspath kaolinisés ou séricitisés. L'altération en est donc possible. Cependant le produit de désagrégation est un sable grossier peu argileux différent de l'argile sableuse qui est à la base des sols ferrugineux. L'altération et l'enrichissement en argile vont donc de pair, ce qui fait qu'il n'y a pas à proprement parler de matériau mais un horizon B se formant dans la zone d'altération. Les horizons A et B sont physiquement identiques tout le long de la toposéquence, mais les premiers s'accroissent moins vite que les seconds vers le bas de pente. Leur volume est donc plus faible que celui qui rendrait compte de l'enrichissement par lessivage des seconds, sans doute du fait de leur érosion. Toute la toposéquence draine assez mal; la rubéfaction apparaît tôt mais est peu prononcée; les taches ferrugineuses, les zones réduites envahissent toute l'épaisseur des horizons B. Le sol hydromorphe n'est pas lessivé; plus argileux, il évolue sur un matériau différent de celui des sols ferrugineux. L'engorgement de surface est responsable de l'aspect très particulier des horizons de surface, alors que les horizons profonds convergent vers ceux des sols lessivés-appauvris.

La communauté d'origine du matériau est vérifiée par l'identité des sables de la toposéquence, à granulométrie bi-modale, le mode grossier l'emportant sur le mode fin (0,38 et 0,076 mm). Le profil textural, croissant rapidement de A en B puis plus lentement jusqu'à la base, est caractéristique de la combinaison du lessivage et de l'éluviation superficielle différentielle. Le matériau des sols hydromorphes, à granulométrie entièrement décalée vers les fines, peut être considéré comme une accumulation de la phase exportée superficiellement des horizons A. Les taux d'oxydes de fer varient de façon à-peu-près parallèle. En particulier ils ne croissent pas par rapport à l'argile dans les horizons à taches et concrétions, ce qui montre que ces dernières se sont formées par concentration du fer de la matrice, sans apport extérieur. L'augmentation du rapport du fer libre au fer total en surface peut s'expliquer par la présence de minéraux ferrifères dans le squelette. Toujours par rapport à l'argile, le sol hydromorphe est nettement plus pauvre en fer que les sols ferrugineux, quel que soit l'horizon de référence. Nous attribuons cette propriété à la gleyfication.

L'acidité et la désaturation héritées du matériau sont étonnamment fortes. Comme la capacité d'échange de l'argile est basse (15 à 22 méq) la somme des bases échangeables tombe à des valeurs aussi faibles que 0,4 en profondeur. L'effet d'accumulation par la végétation dans les horizons A est par contraste extrêmement net et porte surtout sur le calcium. Les quantités mises en jeu sont petites, de moins de 2 méq, mais elles suffisent à faire remonter le coefficient de saturation à 70-80% en surface.

La matière organique est peu abondante et plus décomposée que dans la majorité des sols ferrugineux lessivés de la même latitude.

Conclusions

Les caractères de sols lessivés-appauvris apparaissent très tôt et avec beaucoup de netteté dans cette toposéquence que pour ces raisons on peut tenir pour climatique. Le matériau en est encore kaolinique et

excessivement désaturé. L'imperméabilité de la roche y favorise l'hydromorphie des horizons Bet en diminue la rubéfaction. Sa pauvreté chimique y limite la végétation qui ne trouve de conditions favorables que dans les horizons de surface dont elle a constitué elle-même les réserves minérales.

10. C O N C L U S I O N S

10.1 NATURE ET DEVELOPPEMENT DES SOLS FERRUGINEUX

LESSIVES -APPAUVRIS

Ils se situent plus souvent sur des toposéquences à termes indépendants que sur des chaînes. La conséquence en est que certaines morphologies peuvent s'étendre à tout un paysage grâce à une topographie ou à un matériau déterminés. La plus commune est celle des sols ferrugineux à concrétions :

A.I - A.2 - B.I (couleur) - B.2 (taches et concrétions) - B.C - C ou R (kaoliniques).

Les taux minima d'argile y sont en A.I, parfois en A.2. Les maxima se situent à la base même du profil, plus rarement dans les horizons B.2 bien que les traits illuviaux y soient communs. Ils n'excèdent que rarement la valeur de 35% et sont proches de ceux du matériau. Leurs rapports sont de 2,1 à 5,1 (médiane 3,5) avec les taux en A.I, de 0,8 à 1,4 avec les taux en C. Cette répartition signifie que l'éluviation de l'argile hors des horizons A ou de l'ensemble du profil est plus importante que l'illuviation dans les horizons B (Ct.2) ou encore que l'illuviation maximum se situe dans le

matériau lui-même (Voltaïen). Les limons, les sables très fins peuvent également migrer; ils forment des revêtements dans les horizons A et B.I des sols les plus appauvris, les plus squelettiques. Les variations du fer sont grossièrement parallèles à celles de l'argile. En surface la présence de minéraux dans le squelette peut diminuer la proportion de fer libre, associé à l'argile dans sa migration. En profondeur la nodulation croît parallèlement à l'augmentation de la compacité. Elle est due à une concentration des hydroxydes goéthitiques de la matrice. A ses premiers stades, elle est indépendante d'un enrichissement en fer par rapport aux horizons simplement rubéfiés ou par rapport au matériau; le rapport à l'argile varie alors de 8 à 13%, les nodules étant au stade de taches durcies. Elle atteint ensuite par degrés le niveau d'accumulation des cuirasses, où ce rapport dépasse 100.

Le lessivage des bases et leur accumulation en bas de chaîne n'ont pu être constatés que sur les grès du Continental Hamadien, les seuls à être kaoliniques et saturés. Ordinairement, la désaturation est héritée et la répartition verticale des bases et des grandeurs corrélées (pH, saturation) est fonction de deux faits antagonistes, la concentration superficielle des cations par la végétation, le profil textural. L'horizon le plus dépourvu est souvent, de ce fait, le A.2; le plus riche est l'horizon A.I, sur matériau très pauvre (Voltaïen), l'horizon B.2 sur matériau mieux pourvu (kaolins). Les pH les plus élevés en surface ont été observés sous végétation dense de savane boisée où ils atteignent 7, les plus faibles sur des sols nus et tronqués sahéliens où ils descendent à 4,3. Ils sont uniformément bas en profondeur :

pH

horizon A.I	4,5 à 7, médiane 5,5
horizon B.2	4,2 à 5,9, médiane 5,0
horizon C	4,4 à 6,0; 7 dans le Continental Hamadien

saturation

horizon A.I	29 à 89, médiane 55
horizon A.2	26 à 80, médiane 42; 9 sur Voltaïen
horizon C	31 à 63; 100 sur Continental Hamadien

La cimentation à l'état sec ne résiste pas à l'humectation. L'absence d'agrégats stables, la dispersibilité de l'argile sont des caractères constants. La porosité ne

dépasse 40% en volume que dans les horizons A.2 où la faune tend à se réfugier, surtout en zone sahélienne.

L'amélioration du drainage interne dû à la position sur la toposéquence se traduit par une rubéfaction plus prononcée de l'horizon B.I qui atteint les rouges 5 YR. Sur certains matériaux, tels que les grès du Niger moyen, les lithomarges rubéfiées de cuirasses, elle s'accroît jusqu'à produire les rouges 2,5 YR et à faire disparaître les nodules ferrugineux. L'extrême de cette tendance qui a produit les sols ferrugineux rubéfiés :

A.I - A.2 - B.2 (couleur, souvent texture) - B.C a vraisemblablement abouti aux sols ferrallitiques de Gaya.

Les effets de la diminution du drainage apparaissent cependant plus facilement car ils sont la conséquence de l'évolution du type morphologique dominant. La nodulation elle-même peut en effet être attribuée à un engorgement temporaire et local qui pourra se généraliser aux niveaux dont la porosité et la perméabilité sont réduites (base du B.2, horizon A.I) ou qui drainent mal du fait de leur situation (contact A.2/B). En surface, on constatera l'apparition de ségrégations ferrugineuses diffuses (marbrures) ou associées à des pores dont la périphérie peut également être décolorée; à l'extrême une structure prismatique ou tout autre structure de retrait apparaîtra. En profondeur la matrice des horizons B jaunira, se décolorera ou se couvrira de marbrures. Le confinement de l'eau du sol y produira une nappe temporaire susceptible de modifier la forme du concrétionnement et de l'enrichir en ciments manganésifères. Parfois ce sera une nappe en quelque sorte externe au développement de la toposéquence qui envahira la base des sols les plus bas; on la reconnaîtra à ce que la partie supérieure des profils n'en sera pas modifiée, à ce que le concrétionnement ne sera plus guidé par la structure mais aura son dynamisme propre. Dans le détail, les combinaisons du pseudogley (g, ségrégations) et du gley (G, décoloration et éluviation du fer) sont diverses :

A.I - A.2 - B.2g, avec disparition du B.I (Voltaïen)
A.Ig - A.2g - B.I - B.2G (Continental Hamadien).

Les sols hydromorphes non lessivés, à profil Ag - Cg ou AG - CG, associés aux précédents se développent en général sur des alluvions récentes ou actuelles. Ils n'ont de commun que l'acidité avec les sols ferrugineux. Les

sols calcimorphes du Niger oriental, dont la position topographique est la même, forment une remarquable exception car ils sont les termes illuviaux carbonatés de la chaîne.

L'éluviation latérale peut s'accroître à la base de l'horizon A.2, parfois même dans certains niveaux des horizons B. Elle y concentre les éléments squelettiques grossiers et produit des sols très fortement lessivés de type A.1 - A.2 - AB à concrétions - C, ou A.1 - A.2 grossier - C. Le niveau graveleux situé à la base de la plupart des sols ferrugineux lessivés trouve là son origine la plus générale, les modalités de l'érosion superficielle lui conférant ensuite des caractères de dépôt allochtone ou remanié : apports de gravillons ou de fragments de roche, arrangement en pavage ou en reg. Il fixe le concrétionnement et limite les possibilités d'approfondissement. Ainsi les sols les plus différenciés sur granites ont des épaisseurs comprises entre 45 et 150 cm, plus faibles que sur argiles gréseuses où elles varient de 120 à 200 cm, cela parce que la fourniture de débris résistants est plus importante dans un cas que dans l'autre.

L'organisation et les principales propriétés analytiques des sols ferrugineux lessivés sont indépendantes de la situation en latitude. Les variations attribuables à la pluviosité sont :

- la réduction d'épaisseur des horizons A et B qui, vers le nord, passent respectivement de 70 à 45 cm et de 120 à 45 cm;
- l'apparition de sols bruns, toujours acides et lessivés, en sites sahéliens mal drainés;
- la diminution des taux de matières organiques et des rapports C/N qui, respectivement inférieurs à 0,30% et 12 à moins de 450 mm de pluviosité, atteignent 1% et 15 dès 700 m.

Les taux de carbone décroissent d'autant moins vite qu'ils sont plus faibles, si bien que les sols ferrugineux lessivés les plus septentrionaux ont un profil organique de type subaride. La compatibilité de ce caractère avec l'acidité, la morphologie de sol lessivé sont démontrées par l'existence de types méridionaux à matière organique abondante et bien décomposée. A 800mm, le C/N

n'est que de 10, par exemple, sur Voltaïen.

10.2

EVOLUTION

La toposéquence à sols ferrugineux lessivés permet de relier entre eux tous les sols sur matériaux kaoliniques du Niger. L'accroissement du drainage interne y produit les sols ferrallitiques, celui de la nodulation les sols indurés. Le cuirassement lui a été évité sur le bas modelé (M.3) à cause de la diminution de la circulation de l'eau dans la chaîne, donc à la suite d'une réduction de la pluviosité. Sur l'ensemble des versants gréseux, le même effet a été produit par la forte extension des terres rubéfiées.

Des cas particuliers permettent d'isoler quelques mécanismes d'un complexe d'évolution dont l'agencement n'est connu que globalement. Ce sont le lessivage et l'illuviation de l'argile et du fer, leur éluviation latérale, la nodulation ferrugineuse accompagnée ou non de ferritisation, l'érosion superficielle lente, cette dernière conçue comme une conséquence de l'organisation du profil. Ils sont une conséquence de la mobilité du plasma par rapport au squelette et du fer par rapport à l'argile. Leur permanence tout au long de l'histoire des sols ferrugineux est une conséquence de leur stabilité vis-à-vis des variations climatiques dans le temps et dans l'espace.

Le passage graduel des sols en place aux sols sur nappe graveleuse est une évolution normale qui n'implique pas de variation pédoclimatique importante. Elle a été accélérée pendant une période sèche qui a vu la mise en place d'abord de colluvions épaisses (Djermaganda) de sables éoliens ensuite, l'évolution des premières ayant vraisemblablement commencé avant la mise en place des seconds. Les dunes ont commencé leur édification par l'accumulation des sables des horizons éluviaux locaux. Sur ces nouveaux matériaux, la même pédogenèse s'est installée à ceci près que la nodulation ne s'y est produite qu'où existait une nappe phréatique, même lorsque la texture était suffisamment argileuse. Cela a été observé jusqu'à l'isohyète 700 mm, alors qu'à 800 mm des produits d'altération apparemment actuels sont

concrétionnés. En région sahélienne, des vicissitudes climatiques mineures ont entraîné un déséquilibre entre la végétation et les sols qui s'est traduit par des crises érosives à la suite des défrichements. Des matériaux d'apport identiques aux précédents mais en volume très limité ont pu se mettre en place : sables de nebka fossilisant les horizons concrétionnés, colluvions et proluvions. Les plus perméables d'entre eux évoluent en sols ferrugineux jeunes de type A-C à raies. Cette esquisse historique résumée dans le tableau ci-dessous permet de préciser l'influence de la position en latitude sur l'évolution des sols ferrugineux lessivés. La diminution de la pluviosité a réduit l'épaisseur des sols les plus anciens, empêché la nodulation des sols les plus récents. La proximité de l'aire désertique ou sa présence ont accru l'importance et la variété des dépôts et par là, multiplié les faciès juvéniles. Il est plus hasardeux d'en tirer des conclusions quant à la tendance climatique des périodes de formation des sols parce que les moins différenciés sont aussi fort récents. L'existence en zone sahélienne de sols lessivés non concrétionnés sur colluvions pourrait indiquer un dessèchement par rapport à la période antérieure à la mise en place des dunes. Dans le sud, rien ne permet de distinguer la pédogenèse actuelle de ce qu'elle fût.

10.3 CLASSIFICATIONS

10.31 Classification régionale

Les mots ferrugineux et lessivés conviennent fort bien à cet ensemble dont ils nomment les processus fondamentaux. On peut, provisoirement, y adjoindre le terme d'appauvri qui rappelle à la fois qu'on ne sait pas tout de cette pédogenèse et que les remaniements mécaniques y sont importants. Cette mention est commode mais n'est pas absolument rigoureuse puisqu'elle indique un processus subordonné.

L'illuviation et le concrétionnement modifiant au premier chef le drainage du sol, il paraît logique de faire une première division fondée sur la nature et l'évolution prévisible de ce dernier. Trois ensembles apparaissent :

- les sols rubéfiés où la compacité des horizons B ne peut atteindre un niveau suffisant pour limiter le drainage;
- les sols où cet effet se produit en effaçant, au premier stade, la rubéfaction de la base des horizons B;
- les sols à forte éluviation latérale, à profil A-C.

Le second ensemble peut être subdivisé à son tour selon la suite évolutive classique : sols sans taches ni concrétions, sols à taches et concrétions, sols indurés. En troisième rang, viennent les manifestations de l'hydromorphie, soit :

- le pseudogley de surface ou d'ensemble
- le gley de profondeur
- le concrétionnement de nappe
- le brunissement en zone sahélienne (type sans taches)

A ce niveau, nous situons l'accumulation de carbonates en profondeur qui se limite le plus souvent aux sols du deuxième groupe, mais est possible dans les sols rubéfiés. Au quatrième rang, se place l'effet latitudinal où l'on se borne à isoler les sols sahéliens en choisissant des paramètres d'épaisseur et de taux de matière organique de telle sorte que la limite coïncide arbitrairement avec l'isohyète 450 mm. Vient ensuite le matériau, défini par la minéralogie des argiles, son degré de saturation, sa texture, son origine. On indique enfin le degré d'érosion. L'âge est implicitement défini par l'origine du matériau. Il ne convient pas de lui donner une importance plus grande, car on ne peut tenir pour inactuelle que la seule nodulation en zone sahélienne, et encore avec doute. De même le matériau, et le degré d'érosion définissent le remaniement du profil. On ne peut donner à ce dernier de rang plus élevé car nous avons souvent observé que le type de développement en était indépendant; on placerait ainsi des profils identiques dans des unités différentes.

10.32 Classification
de 1965

Le groupe des sols ferrugineux lessivés est formé du sous-groupe des sols sans concrétions, qui regroupe les sols rubéfiés et certains sols à drainage ralenti en profondeur, du sous-groupe à concrétions, du sous-groupe induré, du sous-groupe hydromorphe à taches et concrétions de pseudogley au sommet de B et souvent aussi à la base de A. Nous avons renoncé à cette dernière distinction parce que la nodulation implique toujours un certain degré d'hydromorphie, précisément celle du pseudogley, dont il est difficile de préciser les variations qui peuvent modifier le concrétionnement. Nous n'avons retenu pour le définir que certains types de taches, de décolorations, qui n'apparaissent que dans un nombre limité de sols. Un type de concrétionnement aberrant a été attribué à l'action d'une nappe, il échappe à la fois aux définitions du gley et du pseudogley.

10.33 Projet de classification
de R. Fauck (1968)

Outre un groupe de sols ferrugineux lessivés-appauvris qui se confond avec les unités de classification de 1965, il introduit un groupe de sols ferrugineux tropicaux remaniés :

"sols dans lesquels les remaniements sont une des causes essentielles de différenciation des profils, les horizons A et B (partiellement) étant différenciés sur des matériaux polyphasés, à l'exclusion des profils différenciés entièrement dans des remaniements homogènes recouvrant d'autres matériaux".

Nous avons effectivement observé au Niger quelques profils où la succession des textures était celle des phases d'un matériel complexe : sur kaolins remaniés recouverts de sables ruisselés, sur sols tronqués fossilisés par des nekka. Mais dans les profils évolués, même si une telle stratigraphie existait à l'origine, on ne peut prendre en considération à un niveau élevé

que les processus responsables de la convergence des profils vers les mêmes types, quelle que soit l'origine du matériau. Dans les sols jeunes, les premiers mécanismes observés sont ceux de sols ferrugineux et ne paraissent en rien modifiés par le fait même du remaniement. L'érosion superficielle ne peut être non plus tenue pour un facteur de différenciation de premier rang tout simplement parce que si les sols lessivés s'érodent facilement, tous les sols soumis à un fort décapage ne possèdent pas d'horizons lessivés ou appauvris. Les remaniements sont donc au Niger un facteur subordonné intervenant au niveau du matériau, du type ou de la phase.

11.

R E F E R E N C E S

C A R T O G R A P H I Q U E S

Elles sont classées selon le sol dominant.

Sols Ferrugineux Lessivés rubéfiés

Les sols ferrugineux lessivés faiblement différenciés sur mélange de sables éoliens et de produits issus de grès argileux (Ct.3). Association à sols régiques et à sols ferrugineux peu lessivés

Feuille Niamey

Sols Ferrugineux Lessivés sans taches ni concrétions

Les sols ferrugineux lessivés faiblement différenciés sur sables argileux (Ct.3). Série de Badifa

Feuille Niamey

Sols Ferrugineux Lessivés à taches et concrétions

Les sols ferrugineux lessivés faiblement différenciés sur sables argileux (Ct.3). Série de Kirtachi

Feuille Niamey

Les sols ferrugineux lessivés à concrétions sur matériau argilo-sableux (granites). Série de Boulkagou

Feuille Niamey

Sols à horizon graveleux en profondeur

Les sols ferrugineux lessivés à concrétions sur matériau argilo-sableux (granites). Association à sols ferrugineux jeunes érodés, à sols gravillonnaires, à lithosols sur cuirasse, à sols ferrugineux peu lessivés

Feuille Niamey

Les sols régiques à faciès ferrugineux sur colluvions hétérogènes (granites). Association à sols hydromorphes, sols gravillonnaires, cuirasses

Feuille Niamey

Séries sahéliennes

Les sols ferrugineux lessivés à concrétions sur grès argileux

Association à régosols

Feuille Maradi

Association à régosols et sols régiques

Feuille Niamey

Sols Ferrugineux Lessivés à taches et concrétions hydromorphes à pseudogley

Les sols régiques à faciès ferrugineux sur colluvions argilo-sableuses (grès-quartzites voltaïens). Association à sols hydromorphes, sols gravillonnaires, sols ferrugineux lessivés, lithosols

Feuille Niamey

à pseudogley et gley

Les sols ferrugineux lessivés à pseudogley sur sables argileux. Série de Sia. Association à sols ferrugineux peu lessivés

Feuille Niamey

à gley de profondeur

Les sols à pseudogley sur placage argilo-sableux issu des grès maestrichtiens.
Série de Sarkaki

Feuille Maradi

à concrétionnement de nappe

Les sols ferrugineux lessivés faiblement différenciés sur sables argileux.
Série de Siwili, avec sols régiques

Feuille Niamey

Sols Ferrugineux Lessivés à taches et concrétions hydromorphes avec accumulation de carbonates et argiles gonflantes en bas de chaîne

Sols à pseudogley de surface, à taches et concrétions, à caractères hérités de sols ferrugineux tropicaux lessivés, sur grès argileux, en association avec des lithosols et des paléosols érodés

Feuille Zinder

Association à sols à accumulation calcaire et à sols ferrugineux peu lessivés

Feuille Maradi

Unités de transition entre sols ferrugineux lessivés et sols ferrugineux peu lessivés

Sols ferrugineux peu lessivés sur formation sableuse du moyen Niger. Toposéquence des vallées. Association à sols ferrugineux lessivés, sols à pseudogley, sols bruts d'apport, sur roches argileuses, et sols régiques sur sables éoliens (Djermaganda)

Feuille Niamey

Sols ferrugineux peu lessivés sur formation sableuse du moyen Niger. Série de Samberra. Association à sols gravillonnaires et sols ferrugineux lessivés sur grès argileux (Samberra)

Feuille Niamey

Chapitre VII

LES SOLS BRUNS
EUTROPHES, LES SOLS BRUNS
SUBARIDES DE GLACIS, LES
VERTISOLS LITHOMORPHES ou
LES TOPOSEQUENCES
SUR MATERIAUX A ARGILES
GONFLANTES CALCIQUES

VII

1. G E N E R A L I T E S

1.1 D E F I N I T I O N D E L ' U N I T E

Elle regroupe des profils A (B) C saturés ou proches de la saturation. Le développement pédique, important, est caractérisé par des formes polysphériques (1) en A, polyédriques à faces peu nombreuses et faiblement rentrantes, cubiques et prismatiques en A et B, verticales, c'est-à-dire en coins ou en plaquettes obliques avec faces de glissement en B. Les textures ne sont jamais sableuses, le plus souvent argilo-sableuses ou argileuses. Une partie au moins des argiles est formée de smectites. Les horizons A sont bruns et ne sont qu'exceptionnellement appauvris. Les horizons B sont bruns sur toute la toposéquence ou seulement dans sa partie inférieure, les sols de haut de pente étant alors rubéfiés. Ils renferment souvent des accumulations de carbonate de calcium en amas friables ou en nodules, des concrétions ferrugineuses et manganésifères très rondes et petites. Ils ne sont ni salins, ni

(1) polysphérique : forme limitée à la fois par des faces planes et par des faces courbes (BREWER, 1964).

alcalisés mais peuvent contenir du gypse hérité. Des horizons de pseudogley discret peuvent se former en surface à la suite d'engorgement pluvial; ils sont très rares en profondeur. Le gley y est inconnu.

1.2 SITUATION

Le substrat est formé de roches contenant des argiles gonflantes non sodiques ou pouvant en libérer par altération, soit les roches basiques du Birrimien et du Sugarien, les argiles sédimentaires du Crétacé, de l'Eocène, du Voltaïen, à l'exclusion des roches feldspathiques, granites du socle et grès arkosiques qui produisent des argiles alcalisées. Ce type d'altération n'est possible qu'où le front rocheux a été décapé de sa couverture kaolinique à sols ferrugineux concrétionnés ou cuirassés. Il apparaît par taches autour de pointements basiques au niveau du bas modelé M.2, puis se généralise sur le bas glacis nu (M.3) ou sur des entailles récentes. Il affecte de vastes surfaces dans le Damergou (pluviosité de 250 à 400 mm) et le Liptako (425 à 700 mm, surtout à moins de 550 mm). On l'observe également sur quelques glacis de la région de Dakoro (350 mm) du Damagaram (500-550 mm) sur les entailles des vallées de l'Ader Douchi et des Maggia (350-600 mm) du Goroubi (700 mm) et de la Soanda (850 mm). Les limites de ces aires sont lithologiques sur le même modelé, géomorphologiques et paléo-pédologiques sur la même roche mère. Dans toute la région étudiée, l'altération des roches basiques ou la délapidification des schistes sédimentaires sont invariables. On admet cependant une expression indirecte du gradient pluviométrique dans le fait que les argiles gonflantes ont pu s'étendre plus largement au nord, sur des aires primitivement moins cuirassées.

1.3 MATERIAUX ET ROCHES MERES

1.31 B i r r i m i e n

Sa couverture pédologique se répartit en trois ensembles

correspondant à trois types minéralogiques argileux : des sols indurés sur des shales kaoliniques, des sols appauvris et hydromorphes sur des shales à phyllites potassiques, enfin les sols sur argiles gonflantes. L'extension de ces derniers coïncide exactement avec celle des roches basiques métamorphiques se distinguant des granites et des schistes sédimentaires par les propriétés chimiques suivantes :

taux minimum de bases : 12,5%
taux minimum de MgO : 2,5%
taux minimum de CaO : 7 %

rapport Ca/Na minimum : 1,25

taux minimum d'anorthite dans les plagioclases : 60% (labrador, bitownite).

Les géologues en donnent une lithologie complexe (JEAMBRUN, MACHENS, 1962) :

- des roches éruptives massives : gabbro, basaltes, andésites;
- des amphibolites, des schistes amphiboliques;
- des chloritoschistes, des micaschistes à biotite, des serpentines (complexe ultrabasique de Makalondi);
- des roches détritiques, schistes tuffacés, grau-wackes;
- des roches siliceuses, quartz, quartzites, quartzites calcédonieux, associées en filons, filonnets et septa aux faciès schisteux.

La minéralogie des types les plus communs est cependant assez uniforme :

Echantillons (1)	156	97	177	185
Roche Faciès	gabbro quartzite massif en boulder	gabbro massif en boulder dans serpentines	amphibol. massif en boulder	amphibolite schiste vert
Sols associés	rubéfiés	vertiques	bruns et rubéfiés	rubéfié
	quartz		quartz	quartz
	bitownite séricitisée augite altérée	bitownite, labrador augite ouralitisée	plagio- clases	labrador séricitisé
			hornblende verte	hornblende verte à in- clusions de labrador
	biotite		chlorite	
	épidote	épidote opaque		épidote opaque

Il n'y a jamais d'altérite argileuse sur les roches massives, mais invariablement sur des schistes argileux gris ou verdâtres à pendage subvertical, quelquefois sur des micaschistes ou des serpentines, donc sur des roches à minéraux fibreux ou phylliteux, d'où les roches éruptives, les amphibolites émergent en boulders ou collines. Les argiles d'altération sont grises à brun-olive, souvent à concentrations calcaires, vertiques. Leur forte capacité d'échange, leur teneur élevée en magnésium et fer sont à rapporter à la nature minéralogique de leurs feuilletés gonflants, anciennement déterminés comme montmorillonite, mais appartenant plus vraisemblablement à des variétés de nontronite.

Le Birrimien, dans toute sa complexité, ne produit ainsi que trois matériaux superficiels, toujours sur roches schisteuses tendres. La variabilité de chacun est nulle, même sur l'ensemble diversifié de roches basiques. WACKERMAN (1967) a observé les mêmes faits sur une formation similaire du Sénégal oriental et les explique de façon remarquablement simple en substituant l'altération au métamorphisme comme facteur principal de différenciation lithologique. Les transformations par degrés de deux types de roches seulement, des gabbro et des grano-diorites, ont suffi à engendrer un cortège diversifié :

(1) Détermination de M. PARROT, du laboratoire de Géologie du C.S.T.

- les faciès verts sont le résultat des transformations diagénétiques - céméntation en profondeur dans une nappe stable, basique et réductrice - du premier degré. Leurs minéraux résultent de la séricitisation et de l'albitisation des plagioclases, de la transformation des pyroxènes en amphiboles et chlorites, des péridots (faciès ultra-basique) en serpentines. Les éléments en excès se concentrent en quartz-calcédoine, épidote, carbonates, sulfures et oxydes. Les amphibolites, schistes amphiboliques, chloritoschistes, serpentines du Niger correspondent à ce stade.

- Les faciès pélitiques sont produits par l'altération météorique - catamorphisme du deuxième degré - des minéraux primaires ou secondaires précités. Les vermiculites, les séricites, peut-être la kaolinite sont produites abondamment à ce stade, selon le degré de lessivage des bases, et se combinent diversement avec du quartz néogénétique pour donner des pélites, des argilites, des schistes (à septa siliceux). Des lithoreliques moins altérées peuvent leur donner un aspect de "pseudo-brèche" aisé à confondre avec des tufs ou des grauwackes authentiques. La schistosité elle-même est une restructuration guidée par des diaclases sub-verticales. Les shales "sédimentaires", les schistes argileux gris et verts de la base des sols du glacis inférieur nigérien appartiennent à cet ensemble, auquel il est encore vraisemblable d'assimiler les faciès "détritiques" tuffacés et certains "micaschistes", toujours très altérés, dont la "biotite" pourrait n'être qu'un habitus de vermiculites issues de chlorites.

- Les transformations du troisième degré "effacent les diaclases sous-jacentes et les reliques structurales héritées de l'agencement des minéraux primaires et secondaires, forment une matrice composée principalement de grains de quartz et de grains de plasma cryptocristallins (phyllites-hydroxydes et oxydes de fer)". La séricite est pulvérisée en illite, les vermiculites transformées en montmorillonites (ou nontronites); les oxydes de fer et le carbonate de calcium précipitent; il n'y a pas de silicifications secondaires. La dégradation des phyllites en kaolinite et hydroxydes de fer est théoriquement possible mais peu active dans les conditions actuelles sur roches basiques (pluviosité : 940 mm). Nous retrouvons là les argiles vertiques à nodules calcaires, les argiles illitiques, les lithomarges kaoliniques rubéfiées de cuirasses qui donnent

naissance aux trois grands ensembles pédologiques du Birrimien nigérien.

On comprend dès lors que l'hétérogénéité de cet ensemble soit à l'échelle du modelé, puisqu'elle est déterminée par le drainage et l'érosion, et non à celle de grandes régions de métamorphismes. Si la répartition des différents faciès selon la topographie est identique à celle du Niger, leur zonalité verticale n'est pas entièrement connue, si bien qu'il reste des difficultés d'interprétation. Leur étagement est le suivant :

- les roches éruptives en inselberg
- le manteau kaolinique, c'est-à-dire des schistes verticaux kaoliniques, antérieur à la cuirasse pliocène et présent sous les glacis cuirassés. Il est assimilé à un faciès de deuxième degré ancien.
- une altérite smectitique mince (3ème degré) apparaissant parfois à la base du manteau kaolinique au niveau du glacis cuirassé "moyen" (M.2) mais ne s'étendant largement que sur le glacis "inférieur" (M.3) ou sur des entailles nues.
- le front d'altération en roche dure, c'est-à-dire la limite 1°-2° degré, paraît en continuité sous les divers modelés et se situe non loin des points bas du réseau de drainage actuel.

L'auteur tient pour ancienne l'altération kaolinique mais considère comme actuelles toutes les transformations, du premier au troisième degré, des glacis inférieurs et entailles proches du front d'altération, cela parce que leurs modalités sont conformes aux conditions externes de drainage. La continuité, la régularité du front d'altération, son indépendance à l'égard de l'étagement des glacis montrent cependant qu'il est fort proche de son niveau lors de la formation des shales kaoliniques, ce qui rend possible un héritage des altérites anciennes.

De même au Niger il n'est pas possible de faire la part entre l'altération actuelle et des reliques autrefois situées à la base du vieux manteau dans la formation des amphibolites, pélites, argiles verticales du bas modelé. Du fait de l'érosion, la part du facteur météorique doit cependant être d'autant plus grande que le matériau concerné est plus argilisé, plus tendre.

1.32 R o c h e s m é t a m o r p h i q u e s
 d u D a m a g a r a m

Ce serait d'anciennes roches calco-magnésiennes métamorphosées (FAURE, 1952) des micaschistes et paragneiss intercalés de quartzites épaisses, en enclaves dans des granites intrusifs. On ne les observe que dans des dépressions (M.3) encadrées des reliefs quartzitiques. L'argile d'altération, vertique et à nodules calcaires, ne se distingue pas des smectites birrimiennes. Près de Myria, la présence de gypse est à rapprocher de l'existence de quartzites à sulfures dans la même région.

1.33 L e s r o c h e s s é d i m e n t a i r e s

Les argilites gypsifères crétacées du Damergou, de l'Ader Douchi, de la région de Dakoro, les schistes argileux voltaïens de la vallée de la Soanda, se délapidifient par fragmentation et gonflement à la base des profils. Les argiles vertiques ainsi formées peuvent renfermer de petites quantités de kaolinite, tout comme les argiles marneuses partiellement décalcarifiées de l'Eocène.

1.34 L e s m a t é r i a u x p o l y p h a s é s

A l'exception de sols de bas fonds, des sols les plus jeunes sur les entailles les plus récentes, la plupart des profils ne sont pas en place mais présentent une stratigraphie complexe .

1.341 Birrimien du Liptako (450 mm)

- au sommet une pellicule de sables, de menus débris de roche, de gravillons ferrugineux, ruisselés;
- une argile sableuse, matériau proprement dit du sol. assez mince (25-200 cm, médiane 65 cm) pouvant inclure une faible quantité des débris sus-jacents, à fraction sableuse souvent riche en grains éolisés, à fraction argileuse à forte capacité d'échange (52-77 méq/100 g, médiane 60);

- une nappe de débris dont l'épaisseur peut atteindre 50 cm; mélange aux proportions variables de fragments émoussés de quartz, de gravillons roulés, de plaquettes de schistes ferritisés, à taille variant de 5 à 50 mm, pris dans un emballage argilo-sableux taché ou à concrétions ferri-manganésifères; l'agencement des éléments grossiers est celui d'un pavage ou d'un reg;
- ravinée par le dépôt détritique, la roche altérée ou fragmentée selon les modalités suivantes :
 - . faciès schisteux, avec films manganésifères sur les plans de schistosité (matériau de 2ème degré, selon WACKERMAN);
 - . faciès schisteux fragmenté;
 - . faciès schisteux fragmenté et auto-concrétionné;
 - . argile sableuse d'altération du schiste, grise à brun-olive, tachetée ou à concrétions manganésifères (3ème degré); nodules calcaires en bas de pente, sous des sols bruns; capacité d'échange plus forte que ci-dessus : 76 à 91 méq; l'épaisseur peut atteindre 40 cm.

1.342

Roches métamorphiques du Damagaram (550 m)

- des sables ruisselés puis une argile sableuse semblables aux précédents mais pouvant être remplacés par :
 - . un mètre de sables éoliens où s'est différencié un sol évolué, ferrugineux peu lessivé, reposant sur 30 cm d'une argile sableuse gris-verdâtre à concrétionnement ferrugineux en place (NA 37);
 - . dans un bas fond une argile verticale de 1,75 m reposant sur 3,25 m de cailloutis de quartz coiffant un micaschiste altéré;
- une nappe de débris plus épaisse que dans le Liptako à blocs de quartzite anguleux, à galets et débris de grès du Crétacé, à concrétions ferrugineuses très arrondies, redistribuées, à cortex craquelé;

l'emballage est argilo-sableux, tacheté, à concrétionnement manganésifère et pseudo-mycélium calcaire; il peut disparaître en partie et être remplacé par des sables éoliens;

- une arène pouvant dépasser le mètre, argilo-sableuse, à nodules calcaires, sur des roches altérées dont le faciès le plus courant est un micaschiste à biotite.

Le niveau grossier est à la fois résiduel et détritique, ses éléments étant empruntés à l'altérite et à des reliefs dont l'éloignement, ordinairement faible, peut atteindre plusieurs kilomètres. La minéralogie et la texture des matériaux qu'il sépare sont fort proches et leur mise en place complexe :

- ravinement de l'altérite au niveau des faciès du second ou troisième degré par un niveau grossier lui-même fossilisé par un matériau fin emprunté à l'altérite;
- concrétionnement ferrugineux de ce matériau, à formes arrondies et épais cortex caractéristiques des textures argileuses riches en calcium;
- érosion éolienne contemporaine de la mise en place de l'erg ancien; le rabotage atteint le plus souvent la nappe détritique dont les concrétions sont déplacées, la matrice parfois enlevée;
- mise en place d'un matériau meuble ne se distinguant de l'ancien que par une texture plus sableuse;
- évolution actuelle, dont le dépôt d'oxydes de manganèse et de carbonates de calcium cimentant le squelette et les concrétions du niveau détritique

1.4

TOPOGRAPHIE

Les pentes des bas glacis sur socle sont toujours très faibles, inférieures à 1%. Les plus caractéristiques sont ceux du Liptako. Concaves, à pente moyenne de 0,2 - 0,4% sur 5 km, ils apparaissent rectilinéaires à cause de

l'insignifiance des pentes aval qui se raccordent très progressivement à un remblai de sables fins argileux et rubéfiés. Ils passent à un glacis concrétionné et cuirassé en amont soit en continuité, soit par un léger décrochement. L'extension de ce dernier (M.2) raccourcit les glacis nus vers le sud, sans que leur pente augmente. Les pentes des glacis sur argiles sédimentaires du Damergou sont également très faibles, mais s'accroissent jusqu'à 8 - 13% dans les régions d'entaille. Il en est de même dans l'Ader Douchi. L'érosion en haut de pente, le gilgai en bas de pente créent des micro-reliefs dont les pentes atteignent 1-5%. Sur argiles, le ravinement en bad-land crée des pentes de 20%. Le drainage externe est bon tant que les dunes anciennes ne cloisonnent pas le paysage.

1.5 EROSION ET REGIME HYDRIQUE

La première tornade déclenche sur les glacis un ruissellement intense et diffus, une forte érosion aréolaire qui transforme la surface en une mosaïque d'aires d'ablation et d'apport. Les premières sont dues aux morsures peu profondes, décimétriques, du ravinement en nappe, le ravinement proprement dit se cantonnant à quelques hauts de pente. Les secondes consistent en apports de sables fins stratifiés à surface à encroûtement pluvial souvent enfouie sous des épandages monogranulaires de débris grossiers. Ces derniers, vernissés à 50%, sont formés de débris de quartz (jusqu'à 10 cm) de schistes ferritisés, surtout de petits gravillons ferrugineux roulés (5 mm). En région sahélienne, les surfaces érodées et les surfaces d'apport ou relativement indemnes se disposent en bandes irrégulières alternantes, isohypses ou obliques sur les courbes de niveau. Les zones rabotées sont légèrement déprimées, limitées en amont par un micro-escarpement (10-50 cm) entaillant les horizons de la zone d'apport voisine, mais passant en continuité à la bande d'apport ou peu érodées d'aval. Ce mécanisme, où on aura reconnu le processus de formation des brousses tigrées, s'accroît où des horizons appauvris, ou plus sableux, ont pu se former, notamment dans les zones à saupoudrage éolien. Il disparaît en bas de pente sur des sols uniformément bruns, à surface fissurée et trouée d'effondrements de prismes. Ce gilgai apparaît, avec les sols qu'il caractérise, progressivement, du côté amont des bandes arbustives les plus

basses. Le régime hydrique n'est donc pas uniforme sur tout le glacis. Sur les zones nues les sols ne s'humectent que peu profondément, sont rapidement et longuement desséchés parce que le drainage externe est fort, la perméabilité petite, la pluviosité faible. Sur les bandes arbustives et plus encore en bas de la pente le freinage de l'écoulement de l'eau, l'existence d'une macroporosité, augmentent l'humidité des sols jusqu'à l'engorgement temporaire. Les structures laminaires, feuilletées, souvent observées sur ces glacis peuvent être attribuées à la combinaison du transport des colluvions, créant un litage ou une stratification, et de la dessiccation rapide de la surface après chaque pluie. Lorsque de l'hydromorphie s'y ajoute, la structure devient squameuse. Le transport des éléments fins a fini par colmater un réseau de drainage très ramifié mais peu incisé à la faveur de barrages dunaires. La formation de ces flats et l'état d'érosion de la plupart des sols de glacis démontrent que le bilan final du déplacement des matériaux est négatif. Plus au sud les brousses tigrées et les barrages dunaires disparaissent mais il existe toujours un gradient croissant d'aridité et d'érosion vers le sommet des glacis où les sols sont moins épais et la structure plus fine. Au nord de la zone cartographiée, à 250 mm de pluies, la dénudation gagne tout le paysage à l'exception des lignes de drainage qui conservent quelques arbustes; la juxtaposition de surfaces d'ablation et d'apport est conservée, mais leur distribution est anarchique. En même temps les formes mineures de l'accumulation éolienne, ridules, nebka, nées en saison sèche des sables ruisselés en hivernage, prennent un peu plus d'importance.

1.6

REPARTITION DES ARGILES GONFLANTES DANS LES ALLUVIONS

Les argiles gonflantes n'apparaissent que tardivement dans des alluvions postérieurs au bas glacis :

- la matrice des cailloutis et conglomérats des terrasses hautes et basses est kaolinique;
- les premiers vertisols hydromorphes sont situés sur le remblai supérieur du Gorouol, au contact de bas glacis smectitiques; ce dépôt, dû à un ralentissement

de l'écoulement ou à des barrages dunaires, est plus communément formé de sables fins argileux rubéfiés à capacité d'échange plus basse; il colmate une entaille du bas glacis ou directement ce dernier;

- après la rupture des barrages dunaires, ce sont les sables et sables argileux du remblai inférieur, minime formation à sols hydromorphes inactuels, qui se déposent quelques mètres au-dessous du remblai supérieur;
- les lits majeurs ont été ensuite colmatés par des alluvions dont les types argileux sont l'ensemble principal des Vertisols Topomorphes; leur mise en place est achevée, aussi bien dans les flats sahéliens que la crue n'atteint plus (Azaouak, Kadzel) que dans un fleuve comme le Niger qui en a débarrassé une partie;
- le colmatage argileux se poursuit dans les mares de lit majeur, dans les retenues dunaires de la zone sahélienne (Gorouol, Maggia).

Les argiles de lit majeur, souvent déposées dans des régions éloignées des glacis qui les ont libérées, affectées de processus d'hydromorphie ou d'halomorphie étrangers à la dynamique des toposéquences autochtones, seront étudiées séparément dans le dernier chapitre. Un matériau de transition est celui que de petits axes de drainage ont déposé derrière des barrages dunaires qu'ils n'ont jamais pu rompre. Les diverses phases d'alluvionnement n'y sont pas séparables, l'hydromorphie y est voisine de celle qui affecte normalement la base des glacis, la salure en est absente. On peut donc le réunir à la couverture des glacis.

Corrélation proposée entre les alluvions et les sols du bas glacis du bassin du Gorouol (400-500 mm actuels)

Faits morpho-climatiques	sols du bas glacis	alluvions
	toposéquence sols fersiallitiques (?) -sols bruns eutrophes	
ralentissement puis arrêt de l'écoulement		-remblai supérieur rouge -remblai supérieur à Vertisols
mise en place de dunes	mise en affleurement des horizons grossiers; reg	
reprise de l'écoulement	fossilisation des regs par des argiles sableuses	-remblai supérieur à Vertisols
rupture des barrages dunaires		-remblai inférieur
phase de colmatage argileux		-argiles de lit majeur
légère diminution de l'écoulement; forte érosion en milieu sahélien (actuel)	toposéquence sols brun-rouge de glacis-sols bruns tirsifiés	-argiles des mares des lits mineurs

1.7 FACTEURS BIOTIQUES

Les peuplements arbustifs d'épineux forment le fond d'une végétation spécialisée par la compacité, par la sécheresse édaphique succédant à l'engorgement, par les pH relativement élevés. Leur couvert, bas, clairsemé, facilement contracté, leur richesse en acacias contribuent pour beaucoup à l'aspect sahélien conservé par ces glacis jusqu'en pleine zone soudanienne.

Vers 250 mm de pluies, la strate herbacée est une prairie de graminées xérophiles courtes (*Schoenefeldia*) et d'éphémérophytes qui exploitent les réserves d'eau emmagasinées en surface des sols ou dans les dépôts grossiers triés et accumulés par le vent et par le ruissellement. Les espèces ligneuses sont très raréfiées et se rassemblent dans les ravines, les lignes d'accumulation des

Principales espèces végétales des toposéquences à argiles gonflantes calcaïques

Pluviosité(mm)	250	450-550			550-675	825	
	steppe arbustive	brousse tigrée zone nue	couverte	bois armé	type sableux	savane arbustive	savane arborée
<u>Arbres, arbustes</u> <u>sahéliens</u>							
Acacia seyal	P	.	D	D	.	D	D
Acacia flava	D	.	P	.	.	P(1)	.
Acacia senegal	P	.	P	P	D	P	P
Acacia laeta	.	.	P	.	.	.	.
Acacia raddiana	.	.	P	.	P	.	.
Acacia adstringens	.	.	P	.	P	.	.
Acacia pubescens	.	.	.	P	.	P	.
Balanites aegyptiaca	.	.	P	.	D	P	P
Commiphora africana	P	.	P	.	P	P	.
Zizyphus mauritania	.	.	.	.	P	P	.
Dichrostrachys glomerata	.	.	.	.	P	.	.
Guiera senegalensis	.	.	.	.	P	.	.
Bauhinia rufescens	.	.	P	.	P	P	.
Bauhinia reticulata	.	.	P	.	P	P	P
Capparis decidua	.	.	.	.	P	.	.
<u>Arbres, arbustes</u> <u>soudaniens</u>							
Acacia siebe- riana	.	.	.	.	.	D	D
Sclerocarya birrea	.	.	.	.	.	P	.
Combretum glutinosum	.	.	.	.	.	P	P
Terminalia sp.	.	.	.	.	.	.	P
Anogeissus leiocarpus	.	.	.	.	.	P	.
Lannea acida	.	.	.	.	.	P	P
Lannea microcarpa	.	.	.	.	.	P	D
Sterculia setigera	.	.	.	.	.	P	P
Prosopis africana	.	.	.	.	.	.	P

(1): jusqu'à 625mm; P: espèce présente; D: espèce pouvant dominer

Pluvisité (mm)	250	450-550			550-675	825
	steppe arbustive	brousse tigrée zone nue	brousse tigrée couverte	bois type armé sableux	savane arbustive	savane arborée
<u>Arbres, arbustes</u>						
<u>soudaniens</u>						
Adamsonia digitata	.	.	.	.	P	P
Gardenia sp.	.	.	.	.	P	P
<u>Graminées</u>						
<u>annuelles</u>						
Schoenefelfia gracilis	P	D	P	.	D	E
Aristida adscensionis	P	P	P	.	.	.
Ctenium elegans	.	.	.	.	P	.
Cenchrus biflorus	.	.	P	.	P	.
Pennisetum sp.	.	.	P	P	.	.
<u>Graminées</u>						
<u>vivaces</u>						
Cymbopogon Schoenanthus	P	.	P	.	P	D
Andropogon sp.	.	.	.	.	.	D

eaux de ruissellement. A 450 mm s'étendent les brousses tigrées auxquelles se substituent des bois armés, la plupart du temps des seyaleraies, dans les fonds. A 825 mm, la répartition est diffuse, plus dense toutefois en bas de pente. Des espèces plus méridionales se mêlent aux acacias surtout si la texture est allégée par des gravillons, des sables. Des prairies apparaissent sur les sols à engorgement de surface. A l'exception de quelques champs de coton dans l'Ader Douchi et de sorgho près de Makalondi, il n'y a pas de cultures sur ces sols dont la végétation, par son développement médiocre et sa flore xérophile, révèle l'insuffisance des réserves hydriques. Ce défaut est confirmé par les techniques d'utilisation de terres semblables en Mauritanie : barrages en terre dans les bas-fonds, levées isohypses sur les glacis. Il est tel que le couvert ne suffit pas à empêcher l'érosion ni à améliorer la structure de surface; il n'est donc pas de possibilité de régénération naturelle de ces sols.

ET LES TOPOSEQUENCES

Les sols bruns ou noirs de bas de pente possèdent des structures plus grossières et des structures plus lourdes que les sols de haut de pente qui peuvent être de surcroît rubéfiés. La rubéfaction est accentuée par les remaniements mécaniques, le décapage superficiel, la réduction de l'humectation des sols en zone sahélienne où l'on observe également un accroissement de la taille des structures de surface.

Bien que cet ensemble soit homogène et ses types morphologiques bien individualisés, il se répartit entre quatre classes où il s'insère parfois difficilement. Les sols méridionaux de haut de toposéquence, finement structurés, appartiennent à la classe des sols à mull, groupe des sols bruns eutrophes tropicaux. Leur rubéfaction éventuelle n'est en elle-même compatible avec la notion de sol brun que si on élargit cette dernière au sens de profil homogène dans sa texture et, dans une certaine mesure, sa structure. Comme elle peut être très accentuée et s'accompagner d'appauvrissement de l'horizon A, on e pu classer certains de ces sols rouges parmi les sols à sesquioxydes, sous-classe fersiallitique, groupe des sols rouges tropicaux (BOTELHO DA COSTA, 1959, in SECALEN, 1966). Les sols correspondants sahéliens possèdent des structures cubiques, grossières, dès la surface, ce qui a suffi à masquer leur parenté avec les sols eutrophes. La convergence de leurs propriétés vers celles des sols subarides, saturation, homogénéité texturale, accumulation de carbonate de calcium, teintes dominantes brunes, les fit jadis classer dans le groupe des sols bruns subarides, sous-groupe brun subaride tirsifié, ou vertique, et brun-rouge. Pour les séparer des sols subarides de familles différentes, il est commode d'utiliser l'adjectif tirsifié, rappelant les structures d'argile noire de profondeur, pour les sols bruns et le complément de "glacis" pour les sols brun-rouge, évoquant l'évolution érosive particulière à laquelle ils sont soumis.

L'ensemble des sols de bas de pente coïncide exactement avec l'ancienne définition des argiles noires

de 1962 :

"sols à couleur foncée relativement à leur matière organique, à structure prismatique ou polyédrique large et grossière, accompagnée d'une macroporosité extrêmement faible des blocs sur au moins la moitié des profils".

La classification de 1965 est plus restrictive pour avoir subordonné ces caractères, ainsi que la présence d'argiles gonflantes dans le plasma, au concept de vertisol :

"sols à profil A (B) C ou A (B)g C ou A (B) CG, plus ou moins homogénéisés ou irrégulièrement différenciés par suite de mouvements internes s'exprimant souvent par la présence d'un microrelief de gilgai et d'effondrements".

Le rang accordé ainsi aux mouvements internes paraît excessif. Ils ne sont pas une cause nécessaire de l'homogénéisation, puisque cette dernière existe dans les sols bruns eutrophes, dans les sols bruns tirsifiés. Leur existence dépend d'un facteur contingent, l'humectation du moment. Enfin, ils paraissent subordonnés à un processus plus général décrit par HESS et SCHOEN (1964) :

"en période d'hydromorphie, adsorption d'acides aminés sur les feuillets orientés de l'argile gonflante, en période de dessiccation, polymérisation des complexes humiques liés, cette succession de phases aboutissent à la formation d'empilements orientés s'expriment fortement dans la macrostructure par des formes de retrait, de glissement, voire d'écoulement".

Ces mécanismes justifient une unité fondée sur les propriétés de gonflement, d'orientation, d'adsorption des argiles gonflantes et sur leurs inter-réactions. Ils sont la cause commune des propriétés des argiles noires et des vertisols dont ils démontrent l'identité fondamentale. Ils situent les mouvements internes dans un ensemble plus complet de réactions mécaniques dont il convient de compléter la classification de 1965 :

- le gilgai, annulation des contraintes de compression par des mouvements convectifs;
- les fissures obliques, annulation des contraintes de

compression par rupture; un certain écoulement pourrait les gauchir et leur donner une orientation parallèle préférentielle;

- les agrégats laminés, annulation des contraintes par déformation plastique;
- les lissages et striations, dues au déplacement relatif des faces en contact, fréquentes surtout sur les plans de rupture;
- les fissures verticales, principale expression du retrait, parfois à l'origine d'une érosion endogée provoquant des effondrements.

La partie supérieure des profils, ouverte en saison sèche, est surtout marquée par le retrait, alors que la base conserve des traces du gonflement, conséquence de variations d'humidité plus rapides en surface, et de pressions plus fortes en profondeur. Ce sont donc les horizons profonds qui sont les plus caractéristiques de cet ensemble, aussi bien parce que la fissuration peut affecter des sols sableux, ou kaoliniques. On est obligé de mettre une limite arbitraire à l'expression de ces critères structuraux pour tenir compte du fait qu'elle varie continûment selon la texture et la proportion d'argiles gonflantes. L'expérience a montré qu'il convenait, pour obtenir des unités naturelles définies par la même forme topographique, le même âge, la même origine du matériau, de réunir :

- les vertisols proprement dits, à gilgai convectif évident,
- celles des argiles noires possédant en profondeur un horizon à plans de ruptures obliques et lissés en nombre suffisant pour réaliser la structure fragmentaire en "plaquettes obliques" formées par l'empilement d'agrégats prismatiques, ou prismatiques déprimés, ou en coin, à faces supérieures et inférieures obliques, lissées, striées.

Un horizon massif mais parcouru de plans de rupture gauchis à surface luisante, ne suffit pas à caractériser cet ensemble s'il ne s'accompagne pas de gilgai ou d'une large fissuration superficielle accompagnée d'effondrements. Il est présent dans des sols intermédiaires, dits vertiques, classés, faute de mieux, avec les sols mieux drainés adjacents : sols bruns eutrophes et sols bruns subarides tirsifiés.

Les vertisols de cette unité, ainsi définis, appartiennent pour la plupart à la sous-classe lithomorphe, sur pente modérée mais non nulle, à drainage externe encore libre. Quelques uns, dans le Damagaram, derrière les barrages dunaires du Liptako, ont un pédoclimat plus longuement humide, bien qu'encore en place sur des matériaux d'altération, et entrent de ce fait dans la Sous-Classe Topo-Lithomorphe, d'origine mixte. Tous appartiennent au groupe non grumosolique, à structure grossière dès moins de 20 cm de la surface.

Un grand nombre de sols de glacis sont fortement érodés, surtout en zone sahélienne, et peuvent être considérés comme des sols peu évolués régiques, à profil A C, à faciès brun, rubéfié ou vertique lorsque les faces de glissement se développent dans le matériau. Nous donnons ci-dessous le tableau des principaux caractères macroscopiques des types morphologiques les plus communs :

Couleurs (1)	Structure en surface (2)	Structure en profondeur (2)	Classification
Brun/Brun	prismatique	en plaquettes obliques	Vertisol mixte non grumosolique
Gris/olive Brun/jaune	grumeleuse ou polyédrique	en plaquettes obliques	Vertisol lithomorphe grumosolique
Gris/olive Brun/jaune	polyédrique, cubique, prismatique	en plaquettes obliques	Vertisol lithomorphe non grumosolique
Brun/brun Brun/rouge	polyspédrique, grumeleuse, polyédrique fine	polyédrique, cubique, prismatique, vertique	Brun eutrophe, parfois rubéfié
		quelques faces de glissement (vertique)	type vertique
Brun uniforme	(prismatique) - cubique - (polyédrique)	(prismatique) - polyédrique ou vertique	Brun subaride tirsifié
Brun/rouge	cubique - (polyédrique)	(prismatique) - polyédrique	Brun-rouge subaride de glacis
Faciès des sols régiques : vertique, brun eutrophe, brun subaride, brun-rouge subaride.			

(1) couleur en surface / couleur en profondeur

(2) assemblage de structure = (surstructure) - structure - (sous-structure)

Les principales toposéquences sont les suivantes :

sur argiles sédimentaires

glacis

pluviosité : 250-400 mm (Damergou)
vertisols tronqués et rubéfiés

pluviosité : 350-400 mm (Ader Douchi, Dakoro)
vertisols lithomorphes et topolithomorphes

entaille

pluviosité : 250-400 mm (Damergou)
sol régique vertique - vertisol lithomorphe

pluviosité : 350-600 mm (Maggia, Ader)
comme ci-dessus

pluviosité : 825 mm (vallée de la Soanda)
sol régique faciès brun eutrophe - vertisol
lithomorphe

sur Birrimien (serpentes)

entaille

pluviosité : 700 mm (Makalondi)
sol brun eutrophe - vertisol lithomorphe

sur Birrimien (roches "vertes")

glacis

pluviosité : 425-700 mm (Liptako)
sol brun-rouge de glacis - sol brun tirsifié -
vertisol lithomorphe - vertisol topolithomor-
phe

sur Sugarien (roches métamorphiques)

glacis

pluviosité : 350-550 mm (Damagaram)
comme dans le Liptako

2. E T U D E M O R P H O L O G I Q U E

2.1 LES SOLS REGIQUES VERTIQUES ET LES VERTISOLS LITHOMORPHES SUR ARGILES SEDIMENTAIRES DE LA ZONE SAHELIENNE

2.11 L e s s o l s r é g i q u e s v e r t i q u e s

Ils caractérisent les entailles des glacis de l'Ader Douchi et du Damergou. Lorsque la couverture détritique de grès, de gravillons, qui tapisse habituellement ces pentes décapées par l'érosion en nappe et la déflation éolienne disparaît, la roche tendre est rapidement incisée par un réseau confluent de ravines séparant une succession de buttes résiduelles hautes de quelques mètres, à pentes raides et concaves. En même temps, la zone mouillée par les eaux d'infiltration subit un gonflement important partiellement irréversible car les pressions subies par l'argile en affleurement sont, lors des phases de dessiccation, évidemment inférieures à celles qui lui furent appliquées lors de sa lapidification. On observe alors un plissement des bancs, leur émiettement en fragments laminaires, la formation de plans de décollement parallèles à la surface qui, sous l'action des poussées internes, prend une forme convexe à proximité du fond des ravines. Le retrait produit de larges fissures verticales, parfois béantes, mais la plupart du temps masquées par un manteau de fins débris argileux, anguleux, qui couvre toutes les pentes. La végétation se réduisant à une pelouse xérophytique, toute l'évolution résulte de l'action des eaux météoriques :

Site de Chiroua (NA 7)

Lat. : 14° 46' 05" N.
Long. : 8° 39' 20" E.
Cote : 515 m

Bad land; flanc de ravine; pluviosité : 280 mm.

Surface : croûte squameuse de petits agrégats argileux et de sables éoliens, saupoudrés de sables;

0-15 cm : brun-jaune; argileux à grains de sables éoliens; cubique (5-10 mm) à faces rugueuses; cohésion moyenne à forte; porosité très faible; horizon meuble et riche en radicelles jusqu'à 8 cm; cet horizon disparaît facilement par érosion.
A

15-28 cm : brun olive; argileux; des revêtements de sables éoliens sur les faces d'agrégats; cubique (2 cm) à faces rugueuses ou lisses, en assemblage très compact; parcouru de faces de glissement obliques (60° sur la verticale) espacées de 2 cm environ; des fentes de retrait tous les 20 cm; cohésion très forte; porosité des mottes non visible; quelques radicelles plaquées sur les agrégats.
(B)v

28-61 cm : argile brun olive enrobant des fragments de l'argilite; structure en plaquettes obliques lissées (60°, 10 x 5 cm); cohésion excessive; pas de macroporosité d'agrégats.
B.C vv

sous 61 cm: argilite gris verdâtre à taches ferrugineuses et manganésifères fortement fissurée et plissotée; des fissures gainées de ségrégations d'hydroxydes et de grains calcaires.
C.ca

Note après quelque temps, des granules de sulfate de calcium se forment sur toute l'épaisseur de la coupe.

La succession des structures, cubiques puis verticales, leur compacité, l'accroissement de leurs tailles vers la profondeur, l'intégration de produits ruisselés, qui fait ici passer le taux de sables de 20 à 40%, sont des caractères communs à tous les vertisols non grumosoliques. L'excellence du drainage externe produit un début

de mulch structural en surface et des teintes relativement claires, plus jaunes que brunes. L'aridité explique les exsudations de sulfate, l'érosion la faible épaisseur du profil.

2.12

Les vertisols lithomorphes

Si l'évolution ne dépasse pas ce stade dans le Damer-gou, elle atteint un degré supérieur dans les Maggia, plus arrosées. Les étapes en sont :

- argile sédimentaire fragmentée nue (ravines) ou coiffée de débris de grès, schistes, calcaires (sommet de l'entaille);
- cet horizon C surmonté d'un horizon humifère brun foncé, argileux, finement polyédrique;
- vertisol lithomorphe :

site de Borzanga (AD 95)

Lat. : 14° 46' 48" N.

Long.: 5° 52' 01" E.

Base de versant à pavage; pluviosité : 375 mm.

Surface : épandage de blocs de grès (3-15 cm); fissures de 1-2 cm tous les 5-8 cm, correspondant à un retrait de 18% en volume.

0-7 cm : brun grisâtre foncé (2,5 Y à 10 YR 4,5/2);
A argileux; des grains gypseux et calcaires; cubique (1-2 cm) en assemblage lâche et régulier; sous-structure polyédrique fine (1-5 mm) en assemblage compact; cohésion moyenne; porosité des agrégats très faible.

7-43 cm : même couleur; même texture; même grains; des concrétions noires sphériques (1-3 mm); structure en plaquettes obliques (1 x 3 cm), sur-structure cubique, sous-structure polyédrique (5mm) très anguleuse; cohésion forte; des radicelles.

- 43-83 cm : plus clair; même texture; grains gypseux moins abondants; des nodules calcaires (5 mm); concrétions noires (4 mm) plus nombreuses; structure en plaquettes obliques très lissées (45°, 10 x 5 cm): sous-structure polyédrique plus large en assemblage très compact; racines imprimées sur les agrégats, parfaitement compacts.
- (B)2.vv.Ca
- 83-103 cm : argile brun olive enrobant des fragments de l'argilite; grains calcaires et cristaux de gypse; structure plus fine en assemblage plus compact; cohésion forte.
- BC.cs
- 103-120 cm : argilite feuilletée bleu verdâtre; des fissures verticales à argile homogène brune; des faces obliques lissées au sommet.
- C
- sous 120cm : sables quartzeux très fins lités interstratifiés dans l'argilite qui peut également renfermer des marnes, des lits de gypse.

Une accumulation organique plus forte (1% contre 0,3% dans les sols régiques) la nodulation calcaire et ferri-manganésifère, la cristallisation de gypse secondaire, des structures plus nettes réparties en horizons plus distincts, sont des traits d'une différenciation plus poussée. La délapidification de l'argilite se produit d'abord dans des fissures, le matériau ainsi formé manifestant immédiatement ses capacités de gonflement. L'apport de fragments détritiques par le ruissellement peut être tel que la structure ne dépasse pas le niveau cubique en profondeur; le sol est classé alors comme "brun tirsifié". L'apport de calcaire à partir de l'Eocène sus-jacent, sous forme dissoute ou détritique, est évident, la roche mère n'étant pas calcaire. Il atteint 3% du poids de terre fine, le maximum se situant près de la surface.

Les vertisols les plus évolués sont cependant ceux de glacis plus anciens que les entailles, glacis de piedmont de l'Adir Douchi, bas glacis de la région de Dakoro, tous assimilés au modelé M.3 :

site de Dakoro (ND 19)

Lat. : 14° 26' 44" N.
 Long. : 6° 45' 53" E.

1/3 supérieur du glacis; pente de 3%; pluviosité de 400 mm.

- Surface : épandage de graviers de grès ferritisé; croûte pluviale.
- 2-3 cm : brun jaunâtre foncé (10 YR 3,5/4); argileux, avec graviers et concrétions rondes et noires; agrégats fins polyédriques à grumeleux dans une masse pulvérulente.
- A.11
- 3-17 cm : même couleur; faces des agrégats plus foncées; mêmes concrétions; argileux; structure cubique (3 cm) plus fine et aplatie au sommet de l'horizon (0,5 - 1 cm); surstructure prismatique (5 x 4 cm); sous-structure polyédrique à faces peu nombreuses et lisses (0,5 cm); cohésion excessive, porosité des agrégats très médiocre, finement tubulaire; porosité d'assemblage très faible; des radicelles.
- A.12
- 17-30 cm : même couleur; mêmes concrétions noires (0,5 cm); argileux, moins de graviers; cubique (6-7 cm); surstructure prismatique (7 cm), sous-structure cubique ou massive (2-3 cm); cohésion très forte; porosité d'assemblage plus forte; le moins dur des horizons.
- A.B
- 30-65 cm : plus foncé; faces des agrégats plus sombres et lisses; argileux; mêmes concrétions; structure en plaquettes obliques lissées (40° sur la verticale; 1-3 cm); des fissures verticales s'élargissant vers la base (1 cm); porosité des agrégats très faible; très dur.
- (B).1I vv
- 65-110 cm : brun olive (2,5 Y 3/2); concrétions moins nombreuses; argileux; structure plus grossière (10 cm); de très larges fissures (15 cm) verticales contenant des mottes laminées (comprimées, à faces lissées et striées); cohésion très forte; quelques grains calcaires.
- (B).12 vv
- sous 110 cm: sables fins micacés, argileux, bariolés.

La transformation en vertisol a atteint tout le banc argileux recouvrant les sables maestrichtiens déjà notés dans la coupe précédente; l'assombrissement du profil, l'évolution en "argile noire" sont plus prononcés, ainsi que le concrétionnement; il n'y a pas de gypse et très peu de calcaire, faute de source dans le paysage. L'eau s'accumule et circule au-dessus des sables argileux, dans de larges fissures, caractéristiques d'une érosion endogée facilitée par la pente. Cette possibilité de drainage n'existe pas sur les glacis très plats de l'Ader Douchi dont les sols approchent de l'aspect des vertisols topolithomorphes :

site de Tarouada (AD 8)

Lat. : 14° 39' 43" N.
 Long. : 5° 43' 54" E.

Glacis de piedmont; 1800 m en aval de versants nus sur calcaires. Pluviosité 375 mm.

Surface : fissures de 0,3 à 5 cm tous les 10-15 cm; retrait de 15%.

0-10 cm : 7,5 YR 4/2); brun-noir; argilo-sableux, avec débris calcaires; structure polyédrique (1 cm) et grenue (1 mm); surstructure cubique; cohésion moyenne; bonne porosité d'assemblage; fin chevelu racinaire; effervescent à l'acide chlorhydrique.

10-35 cm : même couleur; argileux; fines concrétions noires et pseudo-mycelium calcaire; prismatique (10 x 15 cm); cohésion excessive; compact; quelques radicelles; très forte effervescence.

35-130 cm : même couleur; argileux; concrétions et pseudo-mycelium; structure en plaquettes obliques à faces lissées et striées; cohésion excessive; compact; très forte effervescence.

La base de ces argiles noires est une argile d'altération à nodules calcaires en place sur les argilites ou séparées de ces dernières par un niveau grossier. Leur couleur est due à la fois à la présence du calcium et au mauvais drainage. Elle est encore plus foncée (noir 2,5 YR 4/0) dans les vertisols formés sur des replats correspondant à des joints mameux des calcaires éocènes, également

plus riches en calcaire (jusqu'à 20%) concentré en nodules sur toute l'épaisseur du profil (AD 13).

2.13

V e r t i s o l l i t h o m o r p h e r u b é f i é

Sur les glacis du Damergou, existent des sols à la fois vertiques et rubéfiés, réunissant les caractères des sols brun-rouge sahéliens et des vertisols lithomorphes :

site de Gangara (NA 84)

Lat. : 14° 39' 40" N.

Long. : 8° 22' 40" E.

Partie moyenne d'un glacis adossé à des buttes de grès ferrugineux, d'argilites. Pluviosité : 320 mm.

- Surface : croûte pluviale craquelée; épendages de gravillons; sables éoliens en ridules.
- 0-3 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 4/4); argilo-sableux; structure motteuse en plaquettes horizontales (0,5 x 3 cm); cohésion moyenne à forte; porosité vésiculaire sous la croûte, ailleurs fine, tubulaire, médiocre.
- A
- 3-11 cm : brun-rouge (5 YR 4/4); faces des agrégats rougies; argilo-sableux; structure en plaquettes obliques lissées et striées, avec revêtements sableux; cohésion excessive; compact.
- (B) vv
- 11-25 cm : brun-rouge (5 YR 4/6); argilo-sableux; cubique (6 cm) à faces supérieures et inférieures lissées; cohésion très forte; compact.
- (B) v
- 25-45 cm : faces rougies plus nombreuses; argilo-sableux; prismatique (5 x 10 cm) en assemblage compact, légèrement lissé; sous-structure cubique; cohésion forte.
- B de couleur
- 45-100 cm : brun-rouge plus clair; argilo-sableux; encore des inclusions sableuses; polyédrique (1 cm) à faces peu nombreuses en assemblage compact; cohésion forte; porosité tubulaire peu développée.

Les taux de Fe_2O_3 croissent jusqu'au sommet du profil en valeur absolue et relativement à l'argile. Des deux mécanismes possibles, l'exsudation ou l'enrichissement par les eaux de ruissellement, seul le second est vraisemblable, car la conductivité croît inversement vers la base.

2.14 C o n c l u s i o n s

L'évolution de cet ensemble est principalement le fait d'un développement structural induit par la présence de smectites dans la roche mère. En surface les alternances rapides de l'humectation et de la dessiccation pulvérisent les agrégats, formant un mince horizon de mulch protégé de l'érosion par des croûtes pluviales, des pavages ou couches de débris. Cet effet, indépendant de toute végétation mais favorisant son installation, est une caractéristique du milieu subaride qui s'accroît vers le nord pour donner des horizons presque pulvérulents de "fech-fech", tels que ceux que BOULET (1966) décrit sur les argilites de l'Irhazer sous une pluviosité de 25 à 50 mm. En profondeur, une humidité plus prolongée délapidifie la roche, y crée des structures de gonflement d'abord (sols d'entailles) de retrait ensuite (sols de glacis). La formation de nodules calcaires, de concrétions ferri-manganésifères, d'argile noire est, dans l'ordre, de plus en plus tardive. L'effet d'homogénéisation convectif est douteux, l'inclusion de débris grossiers par ouverture et fermeture des fissures est constante. La faible pluviosité limite le lessivage des carbonates, sulfates, hydroxydes de fer présents dans le matériau ou apportés par les eaux de ruissellement.

2.2 LES SOLS BRUNS EUTROPHES ET LES VERTISOLS LITHOMORPHES SUR ROCHES ULTRA-BASIQUES ET SUR SCHISTES DE LA REGION SOUDANIEENNE

Les serpentines de la région de Makalondi ont été dégagées de sous un glacis cuirassé (M.2) dont les épandages recouvrent encore une grande partie du paysage. Un glacis

régulier à pente faible (1,2%) longe le lit majeur du Goroubi. Il porte des sols bruns eutrophes plus ou moins érodés et se raccorde à des dépressions subséquentes creusées en amont des panneaux cuirassés. Elles sont couvertes de vertisols à fort micro-relief souvent fossilisés par des gravillons. Plus au sud, les schistes de la série voltaïenne de l'Oti ont été dégagés de la sorte par les affluents de la Soanda. L'entaille, très courte, ne porte généralement que des sols régiques sauf en quelques points où le recul de la cuirasse a été suffisant pour que se forment des plaines à vertisols dont un nom ancien et partiellement éronné, les "marais du Kodjar", évoque le mauvais drainage externe.

2.21 S o l r é g i q u e à f a c i è s
 b r u n e u t r o p h e

Site de Potyombouri (NL 34)

Lat. : 12° 04' 0" N.
Long. : 2° 16' 50" E.
Cote : 243 m.

Pied de versant convexe de butte cuirassée; plus haut, schistes affleurants. Pluviosité : 840 mm.

Surface : épandage de gravillons, de quartz, de schistes; traces d'un léger foisonnement des schistes délapidifiés; pas de fissures.

0-10 cm : brun (10 YR 4/2); 50% de gravillons dans un emballage argilo-sableux; structure polyédrique fine (6 mm) de cohésion forte en assemblage très lâche; porosité des agrégats très faible; meuble.

Limite onduleuse; transition sur 3 cm.

10-30 cm : brun jaunâtre (10 YR 5/5); schistes argileux diaclasés à cristallisations de quartz; passe au sol par exfoliation accroissant la finesse des feuillets puis par formation progressive d'agrégats sans matériau argileux homogène apédique intermédiaire.

Site de Makalondi (NL 75)

Lat. : 12° 51' 0" N.
 Long. : 1° 47' 50" E.
 Cote : 242 m.

Partie moyenne d'un glacis: pente de 1%. Un des rares types de sol de cet ensemble; cultivé en sorgho. Pluviosité : 685 mm.

- 0-10 cm : brun foncé (10 YR 3,5/3); argilo-sableux: enduits de sables fins sur les agrégats; structure polyédrique à peu de faces, fine, bien développée; assemblage lâche; cohésion très forte; porosité des agrégats faible.
- A
- 10-30 cm : brun vif (teinte ocrée : 7,5 YR 4/4) contrastant fortement; argilo-sableux; 27% de graviers de quartz ferritisés ou à dépôts de manganèse; noyaux de roche friable sans structure identifiable; polyédrique (1-3 cm) en assemblage compact; cohésion faible, plastique (humide); porosité des agrégats tubulaires.
- A.B
- 30-53 cm : brun rougeâtre (5 YR 4/4); débris de quartz; noyaux de roche à fantômes cristallins ferritisés avec dépôt d'oxydes de manganèse; concrétions manganésifères; matrice argileuse finement polyédrique; compact.
- B de couleur
- 53-80 cm : brun-jaune vif (7,5 YR 5/6); 40% d'éléments grossiers : mêmes noyaux de roche altérée à centre noir et cortex ferritisé en jaune-rouge (1-3 cm); emballage argileux massif à l'état humide; compact.
- B.C

La finesse de la structure, l'amorce de rubéfaction sont d'un sol brun eutrophe; la richesse en fragments de roche altérée est un effet de l'érosion qui induit probablement les caractères précités. La compacité des agrégats, le type de concrétionnement appartiennent à tous les sols sur argiles gonflantes.

Site de Makalondi (NL 76)

Lat. : 12° 51' 0" N.
 Long. : 1° 45' 10" E.
 Cote : 249 m.

Dépression creusée en amont d'un lambeau de glaci
 cuirassé; surface mamelonnée; sommet. Pluviosité :
 685 mm.

- Surface : épandage de débris de cuirasse et de blocs
 de quartz; croûte pluviale craquelée.
- 0-10 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4/6); argilo-sableux,
 avec 12% de gravillons ferrugineux; des
 I.A noyaux fragiles de roche altérée avec cor-
 tex ocre et centre noir; prismatique (5
 cm, fissures de 1 mm, retrait de 2%); co-
 hésion forte; porosité des agrégats non
 visible.
- 10-25 cm : brun vif (7,5 YR 5/8); argilo-sableux;
 I.(B) noyaux de roche cristalline altérée à ta-
 ches rouges (10 R 4/4); concrétions noi-
 res; polyédrique (2-4 cm) en assemblage
 compact, les faces d'agrégats saupoudrées
 de sables fins jaunes; plastique (humide);
 porosité des agrégats tubulaires, faible;
 pas de porosité d'assemblage (humide).
- 25-55 cm : horizon de transition, humide; volumes de
 l'horizon sous-jacent inclus dans le ma-
 (B) vv tériel de l'horizon sus-jacent; concrét-
 tions très nombreuses, sphériques (1-3
 mm); fissures verticales de 0,5 cm tous
 les 20-30 cm (retrait 2%) et faces obli-
 ques lissées et striées parcourant la
 masse plastique de l'horizon.
- 55-110 cm : brun olive (2,5 Y 5/5); taches diffuses
 jaunes; concrétions nombreuses; amas cal-
 caires friables; argileux; humide, très
 II.(B) vv ca plastique; très nombreuses faces lissées
 obliques étroitement appliquées par le
 gonflement.

Ces vertisols à sommet rubéfié voisinent avec des vertisols à horizon A brun, prismatique, les premiers se situant sur des buttes, ou sur des pentes séparant les replats sur lesquels se développent les seconds. Le rougissement s'accompagne toujours de la présence de gravillons de cuirasses ferrugineuses. Des deux facteurs qui peuvent le provoquer, meilleur drainage externe ou apport colluvial, le second est certainement prépondérant. En effet, dans le profil ci-devant, le matériel rouge est plus riche en fer, relativement à l'argile, et possède une plus faible capacité d'échange que le matériel vertique brun olive; les rapports à l'argile sont respectivement de 20% et 12% pour Fe_2O_3 total, de 40 et 86 méq pour la capacité d'échange. Dans le sol brun eutrophe, également bien drainé, la rubéfaction et le taux relatif maximum de fer se situent à la base du profil. De plus, il est des sols dont la partie supérieure est un sol régique à faciès ferrugineux sur gravillons ravinant l'horizon brun olive vertique carbonaté commun à tous les vertisols de Makalondi (NL 77) :

- 0-10 cm : brun foncé (7,5 YR 4/3); 80% de gravillons
I.A de cuirasse; emballage argilo-sableux finement polyédrique.
- 10-60 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5/6); 70% de gravillons;
I.B des concrétions noires; emballage argileux, acide (pH = 5,7), finement polyédrique.
- 60-100 cm : brun jaunâtre (10 YR 6/5); 90% de gravillons;
I.C g concrétions noires plus abondantes; emballage argileux, finement structuré.

Pas de transition.

- 100-200 cm : brun olive; marbrures jaunes; concrétions
noires sphériques et amas calcaires; argileux:
II.(B) vv prismatique avec sous-structure en plaquettes
ca obliques.

Les vertisols sur schistes de l'Oti confinent aux vertisols topolithomorphes par leur mauvais drainage et aux sols hydromorphes vertiques par un développement médiocre des structures de gonflement :

Site de Potyombouri (NL 40)

Lat. : 12° 07' 10" N.
Long. : 2° 19' 10" E.
Cote : 233 m.

Partie médiane d'un glécis; pente de 1%. Pluviosité : 640 mm; prairie vivace.

- Surface : fissures de 1 à 2 cm tous les 30 cm et de 5 mm tous les 10 cm; retrait de 9,3%; trous formés par effondrements de prismes structuraux.
- 0-20 cm : gris foncé (10 YR 4/1,5) à taches brun-jaune diffuses; argileux; prismatique (30 et 10 cm); sous-structure polyédrique (2-3 cm); cohésion forte; porosité d'assemblage forte; porosité des agrégats tubulaire, médiocre.
- A g
- 20-55 cm : même couleur; ségrégations plus contrastées; concrétions noires; structure cubique à polyédrique (5 cm), sur structure prismatique (7 cm); cohésion excessive. porosité tubulaire, très faible.
- A.B g
- 55-70 cm : gris (10 YR 5,5/1); mêmes ségrégations; concrétions noires (5 mm) plus abondantes; structure en plaquettes obliques à horizontales (4 cm) en assemblage extrêmement compact; cohésion excessive; pas de macro-porosité.
- (B) vv g

2.24

R é s u m é

Dans la région de Makalondi, des vertisols à concrétions manganésifères et concentrations calcaires ont été érodés. Le matériau gravillonnaire qui les fossilise évolue en sols ferrugineux alors que la roche altérée produit des sols bruns eutrophes dont la finesse structurale et le début de rubéfaction tiennent sans doute à ce qu'ils sont riches en éléments grossiers. Tous les sols récents montrent des dépôts d'oxydes de manganèse. La délapidification des schistes de l'Oti aboutit par degrés à des vertisols dont les capacités de gonflement sont limitées et le drainage interne médiocre.

2.3 LES SOLS SUBARIDES, BRUNS TIRSIFIES ET BRUN-ROUGE DE
GLACIS, LES VERTISOLS LITHOMORPHES ET TOPOLITHOMORPHES
SUR ROCHES BASIQUES DU BIRIMMIEN

2.31 L e s s o l s b r u n - r o u g e

L'opinion que les sols les mieux drainés, rubéfiés, des glacis nus birrimmiens étaient des sols tronqués, fondée sur leur faible épaisseur (70 cm au plus) et des traits de remaniements internes, a été corroborée par la découverte lors d'une prospection détaillée d'un profil épais que nous présentons ci-dessous :

site de Komkara (GA 61)

Lat. : 14° 38' 50" N.
Long. : 0° 12' 30" E.
Cote : 261 m

Intersection d'un glacis et d'un cordon dunaire barrant ce dernier en aval; pente non mesurable; brousse dense; pluviosité : 450 mm.

- Surface : légèrement fissurée, fentes de 1 cm tous les 40 cm; retrait de 2%; des termitières (30 cm).
- 0-14 cm : brun (7,5 YR 4/2), humifère; argilo-sableux; prismatique (20 cm) sous-structure massive; cohésion très forte; compact.
- A
- 14-109 cm : brun-rouge foncé (5 YR 3/3); argilo-sableux; encore quelques fissures verticales; polyédrique à cubique (2-3 cm) en assemblage compact; cohésion excessive; porosité semi-tubulaire peu développée entre 14 et 48 cm, nulle ailleurs; quelques racines jusqu'à 60 cm.
- (B) de couleur
- 109-200 cm : marbré de brun-jaune, d'olive, de noir; concrétions (1 cm) noires, tendres jusqu'à 160 cm; argilo-sableux; polyédrique en assemblage compact; excessivement dur.
- (B) g en

sous 200 cm : graviers de quartz (5 mm) dans un emballage argilo-sableux taché de jaune.

Ce qui distingue ce profil des autres sols rouges du glaciais, c'est l'épaisseur, une accumulation organique un peu plus importante (1,5% contre 1,1% au plus) des teintes plus foncées, un engorgement de profondeur plus prononcé, la structure de retrait de surface, tous caractères qui peuvent être attribués à la situation topographique et à l'humidité édaphique supérieure en descendant. Ce qui le rapproche d'un sol brun eutrophe rubéfié, c'est la présence d'argile à forte capacité d'échange ($T/A = 60 \text{ méq}/100 \text{ g}$), la succession des horizons, le type de concrétionnement, la variation du pH, légèrement acide (6,3) en A, neutre en B, légèrement alcalin en profondeur, l'absence de variation texturale, également la forme de la structure en (B). Ce qui l'en éloigne, c'est la compacité, surtout en (A), que l'on peut encore attribuer au drainage local. Ce n'est pas un sol vertique, ni une argile noire, ni un sol brun tirsifié.

Les sols érodés, brun-rouge de glaciais, sont particulièrement typés sur les aires dénudées des brousses tigrées :

site de Dolbel (GA 33)

Lat. : 14° 33' 30" N.
Long. : 0° 22' 0" E.
Cote : 277 m.

Centre d'une bande dénudée, large de 80 m; à 20 m d'une butte de quartz filonien; dominé (+ 1m) par un ressaut arbustif à sol brun. Pluviosité : 460 mm.

- Surface : brun-rouge foncé à lit mono-granulaire de débris arrondis de cuirasse (4 mm) de quartz très émoussés; dessous croûte pluviale (5 mm) finement poreuse.
- 0-4 cm : brun-rouge foncé (5 YR 3,5/4) argilo-sableux; concrétions manganésifères non en place; structure motteuse, feuilletée, s'amincissant vers le sommet (1-4 mm) à éléments séparés de lits de sables fins particuliers.
- A
- 4-14 cm : même couleur et texture, plus des éléments du B de reg sus-jacent; cubique (3 cm) en assemblage couleur

- compact; sous-structure polyédrique (5 mm); cohésion forte; compact.
- 14-30 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 4/4); même texture; polyédrique (2-4 cm) à facettes irrégulières parfois luisantes; cohésion très forte; sur structure en navette verticale (10 x 4 cm) variante de la structure prismatique; ponctuations noires; concrétions tendres noires, (2-3 mm) en place à la base.
- (B)
- 30-64 cm : niveau détritique; base et sommet ondulés; blocs de quartz (5-20 cm) anguleux peu émoussés, sub-horizontaux, plus nombreux au sommet; gravillons mamelonnés de cuirasse ferrugineuse (5 mm); emballage argileux marbré de brun et gris, finement poreux, à nombreuses concrétions en place, noires, friables, incluant des volumes de la matrice argileuse (2 cm).
- II.B r
cn g
- 64-88 cm : schiste argileux auto-concrétionné; volumes mamelonnés, arrondis, aplatis (3-4 cm) à section noire ou zonée de jaune, rouge, violet, modérément durcis, dans un emballage argileux compact.
- III.C cn
- 88-120 cm : transition au schiste; plaquettes plus nombreuses conservant leur orientation; emballage moins abondant.
- III.C
- dessous
- 120 cm : schiste amphibolique altéré, gris, friable, à auréoles d'expurgation ocre et noires.
- III.R

L'érosion et l'amélioration du drainage sont des causes admissibles pour la transformation des sols épais du type CA 61 en sols de glaciais, à profils caractérisés par une rubéfaction très proche de la surface et des structures laminaires superficielles. Bien qu'il y ait toujours une légère accumulation de matière organique, un profil sur deux seulement montre un horizon A brun (10 YR 4,5/3) ou brun-jaune (7,5 YR 3-4/4) épais de 6 à 15 cm. S'il est sableux, par accumulation sous les bandes arbustives, il peut manifester un léger pseudogley, ou un rougissement, au contact du matériau argileux des horizons B érodés. La couleur du sommet du profil, brun-rouge, ne devient plus vive que si la texture est allégée par des sables (5 YR 4/6 à 4/8) ou des gravillons (2,5 YR 3/6). Le drainage imparfait de la base des horizons au contact de la nappe détritique y provoque la formation de taches ferrugineuses, de concrétions

manganésifères, parfois un simple brunissement, voire un début de gleyfication (teinte brun grisâtre 2,5 Y 5,5/2) ainsi qu'une augmentation de l'activité de la faune du sol (remplissages copropédiques, nids de termites, parfois calcaires). La variation - type des structures est :

feuilletée en A
cubique à sous-structure polyédrique en (B)
polyédrique à surstructure prismatique en B en g.

Sa compacité et son durcissement à l'état sec dès la surface sont très caractéristiques des sols de glacis. Le litage en A se manifeste presque invariablement (une exception sur treize cas); ce sont de minces feuillets, ou des plaquettes de 1-2 cm, ou encore un aplatissement de la structure cubique. Il ne s'accompagne pas nécessairement d'une stratification granulométrique.

Par incorporation de sables éoliens, la texture s'allège et la structure devient plus massive, de type polyédrique en assemblage compact. Il existe ainsi des intermédiaires entre les sols brun-rouge de glacis et les sols brun-rouge dunaires.

La transition aux sols bruns tirsifiés s'opère par diminution du drainage interne et de l'érosion dans les points bas ou sur les zones aplanies de la topographie. La transformation débute généralement dans les bandes arbustives avant d'opérer sur toute la surface. La rubéfaction de l'horizon médian disparaît, remplacée par une teinte brune (7,5 YR 4-5/4). Les dernières traces de rougissement se maintiennent en A sur les faces des agrégats. La structure laminaire de surface s'affaiblit, les plaquettes étant remplacées par des cubes aplatis; la surstructure prismatique y est plus fréquente, ainsi que dans le niveau moyen cubique. La base est souvent verticale, les amas calcaires y sont plus fréquents. L'apparition de ces caractères n'est pas nécessairement progressive; il existe par exemple des sols rubéfiés à base verticale (GA 54).

En latitude, les variations se bornent à un accroissement, vers le sud, de la rubéfaction, de la proportion de gravillons dans le niveau détritique, de la présence plus fréquente d'argiles d'altération sous ce dernier. Le profil le plus méridional connu est le suivant :

site de Ouro Sawabe (NK 94)

Lat. : 13° 01' 0" N.
Long. : 1° 03' 0" E.
Cote : 284 m.

Partie moyenne du bas glacis, dominé de buttes témoins cuirassées; pluviosité : 650 mm.

Surface : blocs de cuirasse en pavage et épandage de gravillons; au-dessous pellicule de sables bruns.

0-5 cm : rouge-brun (2,5 YR 3/5); quasi-cutines décolorées brun-jaune autour de pores et sur les faces d'agrégats; argilo-sableux, quelques gravillons; structure motteuse cubique à la base (4 cm) devenant progressivement feuilletée (1 mm) au sommet; faces luisantes; sous-structure à petits agrégats plats au sommet; assemblage lâche, avec vides plans de 0,5 mm; cohésion des agrégats forte à très forte, leur porosité à peu près nulle.

5-19 cm : légèrement plus clair (2,5 YR 3,5/4); taches noires, rouges et jaunes; même texture; structure cubique (5-10 cm) à faces rugueuses, en assemblage très compact; cohésion forte; porosité semi-tubulaire peu développée.

19-85 cm : brun-jaune clair (2,5 YR 6/4); taches ferrugineuses brun-rouge vif très distinctes et nombreuses se formant surtout au contact des gravillons; niveau détritique : gravillons (1-5 mm) de la cuirasse supérieure, blocs de quartz (10 cm) au sommet, graviers de quartz (1 cm) à la base, débris de schiste vert; emballage abondant (75%, gros blocs exclus) argilo-sableux à nombreuses concrétions noires et rondes (2 mm) formant des cutines bariolées au contact des débris; prismatique (10 x 4 cm) sous-structure en natte (5-20 cm) puis polyédrique à faces peu nombreuses et luisantes; assemblage lâche; cohésion des agrégats très forte; porosité des agrégats non visible.

R e l a t i o n s e n t r e l e s s o l s
r u b é f i é s d e g l a c i s e t l e s
s o l s r u b é f i é s d u r e m b l a i
s u p é r i e u r d e G o r o u o l

Les glacis sur roches basiques de la région de Dolbel s'achèvent en bordure du lit majeur du Gorouol par un remblai rubéfié de faible épaisseur dont le matériel passe latéralement à celui de brun-rouge de glacis. Le niveau détritique y est formé des mêmes éléments, mais plus émoussés. La couverture meuble n'y porte que des sols rubéfiés, de deux types. L'un ne se distingue que par une légère hydromorphie des sols épais de glacis (GA 57) :

- 0-35 cm A.g brun, marbré; argilo-sableux; feuilleté.
35-65 cm (B) brun-rouge; argilo-sableux; finement polyédrique.
65-85 cm Cg marbré; argilo-sableux; polyédrique.
85 cm r,g graviers; emballage à pseudogley.

L'autre, le plus commun, est celui de sols ferrugineux : lessivé-appauvri en A, acide en A et B (pH 5 à 6). La capacité d'échange de l'argile peut y être notablement plus faible que sur le glacis nu (36 à 65 méq/100 g). La texture est nettement moins argileuse (au plus 22% en B contre 35%); dans certaines séries, elle a pu être allégée encore par des remaniements éoliens. Le profil GA 25 en est le type :

- 0-17 cm A.I brun-jaune; sableux; massif.
17-30 cm A.2 brun-rosé; sableux; massif; poreux.
30-57 cm B.A horizon de transition.
57-116 cm B rouge-jaune (5 YR 5/6); sablo-argileux; polyédrique en assemblage compact.
116-138 cm Bg gris, marbré; argilo-sableux; massif.

138 cm r, cn graviers; emballage argilo-sableux à concrétions noires.

L'horizon le plus profond, mal drainé, est ordinairement saturé et neutre, souvent à concrétions manganésifères. Si l'on ajoute que ce même remblai supérieur porte des sols bruns tirsifiés en amont de Kossa, on constate que sa couverture pédologique est intermédiaire entre celle des remblais à sols purement ferrugineux des bassins à sols uniquement kaoliniques (Mekrou) et celle du remblai inférieur à sols vertiques. Comme la source principale des alluvions paraît la même, les sols du glacis inférieur, il faut bien admettre que ceux là se sont modifiés d'une période de remblaiement à l'autre. Les sols correspondant au remblai supérieur devaient être plus lessivés et désaturés pour avoir libéré des matériaux plus sableux et à argile à capacité d'échange plus basse, tout en étant capables dans certains cas d'avoir fourni des argiles sableuses vertiques. Ces caractères composites ne sont plus réunis actuellement au Niger mais existent dans les "sols rouges tropicaux", groupe des sols "ferriallitiques" (SEGALEN, 1966) dont les argiles sont un mélange de montmorillonite, kaolinite, illite (T/A de 30 à 60) et dont les horizons A peuvent être acides et appauvris. Ils peuvent également être assemblés dans des chaînes à sols ferrugineux et à sols illuviaux smectitiques (Nigeria, Cameroun, GAVAUD, 1968). Les sols correspondant au remblai inférieur pouvaient être plus proches des sols de glacis actuels dont le terme mal drainé est précisément le sol brun tirsifié.

2.33 Relations entre les sols rubéfiés du glacis nu et les sols indurés

Les sols brun-rouge ne montrent d'autre induration que celle du niveau détritique par des ciments manganésifères. Elle a été observée en deux sites de bas de glacis dans le bassin de la Sirba (NM 4) et du Goroubi (NK 85) sous une pluviosité de 625 mm. La succession des horizons n'est pas modifiée (A-(B)-IIB r cn); la diminution du drainage interne assombrit la couleur brune de l'horizon A (10 YR 3,5/2, 5 YR 2/1) peut jaunir l'horizon rubéfié (7,5 YR 4/4) produit du pseudogley au-dessus de la

cuirasse, développe une surstructure prismatique en A. Ce cuirassement est donc différent de celui du modelé M.2, ferrugineux et à trame kaolinique. Le contact de ces deux ensembles de sol est masqué par les débris de la cuirasse ferrugineuse étalés aux pieds du petit escarpement qui les sépare. En quelques dizaines de mètres, la masse gravillonnaire s'incorpore à la terre fine rubéfiée et gonflante puis se concentre en un niveau distinct séparant cette dernière de l'argile verticale d'altération :

site de Tambole (NK 92)

Lat. : 13° 02' 50" N.

Long. : 1° 24' 30" E.

Sommet du bas glacis nu (M.3); à 20 m de l'escarpement de la cuirasse ferrugineuse du modelé M.2.

a) - mélange des phases

0-10 cm : brun-rouge (7,5 YR 3/2); gravillons ferrugineux à emballage sablo-argileux; prismatique A (7 cm), sous-structure feuilletée; cohésion très forte; compact.

10-30 cm : brun-rouge vif (5 YR 4/4); argilo-sableux avec gravillons ferrugineux; cubique (1-5 cm), surstructure prismatique; cohésion forte. (B)

30 cm : lit onduleux de gravillons.

30-63 cm : brun grisâtre foncé (10 YR 3,5/2); argileux; II (B) nodules calcaires (2 mm); structure en plaquettes obliques (2 x 5 cm); cohésion très forte, compact. ca vv

63-90 cm : plus jaune; argile d'altération (3ème degré de Wackerman) à nodules et amas calcaires; II C ca massive sauf quelques fissures calcarifiées.

90-155 cm : schistes gris olivâtre altérés (2ème degré de Wackerman) à cutines incolores de montmorillonite. II R

b) - superposition des phases

- 0-5 cm : brun-rouge foncé (5 YR 3,5/4); argilo-sableux; A cubique à feuilleté.
- 5-44 cm : brun-rouge (5 YR 4/5); argilo-sableux; prismatique à sous-structure cubique; cohésion (B) forte.
- 44-54 cm : gravillons ferrugineux de cuirasse.
- 54-155 cm : suite II B, C, R comme ci-dessus.

Les deux systèmes de sols, ferrugineux indurés et smectitiques, paraissent donc bien distincts sur le Birrimien du Niger, sans continuité topographique, sans manifestation de convergence dans l'état actuel du glacis nu, sinon limités à une acidification et à un appauvrissement des horizons A dans l'hypothèse de sols "rouges tropicaux" anciens.

2.34

L e s s o l s b r u n s t i r s i f i é s

Les sols bruns tirsifiés sont des profils bruns formant le passage, en milieu subaride, entre les sols brun-rouge de glacis et les vertisols. Cette transition est, le plus souvent, le fait d'une position topographique intermédiaire, parfois d'une texture insuffisamment argileuse. Ils se distinguent des sols rubéfiés par leur couleur, des vertisols par l'absence de structures de gonflement nettes. Ils ont une teinte foncée, une structure fragmentaire cubique en surface ou près de la surface, devenant prismatique en profondeur où peuvent se former quelques faces obliques lissées. Bien développés dans certains flats alluviaux, ils sont moins épais, polyphasés, avec des structures superficielles laminaires sur les glacis.

Ils occupent des aires planes et basses colmatées par les produits de ruissellement des glacis, soit en amont d'un bouchon sableux, levée fluviale ou dune, soit au contact des grandes plaines alluviales. La pente y est très faible, le ruissellement superficiel, diffus, moins érosif que sur les glacis : la surface de ces sols, brune ou brun-jaune, est en effet encroûtée mais moins mordue par les nappes ravinantes, plus rarement couverte de débris ruisselés. L'angorgement temporaire de surface y est au contraire plus fréquent, prolongé, et se manifeste dès la première tornade. Il se traduit par des déformations

superficielles :

- effondrements de prismes, donnant des trous de quelques décimètres de diamètre, à la périphérie des bandes de végétation;
- dépressions organisées en chenaux anastomosés au contact des lits majeurs.

Les surfaces couvertes par les sols bruns tirsifiés sont médiocres parce qu'elles correspondent à la désorganisation du réseau hydrographique secondaire. Une première exception est formée par la plaine alluviale en position de remblai supérieur s'étendant sur trois kilomètres de large et dix kilomètres de long entre Fatako et la frontière de Haute Volta, le long du lit majeur du Gorouol. Elle est formée par la coalescence des colmatages de pieds de glacis derrière un barrage dunaire et réunit des flats à sols bruns tirsifiés, des cuvettes à vertisols, des levées sableuses, parallèles au Gorouol, à sols bruns. Une seconde exception est formée par des glacis entièrement recouverts de sols bruns tirsifiés sur des matériaux plus argileux que ceux des sols brun-rouge. La roche mère est alors formée de "migmatites" ou diorites quartziques dans la terminologie du métamorphisme, de faciès d'altération du premier degré, restructurés et à silicifications secondaires, de roches gabbroïques grenues selon l'interprétation de WACKERMAN (1967). Inversement un allègement par des sables à mise en place complexe a pu être observé; il produit des sols bruns de transition vers les sols "bruns à drainage réduit" des sables dunaires ou fluviatiles. Donc, si l'évolution en sol brun est due à une diminution du drainage, l'évolution en sol brun tirsifié est due à la réduction du drainage interne d'origine texturale combinée ou non à une situation topographique à drainage externe médiocre.

L'effet de ce mauvais drainage dans les horizons profonds : structure verticale, nodules calcaires, pseudo-gley, est le meilleur critère permettant de séparer les divers types morphologiques. Le mieux drainé est celui des sols érodés situés à la base de la plupart des glacis; il ne se distingue guère que par la couleur des sols brun-rouge :

site de Namaga (NO 59)

Lat. : 14° 06' 30" N.
Long. : 1° 02' 0" E.
Cote : 259 m.

Bas de glacis à sols brun-rouge sur schistes amphiboliques; pente de 1%. Pluviosité : 500 mm.

Surface : brun-jaune; croûte squameuse.

C-7 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/5); base grise; argileux.
A structure en écailles horizontales (2-3 cm);
cohésion moyenne à forte; compact.

7-45 cm : brun (5 YR 3/3,5); argileux avec gravillons;
(B) cubique (1-4 cm) à faces luisantes, en assemblage lâche (fissures de 1mm); surstructure prismatique peu développée; cohésion très forte.

45-80 cm : niveau gravillonnaire festonné pouvant atteindre la surface; gravillons de la cuirasse supérieure, de cuirasse manganésifère, graviers de quartz; emballage brun argileux, polyédrique et compact.
II, r

45-115 cm : brun olive (2,5 Y 4/3); argileux; concrétions rondes manganésifères et amas calcaires; structure en plaquettes obliques (4 cm); très compact et dur.
III (B) vv
ca cn

L'épaisseur de ce type ne dépasse pas 50 cm. Elle atteint un mètre sur les glacis à "migmatites" où des structures verticales et la nodulation calcaire apparaissent :

site de Lourgoubango (NM 99)

Lat. : 13° 50' 40" N.
Long. : 0° 39' 40" E.
Cote : 267 m.

A mi-pente du glacis nu; des restes d'ensablement éolien (buttes); dominé par une butte cuirassée; pluviosité : 535 m.

Surface : brune, sableuse; des effondrements de prismes.

- 0-5 cm : brun-jaune (10 YR 5/4); sableux; massif, feuilleté au sommet; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire bien développée.
A
- Pas de transition.
- 5-25 cm : brun foncé (7,5 YR 4/3); argilo-sableux; prismatique (84 x 26 cm, fissures de 1 à 5 cm, retrait de 7%); sous-structure cubique au sommet (2 cm) polyédrique à la base; cohésion excessive; porosité nulle.
II.A
- 25-53 cm : brun-jaune foncé (10 YR 4/3); argilo-sableux; même structure prismatique; sous-structure prismatique; quelques faces de glissement obliques (3 cm) mal dégagées; cohésion excessive; compact.
II.(B) v
- 53-88 cm : plus clair (10 YR 5/3); argilo-sableux; massif, avec encore quelques fissures verticales, et des faces de glissement; cohésion excessive, très dur.
II.BC v

Des concrétions manganésifères, des amas et nodules calcaires peuvent se former en abondance dans les horizons (B) et B.C (NO 58, Wama).

Les sols des dépressions les plus communs peuvent atteindre 1,5 m, sont également vertiques et à nodules calcaires :

site de Yatakala (GB 29)

Lat. : 14° 47' 20" N.
Long. : 0° 27' 0" E.
Cote : 238 m.

Petit flat de bas de glacis; sous seyaleraie; pluviosité : 425 mm.

- 0-5 cm : brun-rouge (7,5 YR 4/4); sablo-argileux, à sables ruisselés roulés; massif, débit polyédrique; cohésion et dureté excessives; très compact.
A
- 5-27 cm : brun foncé; argileux; polyédrique en assemblage compact; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire fine bien développée.
II.A

27-100 cm : brun foncé (10 YR 3/3); argileux; massif;
II.(B) quelques faces lissées obliques; des nodules
v ca calcaires; très dur et cohérent.

100-120 cm : gravillons (1 cm) de cuirasse et débris de
II.(B) quartz dans un emballage argileux gris ta-
r g ché de jaune.

Les sols tirsifiés du remblai supérieur du Gorouol sont
à pseudogley de profondeur :

site de Dayaondo (CA 8)

Lat. : 14° 26' 0" N.

Long. : 0° 13' 40" E.

Cote : 340 m

Plaine alluviale; Pluviosité : 475 mm

Surface : croûte pluviale; épandages de débris de quartz.

0-15 cm : brun-jaune (10 YR 5/5); argilo-sableux; cubi-
que (3 cm) en assemblage compact; surstructure
A prismatique (20 cm) peu développée; cohésion
très forte; compact.

15-80 cm : même couleur; même texture; structure en pla-
quettes légèrement obliques (3 x 1 cm) en as-
(B) v cn semblage très compact à faces généralement ru-
gueuses, rarement lissées; cohésion excessive;
des concrétions noires, sphériques, petites;
des concentrations calcaires d'origine biolo-
gique.

80-140 cm : brun-jaune à taches gleyfiées gris bleuté;
même texture; massif, parcouru de faces plus
(B) v g nettement obliques et lissées, surtout dans
cn les zones gleyfiées; très compact, cohérent
et dur; mêmes concrétions.

Dans les flats, des profils polyphasés démontrent la ré-
alité de l'alluvionnement. Lorsque les phases sont argilo-
sableuses, la succession des horizons n'est pas modifiée.
Sur les glacis, des recouvrements éoliens ont produit des
pseudo-profils bruns apparemment appauvris en surface :

site de Dolbel (GA 34)

Lat. : 14° 43' 30" N.
Long. : 0° 22' 0" E.
Cote : 278 m.

Contact glacis nu dune ancienne; brousse tigrée; bandes nues à sols brun-rouge décapés (cf GA 33); profil sur bande arbustive en ressaut de 1m; pluviosité : 460 mm.

Surface : brune; des turricules de vers.

0-14 cm : sables lités ruisselés progressivement incorporés (vers) à l'horizon suivant :

14-28cm : brun; sablo-argileux, les sables éoliens;
A massif à débit polyédrique; cohésion forte; peu poreux.

28-64 cm : brun vif; sablo-argileux; polyédrique (1 cm)
(B) en assemblage compact; cohésion moyenne à forte.

64-96 cm : brun foncé; argilo-sableux; massif à débit
polyédrique très dur; nombreux nids de my-
cotesmes.
II (B)

96-116 cm : brun marbré de jaune et gris; argileux; très
II (B) g dur et compact.

sous 116 cm : niveau gravillonnaire avec concrétions manganésifères.

L'incorporation progressive de sables éoliens au matériau argileux est le fait de vers. La phase II argileuse affleure, érodée et rubéfiée, dans les bandes nues. L'évolution des sols dépend donc des conditions actuelles d'humectation, ici déterminées par le couvert végétal.

2.35

L e s v e r t i s o l s

Les vertisols lithomorphes sont rares sur le Birrimien où l'argile verticale d'altération est généralement fossilisée par la couverture à sols brun-rouge et sols tirsifiés. Les vertisols topolithomorphes peuvent se former au centre des plaines à sols bruns tirsifiés. On en

connait sur le remblai supérieur du Gorouol qui diffèrent des sols bruns tirsifiés à pseudogley de profondeur (GA 8) par une structure en plaquettes obliques bien développées dès 50 cm.

2.36

R é s u m é

La couverture pédologique se différencie sur des argiles sableuses séparées d'une altérite verticale par une nappe détritique. La toposéquence sol rubéfié, sol brun est le fait d'une diminution du drainage interne par alourdissement de la texture, combiné le plus souvent à une réduction de la pente. Les sols rouges ne sont pratiquement connus qu'érodés sur toute l'étendue ou le Birrimien affleure (425 à 650 mm). Les sols les mieux conservés ne se distinguent que par leur compacité de sols bruns eutrophes rubéfiés, compacité qu'on ne peut malheureusement pas rattacher à un facteur externe climatique du fait du site de ces témoins. La nature des sols du remblai supérieur implique l'existence de sols plus désaturés, à argiles à capacité d'échange plus basse, de ce type "rouge tropical" faisant transition vers les sols ferrugineux sur le glacis inférieur. Les sols brun-rouge peuvent être interprétés comme une réorganisation structurale des anciens horizons (B) ou B, sous l'effet de l'érosion en nappe et du régime hydrique très contrasté régnant sur ces surfaces peu perméables. Cette destruction progressive de la couverture initiale a commencé il y a fort longtemps puisque les sables dunaires ne fossilisent jamais que des profils tronqués au niveau des horizons (B) ou de la nappe détritique. L'évolution des sols polyphasés ainsi formés répète toujours celle du sol enfoui, ce qui implique une permanence des conditions de drainage locales. Les sols bruns, à structures prismatiques et faiblement verticales, à concrétionnement manganésifère et nodulation calcaire, peuvent, de même, fort bien dériver de sols bruns eutrophes verticales. Cela est démontré pour les plus minces d'entre eux, situés à la base des glacis, par leur parfaite continuité avec les sols brun-rouge, c'est-à-dire avec des sols tronqués et structurellement réorganisés. Cela est encore possible, sans être démontrable, des sols épais des glacis sur migmatites. C'est très douteux des sols des zones d'accumulation, des flats, pour lesquels il n'existe aucune cause de modification morphologique et qui peuvent être plus récents que les sols les plus anciens des glacis.

Les variations latitudinales sont très mesurées. Les unes tiennent à des facteurs géomorphologiques. L'abondance des cuirasses anciennes dans le sud a favorisé le développement de la nappe gravillonnaire: dans le nord, l'invasion dunaire a permis la formation des plaines à sols bruns tirsifiés et des profils polyphasés. Les autres tiennent au gradient pluviométrique. Dans le nord, la végétation ne peut se développer que si les eaux de ruissellement sont concentrées sur des aires privilégiées, dépressions ou bandes arbustives. Les horizons humifères peuvent manquer, et sont moins foncés que dans le sud, où de surcroît le concrétionnement manganésifère est plus important.

2.4

LES SOLS BRUN-ROUGE ET BRUNS TIRSIFIES COMPLEXES, LES VERTISOLS TOPOLITHOMORPHES DU DAMAGARAM

L'élément principal du paysage est formé de plaines à vertisols en place sur argiles d'altération et sur alluvions, subissant un léger engorgement temporaire de surface du fait de barrages dunaire. Elles sont entourées de glacis adossés à des barres de quartzite, fortement ensablés et érodés. Les caractères structuraux des sols bruns tirsifiés et la rubéfaction des sols brun-rouge y sont associés dans des profils complexes. Le mélange des argiles gonflantes avec des sables éoliens y produit des faciès de transition vers les sols ferrugineux. L'existence d'argiles d'altération alcalisées ne paraît pas avoir eu d'influence importante sur la couverture pédologique.

Il n'est pas possible de réduire les sols de glacis à un petit nombre de types. L'exemple ci-dessous n'est qu'une des multiples combinaisons possibles de caractères de sol brun et brun-rouge :

site de Zermou (NA 38)

Lat. : 13° 50' 25 " N.
Long. : 9° 16' 20" E.
Cote : 420 m.

Partie moyenne d'un glacis à faible pente moyenne (0,2%)

mais fortement érodé par nappe, rigole, ravine. Pluviosité : 500 mm.

Surface : épandage de cailloux de quartz, quartzite.

0-5 cm : brun-jaune à trainées grises; texture hétéro-transit gène argilo-sableuse à sablo-argileuse; lits colluvial de sables grossiers; feuilleté; cohésion moyenne à faible; porosité tubulaire grossière.

5-45 cm : brun foncé (7,5 YR 4/3); taches ferrugineuses
A g jaune rougeâtre foncé; sablo-argileux; des fissures fines tous les 30 cm jusqu'à 75 cm; cubique (1-5 cm) à surstructure prismatique; cohésion excessive; quelques pores tubulaires.

45-75 cm : rouge jaunâtre foncé (5 YR 3,5/4); argilo-sableux; polyédrique à cubique en assemblage
(B) cn compact; cohésion excessive; concrétions manganésifères sphériques, petites, très nombreuses.

75-87 cm : brun-jaune (10 YR 5/4); argilo-sableux; pseudo-mycelium calcaire très fin; agro-tubules grises; polyédrique en assemblage très compact;
(B) ca de gros vides tubulaires; méso-faune abondante.

87-100 cm : cailloux anguleux de quartz et concrétions
II r,g,ca ferrugineuses dans un emballage argilo-sableux bariolé à pseudo-mycelium calcaire.

Deux kilomètres en aval, ce cailloutis atteint 3,25 m et sépare un sol brun tiraïfié épais de 1,75 m d'une arène d'altération.

Les profils, ou pseudo-profils, à aspect de sol ferrugineux sont situés aux pieds des dunes d'obstacle :

site de Gafati (NA 44)

Lat. : 13° 55' 25" N.

Long. : 9° 3' 20" E.

Cote : 440 m.

Bas de glacis ensablé adossé à des collines de quartzites; pluviosité de 490 mm; sol cultivé, comme un sol dunaire.

Surface : 3 cm de sables déliés jaune-rouge.

- 0-7 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5/6) à lits organiques gris; sables divers : éoliens, grains anguleux de quartz, gravillons ferrugineux; stratifié; feuilleté; quelques gros pores; compact.
- A p
- 7-20 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4,5/6); sableux; débit polyédrique; cohésion moyenne; bonne porosité intersticielle.
- A.B
- 20-35 cm : rouge (2,5 YR 3,5/6); rubéfaction croissant vers la base; sableux à sablo-argileux; polyédrique en assemblage compact; cohésion forte; très forte porosité, tubulaire et intersticielle.
- (B) de couleur
- Changement rapide de texture.
- 35-55 cm : un peu plus rouge; argilo-sableux; polyédrique (1-2 cm) en assemblage compact; cohésion forte; porosité réduite.
- II (B)
- 55-70 cm : rouge jaunâtre foncé (5 YR 4/6); un peu plus argileux; polyédrique, les faces des agrégats lissées; cohésion forte; de gros pores; des concrétions manganésifères petites et rondes.
- II (B) cn
- 70-170 cm : cailloutis subdivisé en trois horizons :
- III (B)
- | | | |
|--------|---------|--|
| r cn | 70-100 | graviers de quartz; cutines et concrétions manganésifères rouge-jaune en enduits argileux; |
| | 100-140 | graviers de quartz; fort concrétionnement manganésifère au sommet; |
| r cn g | | emballage argileux gris à taches ferrugineuses jaunes et rouges. |
| | 140-170 | blocs de quartzite; emballage argileux à taches ferrugineuses; |
| r ca g | | pseudomycelium calcaire. |

Ce profil est exactement comparable, à la rubéfaction près, au profil brun polyphasé sur Birrimien cité ci-dessus (GA 34). La superposition des phases est indiquée par le contact planique à 35 cm, inhabituel dans les sols ferrugineux lessivés et rubéfiés que ce profil mime par la variation des couleurs et des structures. Une évolution d'ensemble des deux phases est certaine, un léger

lessivage de chacune d'elles possible. Les pH étant toutefois proches de la neutralité (6,6 en Ap, 6,3 en II (B), 6,8 en II (B) cn) la capacité d'échange de l'argile forte (80 méq/100 g) la parenté avec les sols brun-rouge de glacis est également évidente.

Les vertisols topolithomorphes sont remarquablement typés :

site de Gafati (NA 36)

Lat. : 13° 49' 45" N.

Long. : 9° 6' 25" E.

Cote : 417 m.

Plaine; pluviosité : 500 mm.

Surface : croûte argileuse lisse masquant des fentes de retrait espacées de 40 cm descendant jusqu'à 10 cm.

0-25 cm : brun-jaune foncé (10 YR 4/3); quelques taches ferrugineuses jaunes autour de pores;
A g argileux, avec graviers et cailloux de quartz; structure en plaquettes horizontales au sommet (1 cm) cubique en profondeur (3 cm), en assemblage compact prismatique; cohésion excessive; faible porosité tubulaire: très peu de racines.

25-60 cm : brun foncé (10 YR 4/2); argileux, avec débris de feldspath, micas, grains calcaires; structure en plaquettes obliques (5 cm x 10 cm, 45°) faces lissées et striées; cohésion excessive; compact.

60-100 cm : brun à nuance olivâtre (10 YR 4,5/4); même texture; polyédrique en assemblage compact, la masse étant divisée par de très grandes faces de glissement obliques mal dégagées, ne se recoupant pas pour former des peds; cohésion excessive; maximum de compacité; nodules calcaires (1 cm) formant 3% du volume total.

sous 100 cm : micaschiste altéré à nodules calcaires et argile brune.

Près de Miria existent des argiles d'altération à nodules calcaires, parfois à gypse, pouvant être franchement alcalisées (Na/T de 23%, pH de 8,4). Elles sont fossilisées par une nappe gravillonnaire issue de la destruction de l'aurole cuirassée de la cote 410 et recouvertes d'argiles sableuses à sols bruns tirsifiés et brun-rouge de glacis où le taux de sodium ne dépasse pas 3% de la capacité d'échange et qui peuvent même être légèrement désaturés.

3. E T U D E A N A L Y T I Q U E

3.1 LES TEXTURES

Les taux d'argile croissent des sols brun-rouge (25 à 35%) aux sols bruns tirsifiés (25 à 40%) et aux vertisols (25 à 57%). Ils diminuent jusqu'à 15% dans les horizons A, fortement pollués de sables ruisselés, jusqu'à 4% dans les apports éoliens. Ils déterminent, avec la capacité d'échange, la macrostructure :

- la structure en plaquettes obliques apparaît pour plus de 38% d'argile et une capacité d'échange de plus de 23 milliéquivalents
- la structure des sols vertiques, massive avec quelques plans obliques **et lissés**, apparaît avec plus de 28% d'argile et une capacité d'échange de plus de 17,5
- les structures de retrait cubiques, prismatiques des sols bruns et brun-rouge se forment pour plus de 25% d'argile et une capacité d'échange de plus de 16.

S'il est possible d'obtenir de telles limites sans estimer le régime hydrique, c'est que ce dernier n'est pas indépendant de la texture qui définit la perméabilité et dépend elle-même de la situation sur la toposéquence.

Les mêmes règles valent pour les sols bruns eutrophes qui doivent leur structure fine à un allègement structural par des noyaux résiduels de roche altérée; le taux d'argile, de 36% dans la terre fine, n'est que de 22% pour la masse du sol contre 38% dans les vertisols de la même famille; la capacité d'échange n'est que de 11 méq contre 33.

Les textures résultent d'une concentration progressive du squelette grossier dans un matériau représenté par les argiles d'altération ou de délapidification, les sols les moins argileux étant les sols rubéfiés des parties hautes du modelé. Actuellement, il n'est pas de type de sol dont les horizons supérieurs ne peuvent s'intégrer les éléments grossiers des épandages superficiels. Cette inclusion de sables fait chuter de 12% les taux d'argile des horizons A des sols vertiques de l'Ader Douchi, de 18% ceux du Damagaram. Les sols bruns eutrophes contiennent jusqu'à 12% de gravillons en surface. Le cas extrême est celui des sables éoliens qui fossilisent des sols bruns tirsifiés et brun-rouge, celui des nappes gravillonnaires qui recouvrent les vertisols méridionaux. L'apport n'est pas nécessairement grossier. Nous avons observé sur les glacis du Damagaram deux profils dont les horizons A étaient les plus argileux et possédaient les rapports argile/limon et sable fin/sable grossier les plus élevés. Ce décalage de la granulométrie vers les fractions fines s'expliquait par le micro-alluvionnement formant les croûtes argileuses en fin de ruissellement. L'apport peut également être nul, surtout dans les zones d'érosion en nappe. Selon le cas l'horizon supérieur d'un sol de ces glacis est modifié par apport ou érosion, la résultante étant en faveur de cette dernière. Les fractions fines s'accumulent dans les bas de pente et flats à sols tirsifiés et sols vertiques, les éléments grossiers résiduels transitant plus lentement le long de la pente. Ces processus agissent sur un matériau qui est lui-même, la plupart du temps, le résultat de processus d'apport dont on ne sait rien, sauf que la zone d'emprunt est, au moins pour le plasma, l'altérite locale. On a vu que le lessivage aurait pu prendre place, dans les sols rubéfiés, soit que des témoins fossilisés existent encore (Damagaram) soit que son existence fut théoriquement nécessaire pour expliquer la nature d'alluvions. Mais actuellement on ne constate d'autre agent de l'appauvrissement superficiel que l'érosion. Il est donc intéressant de le comparer à celui qui est dû également à une forte mobilité plasmique, comme dans les sols ferrugineux lessivés :

	soils ferrugineux	soils smectitiques
taux d'argile en A (5 cm)	4-15	22-40 (1)
taux d'argile en B (60cm)	10-33	25-50
rapport des taux (B/A)	2,1-5,1	1,0-2,2 (2)
(1) horizons éoliens exclus		
(2) mode de 1,25		

L'érosion différentielle est donc nettement moins efficace que lorsqu'elle est combinée au lessivage. Pour fixer les idées, nous avons calculé que si elle agissait dans un sol ferrugineux lessivé moyen (rapport de lessivage de 3) avec la même intensité que dans un sol smectitique moyen (rapport de 1,25) elle ne contribuait que pour 22% à la différence des taux d'argile entre les horizons A et B.

Symétriquement les taux de sables tendent à croître en surface; les sables grossiers sont très peu abondants dans les vertisols mais forment près de la moitié des sables dans les sols rubéfiés. Le taux des limons dépend de la roche mère. Il varie de 5 à 15 (rapport argile/limon de 7 à 2,5) sur les roches basiques; il atteint 35 sur les argilites (rapport argile/limon de 1,3) et 45 sur les marnes (rapport de 0,55).

3.2 Fe_2O_3

Les taux de fer libre varient dans un grossier parallélisme avec ceux de l'argile granulométrique. En particulier ils ne diminuent pas par rapport à cette dernière dans les horizons A. Au contraire ils croissent de façon relative et absolue vers le sommet des vertisols rubéfiés du Dameergou, ce que nous avons déjà interprété comme un apport d'oxydes par les eaux de ruissellement. Ce rapport du fer libre à l'argile est de 12 à 20% dans les sols brun-rouge, de l'ordre de 7% pour tous les autres sols, à l'exception des vertisols lithomorphes de l'Ader Douchi (12%). Le rapport du fer libre au fer total est évidemment accru des horizons C aux horizons B, de 33 à 53% sur roches ultra-basiques, de 51 à 77% sur micaschistes, de 71 à 85% sur argilites de l'Ader Douchi. Il s'établit à des valeurs peu variables dans les profils, paraissant dépendre du type morphologique : 69 à 77% dans les vertisols, 35 à 64% dans les sols bruns tirésifiés, de 55 à 75 % dans les sols brun-rouge, et de la

roche mère : très élevé sur les argilites de l'Ader Douchi (71) il ne dépasse pas 54 sur les roches ultrabasiques.

Les oxydes de fer ne dépassent pas les taux des smectites ferrifères (de l'ordre de 24% pour une beidellite-nontronite) suivent les variations de l'argile granulométrique dans la plupart des cas, s'accumulent quelque peu dans les sols brun-rouge et en surface des sols des glaciaires les plus arides.

3.3 MATIERE ORGANIQUE

Pluviosité Région	300 Damer gou	375 Ader Douchi	450-650 Liptako et Damagaram	675 Makalondi	825 Soanda
Vertisols topolithom.	taux mat.org. C/N	2,0-3,5 15-17	1,0 10,4		2,0 8,3
Vertisols lithomorphes		0,6-0,9 8,0-14,4			
Bruns tirsifiés et eutrophes			0,6-1,2 6,0-12,8	1,3 13,3	
Sols régiques divers	0,25 6,4		0,38 7,8	0,7 10,0	0,8 12,4
Brun-rouge	0,4 7,6		0,5-1,1(1) 8,9-10		

(1) 1,5% (C/N de 9,7) dans un profil exceptionnellement épais.

La matière organique est d'autant moins abondante que le couvert végétal est moins dense et le sol plus érodé, les minima se situant en zone sahélienne, sur les sols régiques, sur les bandes nues des brousses tigrées et les maxima caractérisant les vertisols topolithomorphes. La présence de calcaire finement divisé dans la masse est responsable des taux relativement élevés des sols de l'Ader Douchi. Les taux décroissent lentement dans les sols les plus pauvres, d'environ 15% sur les 20 premiers centimètres si leur valeur est inférieure à 0,5%. Cette diminution est de 30 à 50% pour des taux de l'ordre de 1%, à l'exception encore des sols calcaires de l'Ader Douchi. La répartition isohumique est donc une caractéristique de sol pauvre, de sol érodé, souvent mais non obligatoirement située en milieu

sahélien, ou de sol à calcaire actif. Les rapports C/N croissent avec irrégularité parallèlement aux taux de matière organique dont leurs faibles valeurs traduisent la bonne évolution.

3.4 BASES ECHANGEABLES, SELS, pH

Pluviosité Région	300 Damerگون	375 Ader Douchi	450-650 Liptako et Damagaram	675 Makalondi	825 Soanda
Vertisols topo-lithom.	pH, en surface pH, en profond.	6,5-7,2 7,2-7,5			6,2 6,4
Vertisols lithomorphes	8 8,1	7,1 6,5	7,5 8,1	x 7,2	
Sols bruns eutrophes				5,7 6,2	6,3 x
Sols bruns tirsifiés			5,7-6,3 (1) 6,2-7,9		
Brun-rouge	6,6 7,0		5,5-6,3 6,8-7,4		

(1) séries à pseudogley, pH de 5,1 à 5,5 en surface, de 6,0 en profondeur.

Tous ces sols sont saturés, et les pH voisins de la neutralité. Les horizons A des sols bruns et brun-rouge ainsi que des vertisols les plus méridionaux sont légèrement acides, cette acidification pouvant être accentuée par l'hydromorphie. Les horizons profonds et les argiles d'altération à nodules calcaires sont légèrement alcalins. Les coefficients de saturation s'abaissent exceptionnellement à 80% en surface des séries tirsifiées à pseudogley.

La somme des bases échangeables est toujours élevée, du fait de la saturation et de la capacité d'échange élevée des argiles. Elle est de l'ordre de 16 à 20 méq pour les sols brun-rouge, de 20 à 26 méq pour les sols bruns tirsifiés, de 11 à 20 pour les sols bruns eutrophes, de 25 à 40 pour les vertisols. Le calcium et le magnésium en constituent plus des quatre vingt dix centièmes, en proportions à peu près égales sur les roches basiques et les schistes de l'Oti, avec un fort excès du calcium sur les

argilites et les marnes. Des alcalins, le sodium est le moins rare; il atteint 7% de la capacité d'échange sur les argilites du Damergou, 5% dans le matériau d'altération des roches du Damagaram et de l'Ader Douchi, mais est inférieur à 4% partout ailleurs. Il a tendance à être plus abondant en profondeur à l'inverse du potassium que la végétation concentre parfois en surface.

Les sels ne sont jamais en quantités importantes ou actives sur la structure, même sur les argilites qui en libèrent les quantités les plus fortes. On observe leur lessivage en profondeur jusque dans le Damergou, la région la moins arrosée.

3.5 PROPRIETES PHYSIQUES

	Eau emmagasinée, en mm pour une profondeur donnée en cm		Porosité totale (retrait inclus)	Porosité pour l'air à PF 3
	PF 3	(PF 3-PF 4, 2)	% volume	% volume
Vertisols	400 à 550mm/100	180 à 200mm/100	27 à 40	0
Brunseutrophes	116mm/80	55mm/80	x	x
Brunstirsifiés	250 à 280mm/100	110 à 130mm/100 en profondeur 24	25 à 32	3 à 8 0
Brun-rouge	150mm/50	65mm/50 en profondeur 27	27 à 32	1 à 5 0

C'est une caractéristique de cet ensemble de sol que de posséder des porosités du même ordre de grandeur que la capacité de rétention, propriété dont l'expression morphologique est le faible développement de la porosité macroscopique en dehors des vides de retrait. La stabilité structurale est moyenne à médiocre. Les vertisols à calcaire finement divisé, les sols bruns eutrophes, renferment de grandes quantités d'agrégats stables sans que leur perméabilité prenne pour autant des valeurs élevées. Dans les autres types, les agrégats sont très sensibles au prétraitement au benzène et modérément sensibles à l'absence de prétraitement protecteur, comportement des sols bien agrégés mais pauvres en matière organique.

4. C O N C L U S I O N S

4.1 DEVELOPPEMENT DES PROFILS ET PRINCIPAUX PROCESSUS D'EVOLUTION

La succession A - (B) - (B) ca, cn, g, v résume tous les profils à argiles gonflantes de cet ensemble, également caractérisés par un fort développement pédique, par la saturation, au moins des horizons profonds, par des teintes brunes ou noires, sauf la rubéfaction éventuelle de l'horizon (B) médian. Ce brunissement est dû, au moins dans les vertisols, à une association particulière de la matière organique et du plasma minéral. Ce dernier est peu susceptible de lessivage mais est fréquemment séparé du squelette par érosion superficielle. Les oxydes de fer sont inclus dans l'argile ou lui sont fortement associés de telle sorte que leur concrétionnement y est très limité. Les taches du pseudogley, la rubéfaction des sols les moins humides les décèlent plus ordinairement. Une perméabilité faible, des capacités de stockage de l'eau considérables, une macroporosité limitée aux seules fissures du retrait sont des facteurs favorables au confinement des solutions du sol nécessaire à la paragenèse smectites-carbonates.

4.2 LES VARIATIONS

4.21 L e s t o p o s é q u e n c e s

Les divers types sont avant tout des variantes

structurales tenant à des modifications concomitantes du régime hydrique et de la texture, réparties de ce fait en toposéquences où seuls les carbonates et oxydes de manganèse paraissent circuler. La rubéfaction, des structures relativement fines, durcies, dues au ruissellement et à la dessiccation (feuilletées, cubiques) caractérisent les sols de pente où la sécheresse édaphique a fortement réduit la végétation. L'assombrissement du profil, l'élargissement des structures de retrait (prismatiques) l'apparition de structures de gonflement verticales, la concentration des carbonates de calcium et des oxydes de manganèse sont provoqués par l'afflux des eaux dans les zones basses et planes et produisent les vertisols par des intermédiaires qui sont les sols bruns tirsifiés. Les structures ainsi créées tendent d'elles-mêmes à maintenir le contraste des régimes hydriques, puisque les larges fissures des vertisols amènent l'eau à l'intérieur du profil alors que les structures laminaires des sols brun-rouge accroissent l'imperméabilité. Lorsque la pluviosité est telle que la végétation herbacée soit plus dense et pérenne, elle contribue à la formation des agrégats fins et stables des sols bruns eutrophes qui, s'ils échappent au glaçage superficiel, n'en conservent pas moins une certaine rubéfaction. Cette dernière tend toutefois à disparaître des roches mères argileuses, les argilites, où la toposéquence est entièrement formée de sols verticales ou tirsifiés.

4.22 E f f e t s d e l' â g e

Des indices de lessivage (Gorouol) de concrétionnements ferrugineux (Damagaram) ont été relevés pour les sols rubéfiés les plus anciens. On admet également que l'appauvrissement superficiel, s'il est moins efficace que lorsqu'il est associé avec le lessivage, a pu aboutir à la concentration des éléments squelettiques en horizons grossiers ultérieurement remaniés et à l'amenuisement général des sols de pente. Sur argilites les traits morphologiques apparaissent dans l'ordre suivant : structures de gonflement, structures de retrait, concrétions manganésifères, nodules calcaires, assombrissement (ou formation d'argile noire). Ces variations sont cependant ténues et incertaines; elles n'auraient pas suffi à établir le tableau chronologique ci-dessous s'il n'y avait eu la stratigraphie des matériaux complexes.

4.23 Effets du gradient pluviométrique

En milieu sec, l'aridité constitutionnelle de ces sols lourds et compacts réduit considérablement la végétation et permet le développement de structures essentiellement dues aux variations de l'humidité et au ruissellement. Les structures laminaires de la zone subaride, étendue de 350 à plus de 650 mm pour ces matériaux, commencent à être remplacées vers 250 mm par la structure quasi-pulvérulente des sols des déserts. La réduction des taux de matière organique, la disparition locale ou la rubéfaction des horizons humifères sont des effets de la diminution de la pluviosité qui permettent d'interpréter les sols subarides de glacis comme des formes dégradées des sols bruns eutrophes méridionaux. Il est encore vraisemblable que le lessivage des sels, l'acidification superficielle y sont moins intenses, cela ne pouvant toutefois être prouvé du fait de la répartition des roches mères, les plus riches en sels étant également les plus septentrionales.

4.3 PROBLEMES DE CLASSIFICATION

4.31 Classification régionale

Les sols sur argiles gonflantes du Niger forment trois ensembles génétiques, les argiles noires, les sols eutrophes, les sols des glacis sahéliens.

La définition ancienne des argiles noires est la meilleure pour ne pas introduire de distinctions contingentes tenant à des nuances de la texture, de la minéralogie des argiles, du régime hydrique. Si le processus décrit par HESS et SCHOEN (1964) s'y trouvait vérifié, on pourrait mettre en premier rang l'acquisition progressive des structures de gonflement et de retrait :

- argiles noires ne présentant que des structures de retrait
- argiles noires à horizon verticale caractérisé mais

dont l'homogénéisation n'est que le fait d'inclusions dans les fissures.

- vertisols proprement dits, à mouvements convectifs.

Mais actuellement on ne peut que subordonner ces caractères aux critères classiques de régime hydrique et de finesse de la structure en surface.

Les sols eutrophes seraient des sols où, du fait de quantités suffisantes de matière organique et de taux non excessifs d'argile, se créeraient des structures suffisamment fines et stables pour empêcher l'expression du retrait et du gonflement, pour permettre une certaine rubéfaction des horizons (B) en maintenant un bon drainage sur tout le profil. A la limite une évolution vers les sols ferrugineux peut apparaître par un début de lessivage des horizons A, par un concrétionnement essentiellement ferrugineux.

Les sols sahéliens sont caractérisés par des horizons de surface pauvres en matière organique et à structures laminaires, effets d'un pédoclimat très sec et d'un ruissellement intense. Ces caractères sont compatibles avec la rubéfaction mais non avec la structure des sols eutrophes rubéfiés, si bien que les sols brun-rouge de glacis peuvent en être entièrement séparés, bien qu'ils en soient vraisemblablement issus. De même les sols bruns tirsifiés les moins épais (type NO 59) peuvent être opposés de la sorte aux sols eutrophes bruns et de ce fait entrer dans cet ensemble. Dans les profils plus développés, ces caractéristiques doivent au contraire être subordonnées à la différenciation en argile noire qui ne paraît guère affectée par ces transformations superficielles.

Enfin on pourrait réunir sans inconvénients ces trois unités dans le même groupement de sols, tel que nous l'avons défini en tête de ce paragraphe.

4.32 C l a s s i f i c a t i o n d e 1 9 6 5

Du fait d'une définition restrictive, toutes les argiles noires où les mouvements internes ne sont pas apparents, doivent être réunies dans le sous-groupe tirsifié

(ou verticale) des sols bruns subarides où elles voisinent avec les sols rubéfiés qui, ne pouvant entrer dans les sols bruns eutrophes, sont assimilés aux sols brun-rouge. Cette solution a l'avantage de ne pas dissocier exagérément ces divers sols, de situer leur zone géographique, mais a l'inconvénient de placer le type de matière organique et sa répartition à un niveau qui n'est pas le leur. Tenant les sols brun-rouge de glacis pour forme d'érosion climatique de sols plus méridionaux, on aurait pu également songer à créer pour eux un groupe subaride parmi les sols peu évolués climatiques. Mais comme la plupart de ces profils sont de type A - (B) - C et non A-C, cette solution a paru trop artificielle. C'est encore le groupe des sols bruns eutrophes tropicaux qui offre le moins de difficultés, encore que la dépendance du type de matière organique à l'égard de la minéralogie des argiles ne soit pas expressément mentionnée dans la définition.

5. R E F E R E N C E S C A R T O G R A P H I Q U E S

Elles sont classées selon le sol caractéristique.

Sols brun-rouge de glacis

- | | |
|---|----------------|
| Sols peu évolués d'érosion (sols brun-rouge durcis de glacis) sur grès et argiles sédimentaires du Damergou, en association avec des sols brun-rouge sur ensablements localisés | Feuille Zinder |
| Regosols à faciès intergrade vers les sols subarides (de glacis) sur placages colluviaux argilo-sableux sur rég résiduel (Damergou) | Feuille Maradi |

- Sols peu évolués d'érosion (sols brun-rouge durcis de glacis) sur roches métamorphiques du Damagaram, en association avec des sols bruns tirsifiés et des vertisols
Feuille Zinder
- Sols régiques à faciès rubéfié (sols brun-rouge durcis de glacis); sur colluvions argilo-sableuses (roches vertes du Liptako)
Feuille Niamey
- Sols de transition peu évolués d'érosion à brun subaride; faciès rubéfié; sur colluvions argilo-sableuses (Birrimien); association à sols de glacis bruns, sols bruns tirsifiés, sols régiques
Carte du bassin du Gorouol
- Même unité, sur colluvions sablo-argileuses mixtes : sables quartzeux, roches vertes altérées; association à sols très rubéfiés dominants
Même carte
- Sols régiques; association de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés; sur colluvions argilo-sableuses (schistes birrimiens); deux associations, l'une à sols hydromorphes, l'autre à sols ferrugineux peu lessivés
Feuille Niamey
- Sols bruns tirsifiés
- Sols régiques à faciès brun tirsifié; sur argile d'altération (schistes birrimiens du Liptako)
Feuille Niamey
- Sols bruns subarides à drainage réduit tirsifiés sur argiles issues de schistes birrimiens
Séries à nodules calcaires
Séries à léger pseudogley associées à des sols peu évolués bruns de levées
Carte du bassin du Gorouol
- Sols bruns tirsiformes; rapport joint à la feuille Zinder, p. 111; non cartographiés

Sols bruns eutrophes

Sols régiques à faciès vertique; sur argile d'altération;

Association à roches ultrabasi-
ques (Makalondi)

Association à sols hydromorphes
et sols gravillonnaires (schis-
tes de l'Oti)

Feuille Niamey

Vertisols Lithomorphes

Vertisols lithomorphes sur argiles
gypsifères du Damergou; en associa-
tion avec des sols peu évolués d'é-
rosion

Feuille Maradi

Sols peu évolués d'érosion sur argi-
les gypsifères du Damergou; en asso-
ciation avec des vertisols lithomor-
phes

Feuille Zinder

Sols régosoliques sur argiles schis-
teuses gypsifères; séries vertisoli-
ques avec pavage de grès

Carte de l'Ader
Douchi

Vertisols lithomorphes sur argiles
sédimentaires (Ader Douchi, Maggia,
Dakoro)

Feuille Maradi

Vertisols d'origine pétrographique;
sur schistes crétacés, série de Garba
(Maggia)

Carte de Taboye

Vertisols topolithomorphes

Vertisols d'origine mixte; sur roches
métamorphiques du Damagaram

Feuille Zinder

Chapitre VIII

LES SOLS RENDZINIFORMES,
LES SOLS ALLUVIAUX
CALCIMORPHES, LES
VERTISOLS CALCAIRES ou
LES TOPOSEQUENCES SUR
MATERIAUX A ARGILES
GONFLANTES CALCAIRES

VIII

1. DONNEES GENERALES

1.1 DEFINITIONS

Les sols en place qui, au Niger, peuvent être rapportés aux Sols Calcomagnésimorphes ont des profils A-C ou A-(B)-C ressemblant respectivement aux Rendzines vraies et aux Rendzines à horizons. Leurs couleurs sont uniformes, brunes ou brun-jaune. Les structures des horizons A sont très fines, millimétriques, de type particulière, ou grenu, ou grumeleux, ou polyédrique, en assemblage le plus souvent lâche et meuble. Les structures des horizons (B) sont plus grossières, centimétriques, plus compactes, de types polyédrique, cubique, prismatique, en coin. Le calcaire apparaît en grains hérités de la roche mère, en cutines et en enduits macroscopiques autour des éléments squelettiques, en pseudomycelium, en amas friables, en nodules. Les acides humiques gris et la montmorillonite, ou des interstratifiés analogues, sont les constituants essentiels du plasma. Les analyses d'agrégats et le comportement des sols vis-à-vis des eaux pluviales révèlent que la matière organique n'est pas fortement liée à l'argile comme elle l'est dans les rendzines véritables. Les sols calcaires du Niger, qui pour cela peuvent être considérés comme des "pararendzines", sont en fait intermédiaires par leur développement pédique et par leur

stabilité structurale entre les rendzines et les argiles noires. Ils sont reliés à ces dernières par des termes de transition ordonnés dans une séquence régie par la croissance des taux d'argile.

La même association entre des couleurs brunes, des structures fines et du carbonate de calcium détritique ou redistribué par la nappe ou les solutions du sol existe dans des séries alluviales dont les termes les plus argileux sont aussi des vertisols.

1.2 MODELES ET MATERIAUX

Les lumachelles du Crétacé du Damergou et les horizons calcaires et dolomitiques de l'Infra-Cambrien d'Ydouban étant trop minces et résistants, il ne se forme de sols d'altération que sur les marno-calcaires de l'Ader Douchi ou plus généralement du bassin des Maggia. Ils affleurent sur les versants que l'érosion a dégagé d'une couverture conglomératique à matrice kaolinique et ferrugineuse (cf. p.568 et fig.) en amont des vallées les plus profondément incisées. Les pentes sont raides, peu couvertes et adaptées à la structure sédimentaire. Elles s'étagent de la façon suivante lorsque la formation a été entièrement dégagée :

- 1-3 couronnement du sidérolithique (Ct.1) successivement entaillé par un glacis périphérique au plateau, par un escarpement formant corniche, par un versant à gradins, de quarante mètres d'épaisseur moyenne. Il est recouvert par une nappe de blocs métriques et de cailloux de grès partiellement emballée de sables argileux ruisselés produits par la désagrégation granulaire.
- 4 versant convexe, de 2 à 10 m, à pentes de 7,5° à 13°, sur les argilites papyracées à attapulгите du sommet de l'Eocène. Il est ordinairement couvert de la même nappe détritique qui parfois disparaît, permettant la formation de Sols Régiques vertiques, plus rarement de Vertisols Lithomorphes.
- 5 escarpement, de 30 à 40 m, à pentes de 15 à 20°, sur les marno-calcaires. La nappe détritique gréseuse y

disparaît, ou se réduit à un mince pavage qui révèle la présence sous-jacente des calcaires à la pellicule carbonatée dont la face inférieure des blocs est vêtue, ou se concentre dans des couloirs d'éboulis. Les bancs calcaires, leurs joints argileux, l'horizon d'altération formé de blocs décimétriques empâtés de limons pulvérulents à surface encroûtée par le ruissellement, sont tous peu perméables et alimentent un faisceau serré de ravines parallèles dont l'équidistance peut n'être que de 50 m. Les sols sont des para-rendzines noires.

- 6 versant en gradins, de 13 à 20 m, à pentes de 1,8° à 4,5°, sur les marno-calcaires. Les ravines y déchargent des galets, sables et limons calcaires. Les éboulis gréseux s'y étalent en cônes qui par coalescence produisent des talus grossièrement parallèles, larges d'une centaine de mètres. Il s'y rencontre des formations inactuelles tels que des dalles de travertin et des cônes d'épandages uniquement formés de limons d'altération calcaires et isolés du réseau de drainage encore fonctionnel. A ces reliques s'ajoutent des blocs lapiazés plus fréquents à la base des versants. Les para-rendzines noires sont remplacées par des vertisols calcaires sur les replats. Les premiers sols alluviaux calcimorphes, les plus grossiers, se développent sur les matériaux d'épandage actuels.
- 7 versant convexe, de 2-10 m de dénivellée, à pentes de 7,5° à 13°, sur les argilites de la base de l'Eocène. Il est raviné en bad-lands et couvert de Sols Régiques vertiques et de Vertisols Lithomorphes (cf. p.235).
- 8-11 surface infra-éocène, pentes en gradins, versant convexe à bad-lands et vertisols sur les grès fins et les argilites du Crétacé, avec buttes témoins des calcaires (9) qui ont alimenté les dépôts de limons inactuels les plus abondants parce qu'elles ont été plus précocement et totalement déblayées de leur chape grossière.

A ces versants succèdent les pentes plus faibles des glacis à la couverture desquels les marno-calcaires ont très inégalement contribué :

- 12-13 le plus ancien est le glacis à pavage disséqué; il s'abaisse de 50 à 90 m avec des pentes de 1,5° à 2,9°. Il est découpé en buttes et séparé des versants par une incision subséquente (12). Il n'y a pas de calcaire ni dans le squelette, ni dans l'emballage des conglomérats et cailloutis qui le revêtent et sont issus du sidérolithique, de matériaux kaoliniques. Sa surface inégale peut retenir des atterrissements sablo-limoneux à sols alluviaux calcimorphes.
- 14 la dénivellée du glacis de piedmont est de 16 à 45 m et ses pentes sont de 1,7° à 2,2°. Il est contemporain de la mise à nu des versants. Les sables et sables argileux qui le remblaient contiennent localement des argiles gonflantes. Ils se sont imprégnés de calcite au contact des calcaires et sous les travertins, au toit d'une nappe phréatique qui les a cimentés en dalles ou en aiguilles stalagmitiformes. Ces dépôts très localisés formés par évaporation du gaz carbonique, sont relayés par une cristallisation plus diffuse et banale, en pseudomycelium, attribuée à la concentration par évaporation, fort abondante dans certains sols bruns sableux (cf. p. 515). Les ravines alimentées par les versants déposent la partie la plus grossière de leur charge à la base de ce glacis qui est ainsi fossilisé par des sols ou des horizons calcimorphes, généralement bien drainés.

Les phases les plus fines s'accumulent dans les grandes plaines alluviales :

- 15 ces maaders sont alimentés principalement par l'écoulement latéral et sont ainsi divisés en flats successifs qui selon leur situation, reçoivent leur matériel de roches différentes. Certains ont reçu des sables et des argiles limoneuses calcaires provenant de l'Eocène et du Crétacé qui portent des sols alluviaux calcimorphes et légèrement hydromorphes. Ce mode d'alluvionnement par secteurs successifs donne un profil longitudinal irrégulier que tend à régulariser un ravinement régressif intense.
- 16 les argiles se sont accumulées par décantation sur les pentes les plus faibles (0,1%) des collecteurs principaux, particulièrement derrière les barrages dunaires des vallées de l'Ader Douchi. La surface

inondée par la crue annuelle a été réduite par la rupture de ces derniers (Keita, Adouna) et par l'enfoncement consécutif des lits (Jeji-Samae). La décantation a repris lorsque des ouvrages ont rehaussé à nouveau le plan d'eau. Ce matériau évolue très vite en vertisols hydromorphes auxquels leur forte saturation calcique entretenue par les apports carbonatés des eaux donne des propriétés physiques suffisamment bonnes pour qu'ils soient irrigables.

1.3

FACTEURS BIOTIQUES

Les versants, peu perméables et pentus, sont très arides et partiellement couverts d'une steppe arbustive de type sub-désertique bien que la pluviosité soit de 350 à 500 mm :

ARBUSTES

Acacia seyal
Acacia flava
Commiphora africana

GRAMINEES

Tetrapogon spathaceus
Aristida adscensionis
Schoenefeldia gracilis
Schyzachyrium sp.
Cymbopogon schoenanthus

Des gommiers, jujubiers, *Boscia*, quelques cultures de sorgho et de coton apparaissent sur les gradins. Les alluvions calcaires sont naturellement irriguées par épandage durant quelques jours ce qui, ajouté à leur excellence, leur a valu d'être entièrement défrichées pour les cultures de sorgho, coton, tabac. Quelques arbres ont été conservés : *Acacia raddiana*, *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca*, *Zizyphus mucronata*, *Tamarindus indica*. Les jechères sont à *Indigofera* (jadis cultivé) à *Callotropis*, à *Bauhinia rufescens* et *reticulata*. L'insuffisance du couvert en début de saison des pluies a accéléré, sinon déclenché, le ravinement régressif qui détruit les meilleures terres. Des lambeaux de bois armés subsistent dans les plaines de décantation argileuses, défrichées pour le blé lorsque le site se prête à l'irrigation. En amont ils sont constitués de l'*Acacia camylacantha*, de Seyals, de jujubiers au contact de matériaux plus sableux. En aval l'*Acacia nilotica* est exclusif et disparaît lui-même lorsque l'eau séjourne au-delà du mois de janvier.

2. E T U D E D E S S O L S

2.1 LES SOLS D'ALTERATION

2.11 Les para - rendzines noires

Site de Kounkouzout (AC 4 bis)

Lat. : 14° 50' 13" N.

Long. : 5° 35' 52" E.

Versant à pente raide (forme 5); steppe arbustive très lâche; 370 mm de pluies.

Surface : blocs de calcaire **cariés** séparés par des plages lissées par le ruissellement; autour des blocs, auréole ferrugineuse jaune (goethite).

0-13 cm : brun; sablo-limoneux; calcaire; pseudomycelium abondant se formant autour de radicelles; des débris calcaires sans enduits (3 cm); structure feuilletée au sommet sur 5 mm, puis massive à débit régulier, puis finement polyédrique en assemblage compact (1 mm); cohésion moyenne; compact au sommet, ensuite quelques pores tubulaires; ce matériel emballe des blocs calcaires à faces arrondies et arêtes émoussées, avec cupules de dissolution.

13 ... banc calcaire fissuré et disloqué dans les fentes duquel se forme un sable limoneux calcaire noir, pulvérulent, mêlé de fragments de roche de 0,5 mm, très poreux; cette poudre s'agrège parfois en agrégats grenus et grumeleux très fragiles; très nombreuses radicelles.

Le taux de carbonate passe de 65-80% dans les marmo-calcaires à 10-20% dans un résidu de dissolution limoneux contenant une argile gonflante interstratifiée (M.12-M.14) un peu de kaolinite, de la goethite. Le calcaire s'y redistribue en pseudomycelium. La matière organique, humifiée à 70%, contient 60% d'acides humiques gris. Les racines de graminées en sont la seule origine. Les agrégats sont entièrement détruits par le prétraitement au benzène et disparaissent de la partie supérieure du sol. L'organisation et les caractéristiques analytiques de ce sol de fissures se conservent lorsque le matériau de dissolution a pu s'accumuler au-dessus de la roche mère :

site de Gale (AD 14)

Lat. : 14° 40' 53" N.

Long. : 5° 51' 13" E.

Replat dégagé par l'érosion des argilites supérieures; steppe herbeuse à Cymbopogon avec jujubiers: 380 mm.

- Surface : croûte pluviale très lisse recouverte de fragments de calcaire, d'argilite, de fossiles (échinodermes, lamellibranches).
- 0-3 cm : brun (7,5 YR 4,5/2); sablo-limoneux; fissures fines et verticales tous les 3 cm; massif; A.11 débit régulier; cohésion moyenne; racines fines et rares; compact; effervescence forte ainsi que dans le reste du profil.
- 3-12 cm : brun foncé (5 YR 3,5/2); sablo-limoneux, quelques débris calcaires; structure polyédrique en assemblage très compact; cohésion moyenne à faible; chevelu radiculaire très dense; porosité tubulaire moyennement développée. A.12
- 12-22 cm : gris foncé (10 YR 4,5/1); sablo-limoneux; fragments calcaires plus nombreux, avec revêtement adhérent noirâtre; structure nuciforme très friable; très meuble et poreux; même enracinement. Cet horizon est situé dans des poches de la roche mère. A.13
- 22 ... dalle calcaire fissurée; dans les fentes même A-R matériel sablo-limoneux gris foncé pulvérulent.

Le passage aux sols d'apport se fait par inclusion de débris de roche dans la partie supérieure du sol où ils se revêtent d'une pellicule carbonatée. La transformation en sols bruns tirsifiés puis en vertisols s'opère sur les gradins à la faveur de l'épaississement du profil (60-90 cm) de l'accroissement de l'humidité et des taux d'argile. L'horizon très meuble situé au sommet de la roche disparaît. Des structures plus compactes, prismatiques, cubiques, en coins s'y substituent. Des taches et nodules ferrugineux et manganésifères, des amas et nodules calcaires s'y forment. Le profil suivant, dû surtout à un accroissement de l'humectation, possède des caractéristiques communes aux para-rendzines, aux sols bruns tirsifiés, aux sols d'apport :

site de Kounkouzout (AC 4)

Site : même lieu que le profil précité AC 4 bis, mais plus bas sur le versant et sur une ligne de ruissellement.

Surface : blocs de grès oolithiques (Ct.1).

0-13 cm : brun rougeâtre (5 YR 4/4); sableux; gravillons (5 mm) de grès ferrugineux, oolithiques, de calcaire; lité; massif; compact; chevelu radulaire très fin.

13-17cm : brun foncé; sablo-argileux; pseudomycelium calcaire; massif; cohésion forte; compact.

17-63cm : brun foncé (5 YR 3/2); sablo-argileux; pseudomycelium abondant sur les racines ou sur des gravillons de grès et de quartz; fragments de calcaire à cortex friable et jaune; prismatique (15 x 30 cm); sous-structure polyédrique fine (5 mm) en assemblage compact; cohésion moyenne; porosité tubulaire fine et forte.

63-80cm : brun-jaune foncé (10 YR 3,5/3); sablo-limoneux; pseudo-mycelium; quelques taches jaunes; polyédrique (1 cm) en assemblage plus compact; cohésion moyenne; moins poreux.

80 cm : blocs de calcaire avec croûte d'altération pulvérulente de 1 cm, cavités de dissolution, cortex périphérique très mince et jaune; des blocs (remaniée) de grès ferrugineux oolithiques.

Site de Gale (AD 13)

Lat. : 14° 41' 47" N.

Long. : 5° 51' 20" E.

Gradin situé à la base de l'Eocène (forme 6); replat dominé de buttes calcaires; culture de maïs et hibiscus; 380 mm.

Surface : épierrée en terrassettes de 6 x 6 m limitées par des murets.

0-15 cm : gris-noir (7,5 YR 4/0); argilo-sableux; cailloux de calcaire (10 cm) à arêtes anguleuses ou émoussées par dissolution; nodules calcaires blancs très fins et nombreux; effervescence généralisée et forte; fissures verticales de 2 cm tous les 10 cm (retrait de 16%); sous-structure polyédrique fine (1 cm) et très fine (1 mm); cohésion moyenne à faible en surface puis forte; radicelles et chevelu très abondants, avec pseudomycelium.

15-35 cm : gris-noir; argileux; cailloux calcaires plus nombreux; nodules calcaires de moins de 2 mm; prismatique; sous-structure cubique avec faces lisses; cohésion forte à très forte; moins poreux; assez nombreuses radicelles, avec pseudo-mycelium.

35-90 cm : gris-noir plus foncé (2,5 YR 4/0); argileux; cailloux calcaires plus fins; nodules; pas de pseudomycelium, effervescence moins forte; structure prismatique jusqu'à 60 cm puis en coins à faces lissées et striées; cohésion excessive; très compact sauf dans d'anciennes fissures refermées sur des débris grossiers colonisés par de fines racines.

90-140 cm : noirâtre avec taches noires et taches brun-jaune diffuses; taches rougeâtres dans des pores à 130 cm; argileux; nodules; structure en coins plus fine (3 cm) en assemblage très compact; très dur.

La texture plus argileuse de ces sols peut être due à la plus grande fréquence des joints marneux ou argileux à ce niveau. Des sols très proches se sont formés sur le glacis de piedmont (cf. p. 350). On a tiré argument de cette similitude, constatée également pour les sols rubéfiés, pour attribuer une durée identique à la pédogenèse sur les versants et sur ce glacis.

2.2 LES SOLS SUR MATERIAUX D'APPORT

2.21 Les limons calcaires inactuels

La surface de ces vieux épandages est nue, blanche, lissée, durcie. Il n'y a d'autre végétation que des lichens, mais le sorgho peut y croître. Ce matériau est aussi riche en calcaire que la roche et paraît ainsi avoir été produit par délitage. Il est blanc (10 YR 8/1) sablo-limoneux, massif, compact, de cohésion forte; il ne contient pas d'agrégats et se pulvérise entièrement entre les doigts; des enduits calcaires sont visibles dans quelques pores. L'évolution pédologique se borne à une médiocre infiltration organique, sur 5 à 20 cm, qui colore les limons en gris-brun clair (10 YR 6/2).

Le matériel des para-rendzines et des vertisols n'est jamais aussi carbonaté mais le cortex pulvérulent des blocs de roche des horizons C est très proche de ces limons par toutes ses propriétés.

2.22 Les sols alluviaux calcimorphes

Aux pieds des versants, les glacis portent des sols colluviaux dont le matériel déposé en vrac a conservé les caractéristiques des sols d'altération (cf AC 4, ci-devant); teinte très sombre, structure fine en surface, de type tirsifié ou verticale en profondeur.

Cet acquis est effacé dans les proluviions transportés par les marigots temporaires. L'instabilité des lits et de

leur alimentation complique la stratification qui enregistre des modifications d'origine, de compétence, des alternances de dépôt et d'évolution pédologique. Cette dernière est médiocre de telle sorte que sur les cartes de détail, ces matériaux ont été subdivisés selon leur texture, leur origine, le degré d'hydromorphie. Les apports calcaires ont pour caractères principaux :

phases les plus communes

- sables et graviers lités

le calcaire n'y est présent que sous forme détritique; il est mélangé à des plaquettes d'argilite, à des sables et graviers de grès ferrugineux, à des sables siliceux ou oolithiques. Cette phase est fréquente dans les décharges situées en bordure des plaines.

- limons argileux en plaquettes

le calcaire y est réparti de façon diffuse ou en pseudomycelium (1-2%) dans des lits bruns millimétriques séparés par des joints très minces de sables fins non calcaires ou à calcaire détritique. Ce matériel est largement déposé dans les plaines alluviales par l'écoulement très lent de la crue.

- argiles limoneuses

cette phase procède de la précédente par la disparition progressive des joints de sables fins qui est parallèle à un accroissement des taux d'argile par rapport à ceux des limons. Cette évolution aboutit finalement aux argiles verticales des cuvettes.

couleurs

toujours brunes :

- brun et brun-jaune clairs pour les sables (10 YR 6/3-4)
- pour les argiles et les limons bruns et bruns francés (7,5 YR 4-5/4-5 et 10 YR 3,5-4, 5/2,5-4) parfois bruns rougeâtres (5 YR 4-5/6).

structures

la stratification n'est effacée par le développement pédique que sur les vingt à trente premiers centimètres :

- structure grumeleuse : phase sableuse
- structure nuciforme, ou finement polyédrique : phase limoneuse
- structure polyédrique, incluse dans une surstructure cubique ou prismatique : phase argileuse.

effets de l'hydromorphie

les dépôts calcaires réagissent toujours discrètement à l'engorgement dont on distingue les modalités suivantes :

- engorgement de surface lors du dépôt : taches situées en surface des lits, orangées devenant brunes par vieillissement, dues à des colonies de micro-organismes
- engorgement de surface : taches ferrugineuses brun-rouge, diffuses, autour de cavités; accumulation diffuse de calcaire dans une croûte limoneuse superficielle.
- engorgement de profondeur, par la nappe sous-alluviale : pseudomycelium calcaire au toit de la nappe, parfois abondant au point de former un voile blanc sur les faces des agrégats; taches ferrugineuses rouges ou jaunes dans les pores, peu abondantes; taches noire (Mn) fréquentes.

Les types limoneux des Sols Alluviaux Calcimorphes, légèrement hydromorphes, bien structurés et riches en éléments fertilisants, naturellement irrigués, sont les terres les meilleures des Maggia par la variété de leurs aptitudes (sorgho, coton, tabac, cultures maraîchères). Ils sont très communs dans les sections élargies de l'amont des vallées :

site de Borzenga (AD 31)

Lat. : 14° 46' 27" N.

Long. : 5° 54' 13" E.

Au centre du grand flat alluvial de Ibohamane (Ader Douchi); sorgho, avec *Faidherbia* et repousses de *Bauhinia reticulata*; 375 mm.

- 0-22 cm : brun (7,5 YR 4/4); taches jaunes très pâles; argilo-sableux à argilo-limoneux; effervescence moyenne; structure motteuse cubique (2 cm) à faces rugueuses, de cohésion forte; sous-structure polyédrique fine (0,5-1 cm); début de fissuration prismatique à la base; bonne porosité d'assemblage; porosité tubulaire fine, médiocrement développée.
- 22-40 cm : brun (7,5 YR 4/5); argilo-limoneux; effervescence moyenne; débris de plaquettes plus fines (papules) dans une masse plus sableuse en voie d'homogénéisation; polyédrique (1,5 cm) en assemblage compact; cohésion moyenne; porosité tubulaire (2 mm et moins) moyennement développée; moins de radicelles.
- 40-150 .. Alluvions stratifiées, de texture moyenne sablo-limoneuse, calcaires :
- lits (7-10 cm) d'argile limoneuse brune (10 YR 3/4) à taches ferrugineuses brun-jaune peu fréquentes, calcaire (2%) divisée en plaquettes de moins de 1 mm d'épaisseur; porosité tubulaire verticale.
 - lits (7-17 cm) de sables fins, brun-jaune (10 YR 5,5/6) contenant des oolithes ferrugineuses, très inégalement calcaires.

Horizon de plus en plus humide vers la base (nappe).

Les carbonates sont apportés sous forme solide avec les alluvions, sous forme dissoute par les eaux de crue et de la nappe (150 à 500 mg/l dans cette dernière). Leur redistribution en solution aboutit à en appauvrir les niveaux sableux (0-0,8%) au profit des niveaux plus argileux (0,2-2%) à les concentrer parfois en profondeur au sommet de la nappe. Le lessivage vertical et pluvial n'apparaît pas ou est masqué, par les mécanismes précités,

dans nos prélèvements. Nous avons déjà constaté que sur les versants l'évaporation superficielle pouvait concentrer le calcaire à la surface même du sol, sous des éléments grossiers. D'après les travaux de détail menés par JONGENS (196) dans la plaine de Ibohamane, une tendance inverse existerait dans des sols contenant de 25 à 30% d'argile : le taux de calcaire, de 0 à 0,3% dans le premier décimètre, serait de 0,5 à 1% vers 25 cm de profondeur.

Les taux de matière organique croissent avec les taux d'argile et avec le degré estimé d'hydromorphie, ces deux facteurs n'étant indépendants que jusqu'à 30% d'argile. La nature de l'argile, montmorillonitique, la saturation calcique et la présence de carbonates, se conjuguent pour les porter à un niveau relativement élevé pour la zone climatique, près de deux fois plus haut par exemple que dans les alluvions du Goulbi de Maradi, qui reçoivent 600 mm de pluies mais qui ne sont que calciques. Dans les Maggia les sols qui contiennent plus de 2,2% de matière organique en A.1 sont toujours calcaires. La répartition verticale est fonction de l'histoire du dépôt; elle peut être fort irrégulière car il existe des horizons A enterrés; sur un matériau homogène, elle est décroissante. Les pH sont neutres à légèrement alcalins et irrégulièrement constants dans le profil. Les proportions des bases font apparaître une déficience en potassium qui se concentre en surface. Le taux des agrégats, toujours détruits par le prétraitement au benzène, croît avec celui de l'argile; la stabilité structurale est jugée médiocre à moyenne pour l'ensemble.

2.23 Les vertisols topomorphes calcaires

L'aspect primitif de ces plaines argileuses a été conservé dans quelques secteurs qui n'ont pu être aménagés. La lame de crue y est canalisée par des chenaux peu creusés (50 cm) et anastomosés, à flancs convexes. Ils dessinent des mailles de quelques hectares deux fois plus longues que larges dont la surface est déformée en dômes d'un diamètre de 4 m et hauts de 30 cm. A ce micro-relief, s'ajoute une fissuration régulière et profonde, pénétrant jusqu'à 150 cm de profondeur et indiquant un retrait variant entre 10 et 30% du volume total. Des effondrements de prismes sont provoqués par le renardage à la base des fentes. Une véritable litière de feuilles d'acacia recouvre les sols

en fin de saison sèche avant que la crue, haute en moyenne de quelques décimètres, ne la balaie.

Site de Jéji Samaé (AD 61)

Lat. : 14° 42' 40" N.

Long. : 5° 53' 39" E.

Plaine drainée par un collecteur incisé de deux mètres dans les argiles; bois d'Acacia nilotica; 390 mm.

Surface : fissures de 3 à 5 cm espacées de 35 à 80 cm.

0-5 cm : brun; quelques taches grises et jaune-rouge; argileux; structure cubique à polyédrique fine (1 cm); cohésion très forte; assemblage lâche; en surface croûte formée de débris organiques et de petits agrégats anguleux (1 mm) liés par de l'argile; dans les fissures on retrouve ces mêmes éléments, mais formant un matériel très meuble; les agrégats sont compacts, la porosité d'assemblage est élevée.

5-24 cm : même couleur et ségrégations; des gaines de racines décolorées; argileux; prismatique; A g sous-structure cubique en assemblage compact; cohésion excessive; quelques pores dans les agrégats; des amas d'agrégats dans les fissures où se cantonnent les racines.

24-36 cm : la sous-structure cubique est remplacée par (B) vv g une sous-structure en plaquettes obliques à faces lissées;

36-200 .. : même couleur et ségrégations; argileux; amas calcaires très fins et régulièrement répartis; structure verticale plus aplatie, très oblique; à 200 cm petits grains de sulfate de calcium.
(B) vv g
Ca et Cs

Dans les plaines irriguées les chenaux ont été recreusés, rectifiés et servent de canaux. Les bombements du gilgai disparaissent. A la fissuration du sol s'ajoute celle d'une épaisse croûte de décantation, due à ce que la crue séjourne plusieurs mois :

site de Keita (K 6)

Lat. : 14° 44' 33" N.
Long. : 5° 47' 27" E.
Cote : 377,75 m

Situé au-dessus du seuil naturel (cote 377) mais inondé par un barrage et défriché depuis une douzaine d'années; un mètre d'eau pendant trois mois.

Surface : plane; fissures de 9 cm tous les 15 cm; retrait de 30%.

0-6 cm : croûte de décantation, masse d'argile remise en suspension lors de la crue.

Lits argileux alternativement brun-jaune (10 YR 5/4) et brun rougeâtre (7,5 YR 4/4) épais de 7 mm à 20 mm; la surface de la croûte, celle des fissures, ainsi que deux lits (0-7 mm et 21-41 mm) sont calcaires; massif; débit esquilleux, à arêtes vives; cohésion et dureté excessives; pores tubulaires (1 mm) à auréole ferrugineuse de 0 à 5 mm; pores polygonaux et aplatis (4 mm) entre 40 et 50 mm, à enduits rougeâtres; le reste compact.

6 cm : joint de sables fins, mis en place par l'écoulement avant que la crue n'ait atteint la cote du site

6-13 cm : anciennes croûtes de décantation, désagrégées.

Brun foncé (10 YR 4/3); argileux; efflorescences calcaires sous le joint du sommet; effervescence faible dans la masse; agrégats anguleux et compacts de 2 mm disposés en lits au sommet ou assemblés en mottes de 1 cm.

13 cm : surface du sol, douze ans avant l'observation.

2 mm de sables fins jaunâtres au-dessus d'agrégats rouges d'argile calcinée, de charbon de bois, de cendres.

- 13-22 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 4/4); argileux; calcaire; prismatique (fissures de 0,5 cm tous les 10 cm, retrait de 5%); sous-structure polyédrique fine et très anguleuse; cohésion excessive; compact.
- A b Ca
- 22-50 cm : brun rougeâtre (5 YR 3,5/4); coloration due à des ségrégations ferrugineuses très diffuses; argileux; calcaire; polyédrique en assemblage compact; plus de fissures (humide).
- (B) Ca
- 50-140 cm : brun rougeâtre (5 YR 3,5/4); calcaire; structure en plaquettes obliques, à faces luisantes et striées, peu épaisses (1-2 cm) larges de 5 cm au sommet et de 25 cm à la base; assemblage sub-parallèle, disposition festonnée; à la cote -80 cm une racine d'acacia brisée montre un déplacement relatif vertical de 5 cm.
- (B) vv Ca

Ces vertisols diffèrent des argiles noires des versants et glacis par des teintes brunes (chroma de 4) par une nodulation manganésifère et calcaire nulle ou réduite pour l'une à de petites taches, pour l'autre à des amas durcis de quelques millimètres. Le développement pédique est le même et ce fait que l'acquisition des structures verticales est plus rapide que celle de la couleur et des nodules des argiles noires, ressortait déjà de l'étude d'ensemble des sols smectitiques (cf p. 324). La jeunesse plus grande de leurs sols confirme la mise en place plus tardive de ces argiles alluviales qui pour cette raison sont assimilées dans leur couches superficielle au "remblai inférieur" des rivières du socle (cf. p. 336).

Les taux très élevés de l'argile, compris entre 60 et 85%, sont l'effet de la décantation d'une suspension. L'apport annuel dans les retenues artificielles est de l'ordre du centimètre, ce qui est considérable. La couche remise en suspension, par la turbulence de l'eau et par le fouissage de la faune aquatique, est de plusieurs fois plus épaisse. Cette croûte de limonage, desséchée, et la masse du sol elle-même, ont la propriété de gonfler dans l'eau et de se fragmenter en très petits éléments qui ne se dispersent pas d'eux-mêmes. Pendant les pluies et au début de la crue, il se produit ainsi un véritable ameublissement naturel qui, s'il existe toujours dans les vertisols topomorphes, n'est jamais aussi

important que dans les vertisols calcaires des Maggia. Cela explique que les façons culturales soient réduites au minimum; avant le semis il suffit de soulever à l'emplacement des poquets la croûte de limonage de l'année et de semer directement dans un simple trou de plantoir.

Cette structure très divisée s'observe dans un horizon particulier de croûtes fragmentées qui dans les sols "vierges" est considérablement enrichi en débris végétaux. Elle existe encore à l'état de sous-structure dans les horizons plus profonds où par l'effet des compressions ses formes s'aplatissent, son assemblage gagne en compacité et s'intègre dans des surstructures cubiques puis en coins, ces dernières apparaissant entre 15 et 50 cm de profondeur. La stabilité structurale est médiocre à moyenne; les perméabilités sont de 0,3 à 1,8 cm/h pour la croûte divisée et de 1 à 3 cm/h pour le sol, valeurs étonnamment élevées pour des sols aussi lourds et que l'on attribue à la saturation calcique. La liaison matière organique - argile est cependant faible car les agrégats ne résistent pas au prétraitement par le benzène.

Les taux de matière organique et les rapports C/N sont plus petits dans les plaines cultivées, où la restitution par les feuilles d'acacia disparaît et se réduit aux apports médiocres du limonage.

Les taux de carbonate, inférieurs à 1%, sont ordinairement plus élevés en profondeur et nuls sur 1 à 4 cm au-dessous de la croûte argileuse. Le calcaire s'accumule en efflorescences sur toutes les surfaces exposées à l'évaporation directe lors de la fissuration du sol en voie de dessèchement et pendant l'irrigation.

Le pH varie de 6,6 à 8,1 en surface, selon le taux de calcaire, et croît légèrement vers la profondeur où il s'établit entre 7 et 8. Les capacités d'échange de l'argile, formée pour 4/10 de kaolinite et pour 6/10 de montmorillonite, se situent entre 40 et 60 még/100 g. Elles sont saturées essentiellement par le calcium.

Les effets de l'engorgement de surface sont très mesurés bien que la durée de l'inondation puisse être longue et que la porosité pour l'air soit annulée avant que la capacité de rétention ne soit atteinte. Les taches réoxydées entourant les vides et les volumes réduits gagnant des fragments de matière organique, se dispersent sur les quinze à quarante premiers centimètres sans former d'horizons distincts tant que le séjour de l'eau

n'excède pas sept mois. Au-delà des dépôts ferrugineux rouge-jaune (5 YR 5/8) revêtent les faces des agrégats et les parois des pores sur les dix ou vingt premiers centimètres au-dessous desquels les volumes gleyfiés se font plus abondants. Le pH peut être abaissé jusqu'à 5 dans ces deux horizons dont on convient qu'ils définissent le pseudogley et qu'ils justifient la classification du profil parmi les Sols Hydromorphes. La nappe étant contenue dans les sables du remblai ancien, ses effets sur les vertisols ne sont accessibles que sur les bords du flat où le masque argileux est plus mince. Ils consistent en taches réduites et réoxydées, en amas et pseudomycelium calcaires. Dans la grande Maggia, près de Taboyé, dans un flat proche de glacis sur argilites crétacées, deux horizons de ce type se sont montrés alcalisés (Na/T de 18 à 25%).

Les propriétés de ces argiles calciques et calcaires sont telles que l'hydromorphie ne peut en dégrader la structure, c'est-à-dire en accroître la taille et la compacité. A fortiori l'irrigation, bien que menée depuis plus de soixante ans à Keita, n'a pas modifié l'état physique des sols dont la fertilité s'est stabilisée à un niveau très acceptable. Les rendements en grains sont en effet de 10 à 15 qx/ha sans qu'aucune restitution ne soit faite.

3. CONCLUSIONS

La toposéquence des sols d'altération est analogue à celle des sols smectitiques calciques : A Ca - C Ca puis A Ca - (B) Ca - (B) v Ca. Comme le lessivage, la rubéfaction est totalement absente, elle s'apparente plus particulièrement aux suites sur argilites, les para-rendzines se substituant aux Sols Régiques vertiques.

Le marno-calcaire désagrégé ne paraît poursuivre son évolution que s'il est partiellement décarbonaté, le maximum du taux de calcaire résiduel se situant entre 20 et 30%. La dissolution s'établit jusqu'à 10% sur les versants puis se poursuit dans les alluvions où, par l'effet combiné de la dilution dans la masse détritique, les taux sont près de s'annuler dans les flats argileux. Cette décarbonatation globale n'a pas de correspondant à l'échelle du profil. On l'observe quelquefois, sur quelques centimètres, dans les horizons A de sols inondés. Les effets de mécanismes d'apport sont constants : exsudation des solutions du sol, des eaux de crue et d'irrigation, évaporation de la nappe, transports solides. Si l'on excepte les fissures des couches calcaires où s'élabore le premier matériau, il est impossible de définir un site pédologique d'où le calcaire est préférentiellement éliminé.

Deux caractéristiques sont associées à la présence de calcaire. Les taux de matière organique sont élevés : dès le stade para-rendzine, ils sont aussi forts que dans le stade vertisol des autres familles. Les structures sont plus fines et stables vis-à-vis des agents naturels. La pulvérulence se maintient dans les para-rendzines hors du premier décimètre bien que la texture, sablo-limoneuse, soit ordinairement associée à une structure compacte (cf. p. 480). Les agrégats polyédriques et fins de la surface des vertisols topomorphes résistent à une longue inondation et à une irrigation déjà ancienne. Une troisième propriété est moins tangible : les hydroxydes et oxydes de fer et de manganèse seraient moins mobiles. Une quatrième au contraire frappe par son absence, la liaison forte et stable entre la matière organique et l'argile.

L'histoire des sols révèle une diminution des possibilités d'altération du calcaire que faisait pressentir l'évolution du relief :

- tout disparaissait, carbonate et argile, sur les versants convexes ou régularisés raccordés au glacis à pavage;

- des argiles gonflantes résiduelles sont apparues pendant et après le remblaiement du glacis de piedmont. La nappe phréatique, plus haute que de nos jours, était suffisamment riche en carbonates pour que des dépôts d'évasion se forment à ses exutoires.

- les blocs lapiazés, les limons calcaires, sont les restes des horizons R et C d'une couverture de sols plus importante qu'elle ne l'est actuellement, finalement érodée, avant la mise en place des dunes S.I pense-t-on. Les argiles noires des gradins, mieux protégées, aussi évoluées que celles du glacis de piedmont, seraient des vestiges de ces sols anciens.

- les para-rendzines probablement, les Sols Alluviaux Calcimorphes et les Vertisols Topomorphes certainement, sont les sols actuels des versants structuraux et des plaines d'épandage. La circulation du calcaire, difficile, n'y produit que des accumulations ténues.

La fortune agricole des Maggia trouve là sa principale origine. L'utilisation qui en a été faite n'a eu de conséquences dommageables que pour les alluvions, ravinées de fraîche date après que l'anéantissement du couvert végétal ait laissé s'étendre la régularisation des profils topographiques.

3.1 REFERENCES CARTOGRAPHIQUES (CARTE DE L'ADER DOUCHI)

Para-rendzines et Vertisols Lithomorphes

Regosols sur calcaires et marno-calcaires. Série des corniches et des talus d'éboulis, à pavage de grès discontinu. Série des buttes témoins, sans pavage, en association avec des sols calcimorphes.

Sols Calcimorphes, calcaires et humifères, sur calcaires et marno-calcaires. Série à horizon humifère poudreux.

Sols Peu Evolués des limons calcaires

Sols calcaires non humifères. Sur dépôts pulvérulents. Série de Tamaské.

Sols Alluviaux Calcimorphes

Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés sur produits meubles issus des calcaires et des marno-calcaires. Série à tendance Subaride Brun et Série à tendance Vertisol.

Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés sur alluvions des cours d'eau temporaires. Série calcaire.

Sols Peu Evolués d'Apport Mal Drainés sur alluvions des cours d'eau temporaires. Série calcaire et Série à limons et argiles calcaires.

Vertisols Topomorphes

Sur alluvions des cours d'eau temporaires. Série de Keita.

Chapitre IX

LES SOLS HALOMORPHES
A STRUCTURE DEGRADÉE

ou

LES TOPOSEQUENCES
SUR MATERIAUX A
ARGILES GONFLANTES
ALCALISEES

1. G E N E R A L I T E S

1.1 DEFINITION DE L'UNITE

Les toposéquences sont formées d'une majorité de profils A - (B) - C associés à quelques profils A1 - A2 - B - C sur pente à horizons éluviaux centimétriques. La massivité et la compacité, sur tout ou partie du sol, caractérisent le développement pédique. Les structures les plus fréquentes sont la structure massive en A, les structures polyédriques ou cubiques en assemblage compact en B et C, la structure massive de ciment en C. Les structures verticales s'observent quelquefois à la base des horizons B et dans les horizons C des sols de glaciais, communément dans les sols de flots alluviaux où elles peuvent s'accompagner d'une très forte dispersibilité. La structure prismatique se superpose fréquemment à ces types de base; sa variété en colonnes à sommet arrondi se développe dans des horizons B à caractères chimiques le plus souvent solonetziques. Les textures, sableuses en A, argilo-sableuses en B, donnent fréquemment des contacts planiques. Les horizons A sont gris ou beiges, les horizons B sont bruns, parfois légèrement rubéfiés à leur partie supérieure sur les parties hautes du modelé, plus rarement rougis sur toute leur épaisseur. Le bariolage du pseudogley est commun en surface, au niveau du contact A/B, et dans le matériau qui peut être également décoloré ou verdi par le gley. Les accumulations de

carbonates de calcium sont fréquentes à la base des horizons B et dans les horizons C. Le concrétionnement ferrugineux, modéré, n'est connu que des termes rubéfiés.

Une alcalisation modérée et inconstante, des proportions d'argile gonflante plus faibles que dans les altérites de roches basiques, caractérisent les matériaux. L'alcalisation se limite le plus souvent à l'horizon C, atteint plus rarement les horizons B, exceptionnellement l'horizon A. Elle ne s'accompagne jamais de salinisation importante. La minéralogie des argiles peut n'être pas constante dans le profil, leur capacité d'échange croissant parfois vers la base de ce dernier.

1.2 SITUATION

Cette unité est la variante, sur roches plagioclasiques, des bas glacis (M.3) à altération smectitique. Sur grès arkosiques du Continental Hamadien, elle n'est connue que par des glacis isolés en enclaves dans la couverture sableuse de la région de Yagadji-Garare, au sud-ouest du Damergou (pluviosité 400 à 450 mm). Sur les granites alcalins du Mounio, elle occupe les glacis de piedmont des massifs d'inselberg (pluviosité 400 à 450 mm). Elle est extrêmement développée sur les granites calco-alcalins du Liptako, où elle forme des panneaux de plusieurs centaines de kilomètres carrés limités par des formations lithologiques différentes : schistes nigériens au nord, continental terminal à l'est, birrimien à l'ouest et au sud et cloisonnés de massifs dunaires longitudinaux (pluviosité de 400 à 575 mm).

1.3 ROCHES MÈRES ET MATÉRIAUX

1.31 L e s r o c h e s

Les grès du Continental Hamadien sont à feldspath potassiques et plagioclases, avec des ciments argileux à kaolinite et montmorillonite. Les granites du Mounio sont

hyperalcalins à pyroxènes et amphiboles sodiques. Les granites du Liptako sont calco-alcalins, à biotite, biotite et muscovite, biotite et amphibole, plus ou moins orientés et migmatisés. Ils renferment des enclaves de roches diverses dont le relief et la fraîcheur témoignent d'une résistance supérieure à l'altération; ce sont des filons de gabbro intrusifs et des massifs circonscrits de granites alcalins.

1.32 Argile d'altération des granites

remplacée par la roche blanchie, à feldspath séricitisés, passe en quelques centimètres à une argile grise ou olivâtre, avec ou sans amas calcaires et concrétions manganésifères, pétrie de feldspath altérés, de quartz, de paillettes de biotite chloritisée. Elle forme un écran imperméable et mince, décimétrique, à la base des profils et s'insinue dans les fissures de la roche. Ses phyllites sont un mélange de montmorillonite, selon des déterminations anciennes, plus vraisemblablement de smectites ferrifères, de kaolinite, de feuilletts potassiques. Le calcul donne, pour l'échantillon 183, les proportions suivantes :

Kaolinite	: 6%	Quartz	: 57%
Smectite ferrifère	: 24%	Goethite	: 1,35%
Muscovite	: 4%	CO ₃ Ca	: 7,1%

qui correspondent, pour la capacité d'échange de l'argile (T/A) à 80 milliéquivalents, chiffre plus vraisemblable que celui qui correspondait à l'argile granulométrique (130). L'analyse aux rayons X donne des proportions voisines mais détermine l'argile kaolinique comme une métahalloysite et la phyllite potassique comme une illite. Par rapport au granite, on constate une élimination de la silice et des alcalins, une accumulation du calcium dans les carbonates, du magnésium dans les argiles, du fer dans les argiles et sous forme d'oxydes :

- taux par rapport à la fraction soluble au
- triacide (argile) ou à la somme des minéraux
- altérables (granite).

Argiles	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	H ₂ O	Na ₂ O
116 (kaolin)	42,1	33,9	7,2	0,8	0,3	0,2	0,3	13,2	0,45
183 (smectite)	35,5	21,0	8,0	0,9	11,0	3,8	1,3	14,3	1,1
Granites	61,0	21,0	1,5	0,3	2,0	0,5	5,0	2,1	6,3

Ce qui distingue donc cette "simitisation" de la kaolinisation, c'est le maintien des alcalino-terreux dans le milieu d'altération, outre une élimination moins forte de la silice.

La moitié du sodium environ est sous forme échangeable dans la smectite, le reste correspondant à des traces de feldspath résiduels. L'alcalinisation est le fait d'une très faible fraction du sodium présent dans la roche, de l'ordre de 8% environ, ce qui explique qu'elle soit compatible avec une élimination appréciable de cet élément. Elle est très variable dans son intensité et s'accompagne toujours de dépôts de carbonate de calcium lorsqu'elle est forte. Elle est vraisemblablement due aux proportions du sodium par rapport aux alcalino-terreux dans la roche. Le calcul (règle de Gapon) montre en effet que, en admettant une libération proportionnelle des cations dans la solution d'altération, ce qui est vraisemblable au moins pour le sodium et le calcium des plagioclases, le taux de sodium dans le complexe absorbant doit varier à l'équilibre entre 11 et 21%, ces limites étant seulement de 6 à 8% pour les matériaux d'altération de roche basique non alcalinisés. Cela signifie surtout que les possibilités d'alcalinisation sont deux fois plus grandes sur granites que sur roches basiques, sans être pour autant effectives. Elles se réalisent lorsque la solution du sol, confinée, se concentre sur place par évaporation, la calcite précipitant en amas de fins cristallites. Si la dilution reste élevée, le calcium reste en solution et le sodium n'est pas fixé. L'alcalinisation ne sera donc possible qu'à ces périodes de l'année où les fortes pluies ont cessé mais où le sol reste humide. En saison très pluvieuse, les eaux de drainage éliminent les sels alcalins mais respectent la calcite qui peut ainsi s'accumuler progressivement. Ces mécanismes ne sont qu'un cas particulier, où le sodium est libéré par altération, de l'alcalinisation des sols par l'évaporation d'une nappe diluée dont le cation dominant, sinon exclusif, est carbonique ou bicarbonique. En région sahélienne et au-delà, jusqu'à 875 mm au Niger (salines du bas Dallol Fogha) cela donne invariablement des sols alcalinisés, riches en calcite et pauvres en sels solubles dans leur masse.

R e l a t i o n s e n t r e l a
k a o l i n i s a t i o n e t l a
s i m a t i s a t i o n

Nous avons noté, lors de la description du manteau kaolinique, que cette question se ramenait à l'étude des relations entre des sites bien drainés et des sites mal drainés et/ou soumis à une évaporation importante, conditions nécessaires à la concentration de la silice et des cations diversement nécessaires (Mg, Na) à la simatisation. La nature de ces liaisons varie selon l'échelle des zones ou aires d'altération.

Elle est d'abord climatique. La diminution de la pluviosité vers le nord a réduit le cuirassement, favorisé l'apparition de modelés en roches nues sur lesquels les argiles gonflantes sont apparues en abondance à la fin du Quaternaire, en milieu actuellement sahélien.

Elle tient ensuite à la succession des altérations. Dans le Liptako, les glacis smectitiques sont établis au niveau du front d'altération paléocène dont ils ont pu hériter le nivellement topographique, un certain degré d'altération de la roche acquis dans l'ancienne zone de cimentation (séricite, sphène, épidote, chlorite) éventuellement des argiles gonflantes situées à la base du manteau kaolinique. Le contact entre les deux altérites est ponctuel, les kaolins ne subsistant qu'en buttes témoins de la surface pliocène et leur grande zone d'extension étant séparée des glacis à sols halomorphes par une enclave birrimienne basique. Toutefois le bas modelé (M.3) situé entre Tera et la frontière voltaïque au sud-ouest (500 à 575 mm) pourrait être une zone de transition car des sols ferrugineux et solonetziques, des sols hydromorphes acides mais à structures fragmentaires bien développées, possèdent des caractères intermédiaires dus à des argiles à plus basse capacité d'échange que dans le nord, sans être entièrement kaoliniques comme dans le sud. Cette variation, se faisant sur le même modelé, pourrait être tenue pour climatique si la simatisation des granites n'existait, à plus de 800 mm de pluies, au Tchad et en Haute Volta.

Le site topographique fait évidemment varier le régime hydrique. Dans le Mounio se différencie une chaîne

d'altération à cortex kaoliniques sommitaux et argiles gonflantes à la base des glacis, sur un relief différentiel contrasté hérité que cette séquence ne peut qu'accentuer (BOCQUIER, 1967). Dans le Liptako les capacités d'échange les plus fortes sont celles des sols de bas de pente, sans toutefois que de véritables chaînes de sols se forment. Les divers types tendent plutôt à se répartir en vastes panneaux relativement homogènes, cette disposition tenant peut-être à des variations chimiques de la roche.

Un type de zonalité verticale a été décrit où du fait de la réduction du drainage, la montmorillonite et les carbonates apparaissent en profondeur (site de Guidimouni). On ne sait dans quelle mesure il a affecté l'ensemble du manteau kaolinique à la base duquel des concentrations de sodium, la simatisation d'enclaves de roches basiques, démontrent l'existence de conditions favorables à la formation d'argiles gonflantes. Un second type est celui qui affecte les solonchz solodisés dont la kaolinite augmente relativement dans les horizons A du fait de la solodisation de la montmorillonite (BOCQUIER, 1967). Cette variation affecte plus généralement les sols smectitiques dont les horizons supérieurs sont acidifiés, par exemple certains vertisols à gley de surface. Elle exprime encore la dépendance du type minéralogique des argiles à l'égard du milieu.

On peut finalement conclure que si le type minéralogique dominant dans les argiles dépend de la zone climatique, leur composition exacte dépend d'ajustements aux conditions physico-chimiques régnant dans le site, la zone d'altération, l'horizon.

1.34 S t r a t i g r a p h i e

Les sols en place sont plus fréquents que sur roches basiques birrimiennes. Des sols bruns, des sols à alcali bruns autochtones recouvrent les glacis situés au sud-ouest du confluent du Gorouol et du Beli. Ailleurs, principalement dans les régions à reliefs nombreux (Mounio) ou au sommet des interfluves, l'altérite est revivée, communément au niveau de la roche blanchie, par une nappe grossière dont l'épaisseur n'excède pas 50 cm sauf dans le Mounio où elle atteint 80 cm. Ses éléments sont empruntés à la roche sous-jacente (quartz filonien, feldspath de pegmatites, graviers de quartz pour les grès)

à des cuirasses ferrugineuses (gravillons) et aux débris que celles-là pouvaient contenir (gravillons de la cuirasse supérieure, fragments de grès continentaux et de roches basiques dans les régions de contact. Au confluent du Niger et du Gorouol, elle passe latéralement à des cailloutis fluviatiles assimilés aux graviers sous berge. L'emballage, argilo-sableux, a subi un concrétionnement ferrugineux sur les points hauts du modèle, plus important dans le Mounio et dans la région de transition aux sols ferrugineux précitée. Des apports plus tardifs de carbonate de calcium, de gypse (Mounio) d'oxydes de manganèse y sont plus étendus. On peut y déceler actuellement une circulation oblique d'argile de sables très fins (Mounio). Ce niveau n'affleure qu'exceptionnellement. Il est généralement recouvert par moins d'un mètre de sables argileux dont le plasma est celui de l'altérite sous-jacente. Ce matériau est en continuité avec l'emballage de la nappe grossière, ou est plus tardif, des volumes résiduels de l'ancien horizon concrétionné se distinguant morphologiquement du nouvel apport (NO 25). L'évolution pédologique produit une concentration superficielle du squelette dont le contraste textural est accentué par le ruissellement et l'écoulement hypodermique à la base des horizons A. Cette érosion de surface est également à l'origine de matériaux complexes fortement polyphasés. Au minimum elle véhicule en surface des épandages discontinus de menus débris.

Les sables éoliens recouvrent la nappe grossière concrétionnée, à l'emballage de laquelle ils se substituent parfois. Ils paraissent également avoir fossilisé le matériau sus-jacent, du moins est-ce ainsi que sont interprétés des sols à horizons sableux très épais, toujours situés au contact des dunes anciennes, mais présentant cependant une continuité texturale supérieure à celle qui résulterait d'une franche superposition.

Cette succession est la même que sur les glacis birriens et s'interprète de même : mise en place d'un matériau complexe sur une altérite, érosion éolienne, mise en place et évolution d'une seconde génération de sol, avec dépôts divers dans le niveau détritique anciennement concrétionné.

1.4 LE MODELE

1.41 L i p t a k o

Le bas modelé est formé de grands glacis s'abaissant de 20 à 40 mètres pour une longueur moyenne de 10 kilomètres. La partie centrale des interfluves est légèrement relevée, légèrement convexe, dominée de rares buttes tabulaires cuirassées et d'affleurements de roches dures (quartz, gabbro intrusifs) localement recouverte de pavages d'une cuirasse ferrugineuse de faible épaisseur (W.2). Les pentes y atteignent localement 3% mais sont de 0,5% en moyenne. La couverture pédologique y est cependant faible, interrompue d'affleurements multiples du granite, en boules ou dômes surbaissés. Le ruissellement y est important et se décèle aux plages de sables grossiers rosés juxtaposées aux placages encroûtés gris ou bruns et aux morsures des nappes ravinantes. La partie inférieure, périphérique, des interfluves est presque rectilinéaire, avec des pentes infimes, comme de 0,13% sur 2,5 km. La couverture pédologique y est plus épaisse, les premières zones de colmatage, à surface grise et fissurée, y font leur apparition. Des brousses tigrées s'y développent dans le bassin du Gorouol. Les impluvium sont décaqués par un fort ruissellement; les bandes couvertes, qui, singularité propre à cette unité, peuvent être uniquement herbeuses, sont parsemées de nombreux turricules et termitières. Si, sur les photographies, le réseau hydrographique paraît très ramifié et hiérarchisé, son colmatage est tel que sur le terrain, c'est surtout la végétation et l'aspect superficiel des sols hydromorphes qui permettent de le reconnaître. Les dépôts alluviaux sont cependant bien moins importants que sur le Birrimien basique, sauf dans quelques mares de barrage dunaire, ou dans la gouttière creusée sur le contact des granites avec les schistes cuirassés de la région Kero-Tatori. Ces glacis sont compartimentés par les dunes longitudinales anciennes, parfois entièrement ensablés sur la rive droite du Niger. Des voiles éoliens, des restes érodés de dunes isolées s'y observent sporadiquement.

Principales espèces végétales des toposéquences à sols halo-
morphes à structure dégradée.

	Granites						Grès	
	Liptako			Mounio			Halomorph.	Ferrug.
	glacis	dépressions		glacis	fonds			
400	525	575	400	575	450	450	450	450
Pluiosité								
<u>Physionomie</u>								
Steppe arbustive	P	P	.	.	.	.	D	.
Brousse arbustive	.	D	.	.	.	D	P	D
Brousse tigrée	D	.	.	.	.	.	.	.
Savane arborée	.	.	D	.	.	.	.	.
Bois armé	.	.	.	D	P	.	D	.
Galerie	.	.	.	.	D	.	.	.
Prairie	P	.	.	.	P	.	P.	.
<u>Arbres et</u>								
<u>arbustes</u>								
Acacia seyal	D	D	D	D	D	P	D	D
Acacia flava	D	.	.	.	.	.	.	.
Acacia raddiana	D	.	.	.	.	D	.	.
Acacia senegal	D	D	.	.	.	P	D	.
Acacia campyla- cantha	.	.	.	.	P	.	.	.
Acacia adstrin- gens	.	.	.	.	P	.	.	.
Commiphora afri- cana	D	D	D	.	.	D	.	D
Balanites aegyp- tiaca	D	D	.	.	.	P	.	.
Cadaba farinosa	.	.	.	.	.	.	.	P
Bauhinia reti- culata	P	P	P	.	.	.	.	.
Combretum glutinosum	P	P	P	.	.	.	.	.
Combretum nigricans	.	.	P	.	.	.	.	.
Anogeissus leiocarpus	.	.	D	.	.	.	.	.
Sclerocarya birrea	.	.	P	.	.	.	.	.
Lannea microcarpa	.	.	P	.	.	.	.	.
Sterculia setigera	.	.	P	.	.	.	.	.
Hyphaene thebaica	.	.	.	.	.	P	.	.
<u>Arbrisseaux</u>								
Grewia flavescens	.	.	.	.	P	.	.	P

	Granites					Grès			
	Liptako				Mounio				
	glacis		dépressions		glacis	fonds	Halom.	Ferrug.	
	400	525	575	400	575	450	450	450	450
Pluviosité									
<u>Arbrisseaux</u>									
<i>Grewia bicolor</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	P
<i>Grewia tenax</i>	.	.	.	.	.	.	.	P	.
<i>Cordia rothii</i>	.	.	.	.	.	.	.	D	D
<i>Zizyphus mauritiana</i>	.	.	.	.	P	P	.	.	.
<i>Dichrostrachys</i> <i>glomerata</i>	.	.	.	.	P	.	.	.	.
<i>Acacia macrostachya</i>	.	.	.	.	P	.	.	.	.
<i>Combretum aculeatum</i>	P	.	.	.	P	.	.	.	.
<i>Combretum micranthum</i>	.	.	.	.	D	.	.	.	P
<i>Boscia senegalensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	P
<i>Guiera senegalensis</i>	P	P	P	.	P	.	.	.	P
<u>Graminées</u>									
<i>Cymbopogon</i>									
<i>Schoenanthus</i>	D(1)	.	.	.	.	D	D	.	.
<i>Loudetia togoensis</i>	.	D	P	.	.	.	.	.	.
<i>Schoenefeldia</i> <i>gracilis</i>	D(2)	P	P	.	.	.	P	P	.
<i>Aristida adscensionis</i>	.	.	.	.	.	.	P	.	.
<i>Pennisetum sp.</i>	.	.	.	.	D	.	.	.	.

(1) bandes couvertes, parfois exclusif
(2) bandes nues.

1.42 M o u n i o

Quelques glacis ont échappé à l'ensablement sur la face ouest des principaux massifs d'inselberg. Ils sont plus courts et pentus que dans le Lipteko, encombrés de la nappe détritique concrétionnée. Les argiles se sont accumulées dans de petites dépressions, les plus basses au niveau du rivage du paléo-tchad de 400 m.

1.43 C o n t i n e n t a l H a m a d i e n

Les glacis sont extrêmement plats et se raccordent à

quelques dépressions argileuses. L'adoucissement du modelé, par rapport à la topographie plus méridionale où se développent les sols ferrugineux, est dû à la disparition des buttes témoins du Continental Terminal.

1.5 LES FACTEURS BIOTIQUES

1.51 L a v é g é t a t i o n

La composition floristique, où dominent en tous lieux *Acacia seyal* et *Commiphora africana*, et sa physionomie de brousse arbustive contractée, révèlent la sécheresse édaphique du substrat. L'augmentation de la pluviosité fait passer progressivement des steppes arbustives, des brousses tigrées septentrionales à des formations plus diffuses et hautes de savane arborée où apparaissent des espèces plus soudaniennes : *Anogeissus leiocarpus*, *Sclerocarya birrea*. Les points bas sont souvent couverts de bois armés. Le tapis graminéen est peu varié. *Cymbopogon schoenanthus* est commun sur les sols alcalisés, où il constitue parfois, seul, les bandes couvertes des brousses tigrées (nord du Gorouol).

1.52 L e s c u l t u r e s

Elles n'existent ni dans le Mounio, ni sur les grès et sont fort rares dans le Liptako (4 relevés sur 28) où elles se limitent à quelques champs de sorgho, espèce de terres lourdes, soit sur des sols polyphasés plus sableux près de massifs dunaires, soit sur des sols bruns non alcalisés. Ces terroirs ont contre eux leur texture, presque systématiquement négligée au Niger où l'on préfère les terres légères, et leur compacité. Ils reconstituent malaisément leurs réserves en eau et sont très difficiles à ameublir. Leur mauvaise conservation, leur résistance à la colonisation végétale sont donc plus le fait de leur nature que d'une utilisation agricole mal conduite.

Les parties hautes du modelé, le centre des interfluvies sont recouverts par des sols à horizons A éluviaux, ferrugineux ou solonetziques; des sols bruns, des sols alcalisés bruns se développent sur les glacis peu élevés des cotes inférieures ou envahissent tout le paysage (bassin du Gorouol). Les dépressions septentrionales portent des vertisols alcalisés, les dépressions méridionales des sols hydromorphes.

Nous rapportons aux sols ferrugineux lessivés des profils peu épais A.1 - A.2 - B rubéfié à structure polyédrique du sud-ouest du Liptako, du Mounio, des glacis sur grès où ils sont mieux conservés. Nous les interprétons comme les restes de la couverture à l'origine du concrétionnement ferrugineux de la nappe détritique.

Les sols solonetziques sont également des profils A.1-A.2-B mais possédant de nombreuses caractéristiques des "solonetz solodisés" définis au Tchad (BOCQUIER, 1965 et 1967) dont nous donnons ci-dessous une synthèse morphologique :

horizon A.1

gris ou brun (10 YR) souvent à léger pseudo-gley; sableux ou sablo-argileux; massif, feuilleté au sommet; compact; la base peut être plus claire ou marquée d'une fissure; très érodible, cet horizon disparaît souvent; au plus 10 cm.

horizons A.2

beiges ou blancs; sableux ou sablo-argileux; squelette souvent plus grossier qu'en A.1 et tendant à se concentrer à la base; une très forte porosité y facilite un lessivage oblique important.

horizon A.21

continu, rarement observé sur une grande épaisseur (7-8 cm); débit ou structure polyédrique en assemblage compact; porosité semi-tubulaire fortement développée; la base est soulignée d'une fissure (contact planique) parfois fortement enrichie en éléments squelettiques grossiers tendant à former un lit

continu adhérent à la masse de l'horizon.

horizon A.22

formé de sables particuliers, voire de graviers, décolorés et logés dans une fissure située à la base de l'horizon A.21 et dans les interstices séparant les colonettes de l'horizon B; ces sables, croûlant dans les fissures verticales, peuvent s'observer assez profondément dans le profil, en "crépis" (squelettines illuviales) sur les faces structurales; bien que son épaisseur ne dépasse pas quelques millimètres, il est remarquablement constant, se réduisant au minimum à une discontinuité entre les horizons A.1 et A.2; ce serait la zone de lessivage oblique maximum.

horizon A.23

c'est une néosquelettine blanchie, pâlie, épaisse de quelques millimètres, en calotte au sommet et sur les flancs des colonettes; sa limite inférieure est d'autant plus basse que l'élément structural est d'ordre plus élevé; elle est compacte ou à porosité vésiculaire (en trous d'épingles); elle se maintient lorsque l'érosion met à nu les colonettes; on la considère comme le front de solodisation.

horizon AB

formé de volumes à couleur, texture, structure très voisines de celles des horizons B, enrobé dans un matériau plus sableux, poreux et décoloré dont l'aspect est celui des A.2; il présente divers aspects et localisations :

- petites écailles détachables au sommet des colonettes, au niveau ou incluses dans A.23
- agrégats polyédriques à néosquelettine décolorée formant une couche de 1 cm d'épaisseur environ pouvant se substituer à l'horizon A.2.

horizons B

texturaux et structuraux; à colonettes de petites dimensions (diamètre de 6 à 15 cm) à sommet modérément arrondi, à sections transversales curvilignes à la partie supérieure, polygonales à la partie inférieure; leur partie sommitale est brune.

horizon B.1 t fe en g
calotte superficielle brun rougeâtre avec ségrégations ferrugineuses, concrétions noires et rondes; argilo-sableux; le plus riche en fer; débit ou structure polyédrique à faces lisses, en assemblage compact; tous les grains du squelette enrobés; très dur et compact.

horizon B.2 t
centre des colonettes; teinte brune plus homogène, avec une nuance rougeâtre; argilo-sableux; au sommet structure cubique (3 cm) à sous-structure polyédrique (5 mm) à faces luisantes par compaction; à ce niveau on peut observer des cutines argileuses illuviales de la couleur de l'horizon B.1 au sommet des éléments structuraux ou aux points d'intersection basale des faces des agrégats; à la base structure en plaquettes (1 x 3 cm); l'assemblage est compact, la cohésion excessive, la dureté et la compacité extrêmes.

horizon B.3
situé vers 25 cm; brun ou brun olive (10 YR); légèrement moins argileux et surtout moins riche en fer; argilo-sableux; cubique (5 cm) en assemblage compact avec surstructure prismatique ou polyédrique (3 cm) en assemblage compact; cohésion très forte; peut manquer.

horizon B.C ca
brun grisâtre ou jaunâtre ou olive; parfois marbré; argilo-sableux; calcaire en grains et pseudomycelium au sommet, en nodules à la base; structure polyédrique (4 cm) en assemblage compact ou en plaquettes lissées légèrement obliques (15 cm).

horizon C
argile d'altération du granite, avec restes de minéraux altérés et carbonate de calcium.

roche mère
contact ondulé; vers 70 cm.

La solodisation de l'argile gonflante vers le sommet du profil, le lessivage, surtout oblique, une légère illuviation de l'argile et surtout du fer au sommet des horizons B, l'hydromorphie associée aux contacts planiques ou à la compacité, la carbonatation, l'érosion superficielle favorisée par le lessivage sont les principaux processus responsables de cette morphologie complexe qui paraît résulter

de l'évolution directe du matériau, sans stade intermédiaire. Les taux relatifs de sodium sont cependant plus faibles que la limite assignée par la classification ($Na/T = 15\%$) qui n'est atteinte que dans le matériau, le seul horizon précisément à ne pas montrer de caractéristique halomorphe. Ce fait paraît assez fréquent parmi les solonetz solodisés et solonetz du monde si bien que de nombreux chercheurs admettent une certaine indépendance entre les taux de sodium et la morphologie de sol solonetzique. Ainsi la dispersibilité de l'argile peut n'être pas en corrélation avec le taux de sodium, puisque le lessivage de ce dernier l'accroît (LAKTIONOV, 1961). La structure en colonettes survit à ce même lessivage dans les sols lourds et plus généralement les relations entre la morphologie et le taux de cations échangeables, dont le sodium, n'ont de valeur que relativement à l'environnement génétique (WHITE, 1964). De fait le magnésium, dont il est admis qu'il relaie l'action du sodium (BUYLOV, 1965) ne possède pas non plus de valeurs significatives d'une différenciation structurale précise. Utilisant la classification chimique de DURAND (1956) nous avons constaté que la plupart des sols sur argiles gonflantes se classaient comme solonetz magnésiens, que leur morphologie soit celle d'un solonetz, d'un vertisol, d'un sol brun eutrophe, d'un sol brun tirsifié, d'un sol brun-rouge. Cela et le fait que les sols à aspect de solonetz ou possédant les structures les plus dégradées ne s'observent jamais que sur les matériaux évoluant également en sols à alcali au sens strict, caractérisés de surcroît par les taux de sodium les plus élevés en valeur relative, nous a incité à maintenir dans la classe halomorphe des sols essentiellement définis par leur morphologie. Une difficulté supplémentaire tient à l'existence de faciès douteux dus à la disparition d'horizons caractéristiques ou à l'apparition de traits de sols ferrugineux. Les types morphologiques recensés au Niger sont les suivants :

- solonetz solodisé : A.1 - A.2 avec néosquelettine - B à colonettes ou structure prismatique.
- solonetz solodisé atypique : A.1 - A.2 avec néosquelettine - B à structure cubique ou massive.
- sol solonetzique : A.1 non lessivé - B à colonettes.

sol solonetzique atypique : A.1 - A.2 - B à structure massive ou cubique, parfois rubéfié.

Les sols alcalisés bruns et les sols bruns tiennent dans les toposéquences la place des sols bruns tirsifiés sur roches basiques. Ce sont des profils respectivement (A) - (B) ca sn - C cn et (A) - (B) - C de teinte uniforme foncée, à structures généralement polyédriques et compactes. L'alcalinisation n'est pas décelable autrement que par la présence de calcaire; en particulier elle ne coïncide pas nécessairement avec les structures les plus compactes et sa répartition sur le terrain paraît sans règle définie. L'horizon (A) peut être lité par le ruissellement mais n'est jamais aussi appauvri que sur les sols ferrugineux ou solonetziques. Ces sols tiennent vraisemblablement leur assombrissement du même processus donnant les argiles noires; leur localisation est, dans l'ensemble de l'Afrique de l'ouest, plutôt sahélienne. La classification de 1965 les répartit entre les sols à alcali non lessivés, moyennement ou peu salés, et les sols subarides bruns.

Il existe des degrés dans l'alcalisation des vertisols menant de l'aspect habituel des sols topo-lithomorphes à des profils d'un noir de jai à cutines argileuses illuviales sur les agrégats et doués d'une dispersibilité immédiate dans l'eau de pluie.

Les apports éoliens, les colluvions principalement arrachées aux horizons lessivés, solodisés, appauvris sont à l'origine de sols peu évolués d'apport à faciès généralement brun.

2. E T U D E M O R P H O L O G I Q U E

2.1 LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES

2.11 Les sols ferrugineux lessivés érodés sur granites

Site de Beyorou Tondo (NO 25)

Lat. : 14° 07' 0" N.
Long. : 0° 36' 20" E.
Cote : 254 m

Bas de glacis; pente très faible; pluviosité de 500 mm.

Surface : brun-jaune; épandages de sables grossiers;
plages à croûte pluviale.

0-10 cm : brun-jaune (10 YR 5/3,5); grossièrement sa-
A 1 bleux; massif à débit horizontal aisé; très
compact.

10-32 cm : brun-jaune (10 YR 4/4); sables plus grossiers;
A 2 massif; porosité semi-tubulaire et tubulaire
fine et peu développée.

32-57 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4/6); sablo-argileux,
avec gravillons; polyédrique (4-5 mm) en as-
B t semblage compact; cohésion moyenne; porosité
semi-tubulaire bien développée.

57-75 cm : nappe de débris de quartz; des restes d'hori-
II B fe zon B rouge foncé argilo-sableux à concrétions
cn r ferrugineuses (0,3-3 cm) brun-rouge foncé à

centre noir, avec cortex lisse brun-jaune; la matrice ancienne a localement disparu pour être remplacée par les sables sus-jacents; les quartz et concrétions ainsi libérés sont enduits de cutines argileuses brunes apportées par lessivage oblique.

75-80 cm : mêmes quartz et concrétions; des feldspaths; assemblage très lâche du fait de la disparition de toute matrice par lessivage oblique; r éluvié des cutines.

Avec des sols solonchiques atypiques, ces sols recouvrent les glacis du sud-ouest du Liptako et sont associés avec des sols hydromorphes. Le développement ferrugineux se poursuit sur un matériau colluvial issu de l'érosion d'un sol concrétionné où le lessivage oblique apparaît comme un facteur de destruction des anciens B et de sélection granulométrique.

Les sols correspondants du Mounio, en climat plus sec, montrent une évolution structurale superficielle qui est celle des sols subarides de glacis (NB 36) :

0-1 cm : croûte feuilletée feutrée de radicelles.

1-8 cm : brun grisâtre (10 YR 5/3); finement sableux; structure en plaquettes horizontales en assemblage compact, surstructure prismatique; cohésion moyenne à forte; compact.
A

8-22 cm : rouge jaune (5 YR 5/6); sablo-argileux; polyédrique en assemblage compact; porosité tubulaire.
B

22-91 cm : concrétions ferrugineuses coalescentes au sommet et formant des feuilletés grossiers; matrice ancienne disparue par lessivage oblique; dépôts siliceux (sommet des concrétions) et argileux rouges (base des concrétions) en cutines.
II B fe
cn r

Sur des accumulations détritiques épaisses modérément concrétionnées, la poursuite du lessivage et de l'illuviation s'est traduite par la formation de raies d'accumulation de fer et d'argile, rouges et ondulées. Dans les zones basses, des dépôts de carbonates de calcium se forment aux points de contact des éléments squelettiques

grossiers et des anciennes concrétions.

2.12

Les sols ferrugineux
lessivés sur grès

Site de Garare (ND 73)

Lat. : 14° 13' 09" N.
Long. : 8° 13' 53" E.
Cote : 438 m

Haut de versant; pluviosité : 450 mm.

Surface : à croûte pluviale; petites termitières.

0-30 cm : beige (10 YR 6,5/3); reticulum de stries
ocres ondulées; sableux; massif; cohésion
A.1 faible; porosité intersticielle fine ($\emptyset =$
0,25 mm) plus forte à la base.

Contraste fort; transition sur 20 cm.

30-55 cm : jaune rougeâtre terne (7,5 YR 5,5/5); sa-
bleux; débit polyédrique; cohésion forte,
A.2 avec volumes durcis; porosité semi-tubulai-
re ($\emptyset = 0,5$ mm).

Contraste faible; transition sur 5 cm.

55-90 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4,5/6); sablo-argileux;
polyédrique (1-2 cm) en assemblage compact;
B.1 cohésion forte; des facettes lisses iso-
lées (0,5 cm²); porosité tubulaire grossière
(0,5-1 mm) bien développée.

Contraste très faible; transition sur 20
cm.

90-125 cm : rouge jaunâtre plus clair (5 YR 5,5/6);
plus argileux; sables plus grossiers; po-
lyédrique (5 cm) en assemblage compact,
B.2 avec quelques facettes lisses; cohésion
très forte; porosité nettement réduite.

Contraste moyen; transition sur 10 cm.

125-150 cm : même teinte, avec reticulum jaune clair et traînées noires organiques (copropèdes);
B.2 g : même texture; polyédrique (1 cm) en assemblage compact; nombreux trous et nids d'insectes.

Contraste faible, transition sur 5 cm.

150-175 cm : jaune rougeâtre pâle (7,5 YR 5,5/6) à plages plus jaunes ou rouges; argilo-sableux;
B.3 t g ca : finement polyédrique (5 mm) en assemblage lâche de cohésion moyenne; pseudomycelium calcaire et concrétions ferrugineuses rouge vif (10 YR 4/6) tendres (5 mm).
cn

175-200 cm : graviers de quartz (5 mm) émoussés; taches rouge vif verticales et concrétions ferrugineuses tubulaires; embellage argilo-sableux; polyédrique en assemblage compact.
II.B r cn

La morphologie est celle d'un sol ferrugineux lessivé et rubéfié. La diminution progressive de la taille des sables vers le sommet (le rapport des sables fins aux sables grossiers passe de 1,35 à 2,15) est le résultat d'une éolisation superficielle d'horizons anciens, telle qu'elle a été décrite ou mentionnée à propos des sols ferrugineux du Djermaganda, des sols bruns et brun-rouge sur roches basiques. La concentration des carbonates est suffisamment forte pour induire des structures calcimorphes dans la base engorgée du profil, neutre, non alcalisé. Elle ne se limite plus aux seuls sols de bas de pente comme dans les chaînes plus méridionales sur ces mêmes grès. Il est théoriquement possible d'attribuer à l'accumulation dont cette carbonatation est le signe la néogénèse des argiles gonflantes des solonetz situés plus bas sur le glacis (ND 66). Comme il existe des sols ferrugineux à base carbonatée associés à des sols smectitiques à des latitudes beaucoup plus basses qu'au Niger (au Cameroun, avec une pluviosité de 800 à 900 mm) on ne peut attribuer au climat subaride que des variations secondaires de cette organisation : extension plus grande des dépôts carbonatés, sous forme plus diffuse (pseudomycelium plutôt que nodules) horizons de surface neutres, éolisation éventuelle pendant les périodes arides. On ne peut donc pas opposer une pédogénèse subaride succédant à une pédogénèse ferrugineuse mais seulement admettre des modifications de détail de cette dernière.

2.2 LES SOLONETZ ET SOLS SOLONETZIQUES

2.21 Solonetz solodisés

Ils n'ont été décrits que sur grès :

site de Samia (ND 66)

Lat. : 14° 22' 30" N.

Long. : 8° 20' 0" E.

Cote : 427 m.

Pied de glaciais; au contact de sols hydromorphes carbonatés; pente faible mais très fort décapage superficiel; pluviosité de 450 mm.

0-10 cm : brun jaunâtre (10 YR 6,5/5) à lits de sables décolorés et ségrégations ferrugineuses
A.1 ocres parallèles au litage; sablo-argileux; structure feuilletée; cohésion moyenne à faible; compact.

10 cm, A 22: lit de sables particuliers décolorés.

10-15 cm : grisâtre (10 YR 5,5/4); argilo-sableux; massif, très dur, avec porosité vésiculaire;
A.23 aspect de "croûte" en continuité structurale avec les agrégats sous-jacents dont elle revêt le sommet.

15-20 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4/6) ou brun-rouge foncé; faces des agrégats plus foncées et luisantes; argilo-sableux, avec grains de quartz grossiers tendant à se concentrer au sommet; non calcaire; prismatique (15 cm); sous-structure massive au sommet, cubique (2 cm) à la base avec faces supérieures luisantes; cohésion excessive; porosité nulle au sommet, quelques pores tubulaires à la base.
B.1 et 2

Transition sur 5 cm.

20-40 cm : brun-jaune olivâtre (10 YR 5/6); argilo-sableux; amas calcaires très fins; polyédrique (1 cm) à faces rugueuses en assemblage modérément compact; sous-structure polyédrique très fine (- de 1 mm) en assemblage compact: cohésion forte à très forte
B.3 ca

Transition très brève.

40-67 cm : Brun clair (10 YR 6,5/3); agrégats brun-jaune au centre, gris bleuté à la périphérie;
BC g ca argilo-sableux; amas calcaires plus rares et gros (1 mm); polyédrique (0,5 cm) à arêtes aiguës et faces lisses; assemblage très compact; cohésion excessive, porosité nulle.

Transition progressive.

67-100 cm : gris bleuté (2,5 Y 6/0) avec volumes brun-jaune et taches ocres; argilo-sableux; nodules calcaires (1 cm) groupés; massif et compact.

La nomenclature des horizons est faite par analogie avec le type tchadien donné ci-dessus. L'absence des colonettes, la gleyfication en profondeur sont les différences, moins nombreuses et importantes que les ressemblances :

- horizon A appauvri, remanié par le ruissellement;
- concentration du squelette au sommet d'une néosquelette;
- légère individualisation des hydroxydes de fer au sommet des B, accumulation de calcaire à leur base;
- disparition de la sous-structure fragmentaire au contact du "front de solodisation"; le développement pédique est ensuite accru par l'augmentation du pouvoir de gonflement de l'argile (faces lisses) vers la profondeur, par l'accumulation de calcaire sous forme diffuse (finesse). Il s'annule derechef dans la base gleyeuse par dispersion de l'argile très fortement alcalinisée, le calcaire, concentré en nodules, n'agissant plus sur lui.

L'alcalinisation croît vers la base et a partout des valeurs élevées, ce qui est exceptionnel.

2.22 Solonetz solodisés atypiques

On les observe à la base des glacis sur granites.

Site de Toumkous (NM 37)

Lat. : 14° 41' 40" N.
Long. : 1° 16' 40" E.
Cote : non mesurée

Pied de glaciaire; au contact de sol hydromorphe argileux; pluviométrie de 420 mm.

Surface : blanchâtre, encroûtée, avec placages (50 m², épaisseur de 20 cm) de sables quartziques et feldspathiques ferritiques; touradons et termitières.

0-3 cm : croûtes grises (1 mm) séparées par des lits de sables grossiers; cohésion très faible; très poreux.

3-27 cm : beige (7,5 YR 7/3); sableux, hétérométrique; massif; porosité semi-tubulaire peu développée; non durci.

Contact planique.

27-40 cm : brun marbré de brun-jaune foncé (10 YR 6/4 et 7,5 YR 4/4) sablo-argileux; structure de ciment à cohésion forte; porosité en trous d'épingles ($\phi = 0,25$ mm) très développée, plus grossière à la base ($\phi : 0,5$ mm) où elle produit un aspect spongieux; légèrement alcalinisé.

40-50 cm : lits et poches de quartz (1 cm) et de concrétions ferrugineuses brun-rouge; emballage argileux brun, polyédrique (1 mm) en assemblage lâche; très dur.

50 cm : argile d'altération de granite à biotite et hornblende; des quartz, des feldspath (microcline, orthose) friables; alcalinisée et carbonatée.

On les interprète comme des sols solodifiés fortement érodés, à horizon B en voie de destruction par perte de son plasma.

2.23

S o l s s o l o n e t z i q u e s

Ils sont propres à la partie centrale, sommitale, des interfluves du nord du Liptako (bassin du Gorouol).

Site de Oussa (GB 95)

Lat. : 14° 46' 45" N.

Long. : 0° 45' 0" E.

Cote : 241 m.

Partie centrale d'interfluve, dominant des glacis à sols bruns; pluviosité de 420 mm.

Surface : brun rougeâtre; fine croûte pluviale.

0-12 cm : gris (10 YR 5,5/4) marbré de brun-jaune; argilo-sableux, non appauvri; des fissures fines et espacées (de 1 mm tous les 15 cm);
A massif; cohésion forte; compact.

12-35 cm : brun-rouge terre (7,5 YR 4/4); marbrures grises; argilo-sableux; structure en colonnettes (Ø = 10 cm) avec fort développement d'une porosité semi-tubulaire sur les dix premiers centimètres; sous-structure cubique à prismatique (5 cm) au sommet, (cubique (3 cm) à la base; assemblage compact, cohésion excessive.
(B)

35-70 cm : plus clair (7,5 YR 5/4) et fortement marbré de gris; argilo-sableux; structure en plaquettes (3 x 2 cm) à faces lisses, en assemblage compact; très dur; des taches manganésifères.
(B) g

C'est un sol à équilibre des cations de "solonetz magnésien" dont la structure en colonnettes s'accommode de taux de sodium inférieurs à 6% de la capacité d'échange. Bien qu'il n'y ait aucun appauvrissement, le profil des couleurs et des structures est fort proche de celui des solonetz solodisés, ce qui signifie une similitude de régime hydrique des horizons.

2.24

S o l s s o l o n e t z i q u e s a t y p i q u e s

Ce sont les sols les plus fréquemment associés aux sols

ferrugineux érodés du Liptako.

Site de Toumkous (NM 41)

Lat. : 14° 39' 0" N.

Long. : 1° 16' 30" E.

Sommet d'interfluve; pluviosité de 420 mm.

Surface : encroûtée, avec plages de sables grossiers.

0-5 cm : gris-brun (10 YR 4/2); sableux; divisé, comme le reste du profil, par des prismes réguliers ($\emptyset = 20$ cm, fissures de 5-10 mm, retrait de 2,5 - 5%) ayant subi une torsion de 5° autour de leur axe vertical; sous-structure en plaquettes (1 cm); cohésion forte; compact.

5-36 cm : rouge foncé (2,5 YR 3/5) passant progressivement à la base à brun olive à plages rouges; des mouchetures noires; argilo-sableux, à sables grossiers quartzeux et feldspathiques; prismatique; sous-structure cubique (6 cm) passant à polyédrique (2 cm) près des faces des prismes; cohésion excessive; porosité tubulaire ($\emptyset = 0,5$ mm) très développée à la périphérie des agrégats; à la base quelques gros débris de quartz.

36-120 cm : gris olive (5 Y 4/2); argile d'altération non carbonatée à feldspaths pluviculents et biotite ferruginisée; prismatique; sous-structure cubique (4 cm) légèrement lissée et oblique; assemblage compact; légèrement alcalinisé.

L'absence de carbonates dans le matériau et corrélativement la faible alcalinisation sont un effet de la situation topographique. Le sol prend de ce fait un aspect voisin des sols brun-rouge des glacis sur roches basiques, tout en ayant près de deux fois plus de sodium que ces derniers. Humide, il acquiert cependant une plasticité suffisante pour se déplacer en masse, mouvement dont la structure prismatique conserve les traces. Les sols méridionaux de ce type possèdent des horizons A moins érodés et un horizon B à pseudogley (NO 4, Taka, 575 mm) :

- 0-3 cm : gris-brun (10 YR 4,5/2); sableux; massif et
A.1 compact.
- 3-13 cm : beige (10 YR 5,5/3); sableux; massif, forte-
A.2 ment poreux.
- 13-21 cm : brun (7,5 YR 4/4) à taches ferrugineuses jau-
B g sn nes; argilo-sableux; structure à tendance
prismatique en assemblage très compact; quel-
ques faces luisantes; cohésion excessive.
- 21-36 cm : graviers de quartz, feldspath, des gravillons
II B r cn dans un emballage argileux brun, polyédrique
en assemblage compact; quelques concrétions
manganésifères.
- 36-45 cm : arène de granite avec restes d'argile d'alté-
III C et ration brun olive.
R

Ce qui distingue ce profil du sol ferrugineux qui lui est associé en même toposition topographique (NO 25) c'est le fait de se développer sur un matériau issu de l'altérite et non d'un ancien horizon B concrétionné, différence se manifestant dans l'horizon le plus argileux, le plus profond.

2.3

LES SOLS FONCES DE BAS DE TOPOSEQUENCE : BRUNS, A

ALCALIS BRUNS, VERTISOLS A ALCALIS

Cet ensemble est l'équivalent des argiles noires sur roches basiques. Les capacités d'échange sont élevées, l'assombrissement du profil est accentué, les dépôts de carbonates sont fréquents en profondeur. Les sols bruns sont des sols de glacis, les vertisols des sols de dépressions.

2.31 Les sols bruns à structure dégradée

Ils sont très communs sous les brousses tigrées du bassin du Gorouol.

Site de Gaya du Gorouol (GB 80)

Lat. : 14° 38' 10" N.
Long. : 0° 44' 20" E.
Cote : 247 m.

Bas de glacis; pluviosité de 425 mm.

Surface : brune, légèrement décapée.

0-9 cm : brun (10 YR 4/2); argilo-sableux, les sables quartzeux et feldspathiques; feuilleté (1 cm); cohésion excessive; compact et dur.

9-50 cm : brun foncé (10 YR 3/2); même texture; structure massive à débit polyédrique, localement cubique (5 cm); cohésion moyenne à forte; compact.

50-100 cm : brun très foncé jaunissant vers la base; même texture et structure massive.

C 100 cm : argile d'altération brune à concrétions noires (2 cm) pénétrant par de larges digitations dans une arène blanchie; pas de carbonates.

Les variations de ces sols très foncés bien que très peu organiques, à amorce de (B) structural, tiennent à des nuances dans l'épaisseur et la structure de l'horizon A (jusqu'à 22 cm, alors polyédrique) dans la couleur du matériau, qui peut être brun olive.

2.32 Les sols à alcali bruns

Ils ont été observés plus au sud que les précédents, entre Tera et Bankilaré, sous des peuplements moins régulièrement contractés.

Site de Bankilaré (NO 46)

Lat. : 14° 32' 40" N.
Long. : 0° 44' 20" E.
Cote : 247 m.

Bas de glaciais; pluviosité de 450 mm.

Surface : affleurements de granites calco-alcalins; épandages de sables fins ou de débris de quartz filonien.

0-6 cm : gris-brun (10 YR 5/3,5) à lits de sables plus clairs; texture hétérogène, argilo-sableuse et sableuse; structure en prismes aplatis ($\phi = 15$ cm); cohésion moyenne; très compact.

6-30 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); argilo-sableux; structure polyédrique motteuse (5-20 cm); cohésion excessive; porosité semi-tubulaire fine bien développée.
(B) sn

30-110 cm : brun-jaune foncé (10 YR 4/4); argilo-sableux; grains calcaires puis amas calcaires (4 cm)
BC ca sn vers 60 cm, finalement nodules calcaires durs et mamelonnés à la base; polyédrique en assemblage excessivement compact (0-5-2 cm); finement poreux jusqu'à 60 cm, puis compact.

110-120 cm : arène légèrement argilisée; granite orienté
C sn ca à biotite et chlorite; des grains calcaires.

La structure de ce sol, riche en sodium, est plutôt mieux développée que celle du profil précédent qui n'était pas alcalinisé. Comme elle peut être à la fois grumeleuse et calcaire au contact des touffes de *Cymbopogon*, il est vraisemblable que c'est à la concentration du carbonate de calcium par évapotranspiration qu'est due cette amélioration. Le développement pédique est cependant inférieur à celui des sols tirsifiés sur roche basique car les structures cubiques n'apparaissent pas, ou médiocrement, près de la surface alors que les horizons profonds sont près d'être massifs, nullement verticaux.

Site de Kokoro (NO 62, Série du même nom)

Lat. : 14° 12' 0" N.
 Long. : 0° 53' 30" E.
 Cote : 240 m.

Plaine de décantation argileuse derrière un barrage dunaire; pluviosité de 485 mm mais tranche d'eau portée à 835 mm au minimum par le ruissellement.

- Surface : fissurée; fentes de 4 cm tous les 60 cm; retrait de 6%.
- 0-7 cm : gris très foncé (2,5 Y 3/0) à taches linéaires ocres très peu abondantes; argileux; mottes (2 cm) écrasées par le piétinement du bétail; forte porosité d'assemblage; chevelu de graminées hydrophiles abondant.
- A g
- 7-30 cm : noir (2,5 Y 2/0); argileux, avec débris de quartz (0,5-5 cm); prismatique ($\emptyset = 10$ cm, fissures de 1 cm, retrait de 6%) sous-structure cubique (1 à 5 cm); cohésion excessive; des pores tubulaires (5 par cm²) verticaux.
- 30-75 cm : noir avec cutines argileuses luisantes; argileux; des grains calcaires; même structure prismatique; sous-structure en plaquettes obliques (1-2 cm) fortement lissées et striées; également de grandes faces de glissement (10 cm) plus fortement obliques; à la base fissures élargies (2 cm) renfermant des agrégats laminés et une pâte boueuse d'argile dispersée, due à une pluie précédant d'un jour la date de l'observation.
- (B) vv sn
- 75-130 cm : noir; humide; grains calcaires (1 mm) nombreux; fissures verticales refermées, avec crépis de sables fins (squelettines illuviales); polyédrique en assemblage compact; plastique.
- (B) ca sn

La couleur, les cutines argileuses illuviales, la dureté extraordinaire à l'état sec, ne cédant qu'à la barre à mine, la dispersibilité immédiate dans l'eau de

pluie, distinguent ce sol des vertisols topo-lithomorphes non alcalinisés. Uniquement observé dans le Liptako, il est remplacé dans le Mounio par des vertisols faiblement alcalinisés mais fortement calcaires en profondeur :

site de Likariri (NB 35)

Lat. : 13° 49' 54" N.
Long. : 10° 5' 36" E.
Cote : vers 400 m.

Flat aux pieds de glacis à sols polyphasés. Pluviosité : 430 mm.

Surface : fissures de 3 à 8 cm tous les 70 cm; puis tous les 10 cm (sous-structure); trous d'effondrements et buttes à *Cordia rothii*; couche meuble de 3 cm de petits agrégats.

0-5 cm : gris foncé (7,5 YR 5/0); argileux; concrétions noires (1-2 mm) nodules calcaires (3 mm); polyédrique en assemblage compact; surstructure prismatique (retrait de 20%).
A

5-30 cm : plus foncé (10 YR 3,5/1); argileux; même nodules et concrétions; polyédrique à cubique (3 cm); même surstructure; cohésion forte à moyenne.
(B)

30-75 cm : brun (10 YR 3/2); argileux; amas et nodules calcaires nombreux; structure en plaquettes (B) vv ca obliques lissées (4 cm); surstructure prismatique de 70 cm seulement (retrait de 10 %); assemblage très compact.

75-85 cm : forte concentration d'amas calcaires friables.

85 cm : granite altéré; amas calcaires et concrétions ferrugineuses ocres.

Sur grès, il n'y a pas de vertisols mais des sols argileux gris (7,5 YR 5/0) à pseudogley sur toute leur épaisseur (taches jaune-rouge (7,5 YR 5/8) prismatiques en surface, polyédriques en assemblage compact en profondeur où se sont concentrés des amas calcaires. L'absence de structures de gonflement et la formation de ségrégations ferrugineuses sont deux caractères corrélatifs de proportions moindres de smectites. Le calcaire, une légère alcalinisation

montrent cependant qu'ils sont encore les termes illuviaux de la chaîne de sols.

2.4 LES SOLS HYDROMORPHES

Ils se forment concurremment avec les vertisols à alcalis, mais dans des dépressions distinctes, au nord du Liptako, et ce sont alors des sols près de la neutralité, ou se substituent entièrement aux argiles noires au sud, et ce sont alors des sols acides. S'ils peuvent être aussi argileux que les vertisols, ils possèdent des capacités d'échange plus faibles et ne sont pas carbonatés.

2.41 Les sols hydromorphes peu acides

Site de Tomkous (NM 38)

Lat. : 14° 41' 20" N.

Long. : 1° 16' 40" E.

Pied de glaciais à solonetz et solonetz solodisés atypiques; pente nulle; pluviosité de 420 mm; bois de seyal.

Surface : fissures de 2 mm tous les 10 cm (retrait de 2%).

0-15 cm : gris à ségrégations ferrugineuses brunes; argileux; prismatique (10 cm); sous-structure cubique au sommet (2 cm) passant à polyédrique à la base; cohésion excessive; compact.
A g

15-60 cm : brun-jaune (10 YR 4,5/4) avec volumes décolorés gris clair; structure prismatique très fine ($\phi = 2$ cm) en assemblage lâche (fissures de 0,25 mm) et faces horizontales lisses; sous-structure polyédrique (5 mm); compact.
(B) g

60-80 cm : gris clair (10 YR 5/1) à taches verticales
BC g

rougeâtres (7,5 YR 5/6); argileux, avec grains de quartz et feldspath; cubique (2 cm) en assemblage compact; sous-structure finement polyédrique (1-5 mm); compact.

2.42 Les sols hydromorphes
désaturés

Site de Tatori (NN 5)

Lat. : 13° 46' 20" N.

Long. : 1° 5' 30" E.

Ligne de drainage entièrement colmatée aux pieds de glaciers à sols solonetziques atypiques et sols ferrugineux lessivés érodés; sous savane boisée en galerie.

Surface : litière de feuilles et croûte pluviale; quelques fissures.

0-11 cm : gris (10 YR 5,5/1) à marbrures brunes (7,5 YR 5/5); sablo-argileux; prismatique (15 cm)
A g en assemblage très compact; cohésion excessive; quelques pores tubulaires.

11-27 cm : brun-jaune (10 YR 5/5) à très nombreuses taches rouges (5 YR 4,5/6) certaines légèrement durcies; argilo-sableux; polyédrique (0,5-4 cm) à faces peu nombreuses, à tendance en plaquettes vers le sommet; cohésion forte; porosité semi-tubulaire médiocre.
(B) g

27-56 cm : mêmes couleurs; même texture; petites concrétions ferrugineuses rouges à centre noir;
(B) g cn prismatique (10 cm) sous-structure cubique aplatie (2-3 cm); cohésion forte; moins poreux.

56-110 cm : gris (10 YR 5/4) bariolé de taches rouges (5 YR 4/6); argileux; concrétions manganésifères;
(B) g cn v prismatique en assemblage très compact; quelques grandes faces de glissement peu lissées et striées; compact.

110-130 cm : argile d'altération de granites; quartz, feldspath blanchis, micas; concrétions
C cn

noires; structure prismatique (10 cm); cohésion excessive .

Dans tous ces sols hydromorphes, une zone d'engorgement temporaire de surface, grise et compacte, est séparée d'une zone d'engorgement profond grise à taches rouges (aspect de "plinthite") par des horizons à répartition des hydroxydes plus diffuse, à structure plus fine et plus poreuse. Cette succession est aussi celle des sols hydromorphes des toposéquences à sols ferrugineux lessivés. La différence est dans les structures des horizons moyens ou profonds qui ont conservé des matériaux plus gonflants, les formes cubiques, ou polyédriques à peu de faces, ainsi que quelques surfaces de glissement. Pour le profil NN 5, cette différenciation intermédiaire paraît résulter des proportions d'argile libérées par altération.

2.5

LES SOLS SUR MATERIAUX COMPLEXES

Ce sont pour la plupart des sols bruns parce que les matériaux d'apport sont plus répandus à la base des glacis. Les dépôts superficiels sont toujours les plus sableux, ce qui peut être attribué à l'existence de sols lessivés, ferrugineux et solonchiques, dans les toposéquences ainsi qu'à l'éolisation. On peut en effet considérer que le niveau sableux qui forme les horizons A.1 et A.2 transite progressivement vers la base du glacis où il donne des accumulations plus considérables, conservant la même différenciation mais finissant par recouvrir des horizons (B) ou (B) ca, qui ordinairement n'admettent pas d'horizons sommitaux éluviaux. Dans le Mounio, la plupart des sols de bas de glacis sont ainsi formés de quelques décimètres de sables ou sables argileux bruns ravinant des argiles sableuses également brunes à structures prismatiques et polyédriques, à nodules calcaires et concrétions manganésifères, qui sont d'anciens horizons de sols alcalisés bruns ou bruns à structure dégradée (NB 34). Les voiles éoliens qui fossilisent ces mêmes horizons (B) plus épais, évoluent en sols à raies ferrugineuses, stade juvénile des sols ferrugineux (GB 70) ou en sols à profil A.1-A.2 - B brun vif (7,5 YR 4/4) variante à drainage réduit des sols ferrugineux peu lessivés (NO 1).

3. PROPRIETES ANALYTIQUES

3.1 LES TEXTURES

A ne considérer que les horizons B, les taux d'argile croissent des sols ferrugineux (15-25%) aux sols halomorphes et bruns (20-35%) et aux vertisols (50-60%) et sols hydromorphes (35-55%). L'appauvrissement des horizons superficiels peut être aussi important sur les sols solonetziques que sur les sols ferrugineux, alors que sur les sols bruns et vertisols, où il n'est dû qu'à l'érosion superficielle, il ne dépasse pas le niveau qui était le sien sur roches basiques. Les horizons B des solonetz et sols solonetziques en place sont légèrement plus argileux que les horizons C, l'argilisation (NM 41) et l'illuviation (ND 66) pouvant expliquer cette légère différence. Les sols remaniés sont au contraire plus sableux que les altérites fossilisées, l'extrême de cette tendance étant représentée par les sables éoliens.

	Types de sols				
	Ferrugineux	Solonetz	Bruns	Vertisols	Hydrom.
Taux d'argile en A	4-7	4-24	15-22	49-50	19-23
Taux d'argile en B	15-25	30-36	22-24	50-60	35-55
Taux en C, sol en place		23-28	22		
Rapport B/A	2-6	1,3-9	1-1,4	1-1,2	1,6-1,9
Rapport B/C		1,1-1,3	1		

3.2 Fe₂O₃

Les taux des hydroxydes de fer varient parallèlement à ceux de l'argile, si bien qu'ils sont minimum dans les

horizons de surface et maximum à la base du profil ou dans l'horizon B textural (ND 66). Les rapports du fer libre à l'argile sont le plus souvent compris entre 6 et 12%. Les rapports du fer libre au fer total ne dépendent pas au premier chef de la différenciation pédologique mais du substrat géologique. C'est ainsi qu'ils sont plus élevés sur grès (70-80%) que sur granites calco-alcalins (40-60%); dans ces limites ils diminuent, très légèrement et irrégulièrement, des sols les mieux drainés, ferrugineux et solonetziques, aux sols de bas de pente.

3.3 MATIERE ORGANIQUE

Les taux ne sont jamais très élevés, les rapports C/N petits du fait de la situation en zone sahélienne. Les minima sont atteints sur les sols de glacis, qui peuvent être stérilisés par l'érosion superficielle. Les maxima appartiennent aux vertisols et sols hydromorphes. Au-dessous de 0,4% en surface la décroissance des taux avec la profondeur est très faible dans les sols qui ne sont pas sableux. Cette répartition isohumique appartient aussi aux vertisols à alcali où des migrations d'un plasma très foncé ont été observées (NO 62).

	Terrugineux	Halomorphes	Bruns	Vertisols	Hydromorp.
Horizon A					
Taux de matière organique	0,3- 1,1	0,25-1,0	0,24-1,0	1,0-1,1	0,5- 1,6
C/N	8,0-11,2	8,8 -9,6	9-10	11,8-13	9,2-11,7

3.4 BASES ECHANGEABLES, pH

Ne sont légèrement désaturés et acides que les horizons de surface des sols ferrugineux, des sols solonetziques, des sols bruns non alcalisés, des sols hydromorphes. Les horizons profonds sont neutres à alcalins, à l'exception de ceux des sols ferrugineux et de quelques sols hydromorphes méridionaux. Le pH dépend fortement du taux relatif de sodium (Na/T); il dépasse 7 pour une valeur de

7%, 8 pour 15% et 8,5 pour 30%. Il croît également d'une demi à une unité lorsque du calcaire est présent, à taux de sodium égal, le pH minimum des horizons carbonatés étant de 7,7.

pH	Hydromorphes						
	Ferrugineux	Solonetz	Alcali	Bruns	Vertisols	peu acide	acide
Horizons A	6,1-6,9	5,7-7,5	8,2	6-6,5	6,9-8,2	5,3-6,2	5,8
Horizons B	5,8-6,3	6,7-8,5	9,0	6,6,4	8,7-8,1	6,7-7,7	4,9

La capacité d'échange des argiles croît des sols ferrugineux (T/A de 20 à 30 milliéquivalents) aux sols halomorphes (25-70) et aux vertisols (60) ces valeurs étant plus élevées dans le Mounio (70-80). Elle croît également du sommet à la base des solonetz et sols solonetziques, l'exemple le plus remarquable étant celui du solonetz solodisé ND 66. C'est effectivement à la solodisation des smectites et à l'accumulation relative de la kaolinite qu'est attribuée cette répartition. Cette transformation n'atteint pas seulement le contact A/B mais encore la masse des horizons B. Il est vraisemblable que la disparition des argiles gonflantes entraîne à son tour le lessivage, l'acidification propres aux matériaux kaoliniques. Dans les sols argileux de cuvette, on constate également que les sols acides sont aussi ceux qui ont les capacités d'échange les plus basses (30 à 45) et qui ne possèdent pas de structures vertiques.

Le sodium et le calcium croissent toujours en valeur relative et absolue vers la base des profils, les sols carbonatés et alcalisés n'étant que le cas extrême de cette tendance. Le lessivage pluvial maintient en profondeur les bases libérées par l'altération; parmi ces dernières, K et Mg sont remontés préférentiellement par la végétation. Les traits morphologiques des sols halomorphes ne correspondent pas à des taux de sodium définis. Les sols à alcali où le rapport Na/T atteint 30% ont des structures peu distinctes de celles des sols bruns où ce taux est inférieur à 1%. De même les colonnettes apparaissent à 14% aussi bien qu'à 3%. Les structures à l'état sec des vertisols fortement alcalisés (30%) sont également identiques à celles des vertisols moins riches en sodium (15%). L'explication la plus simple est d'admettre, puisque les taux élevés de sodium sont cependant spécifiques des aires, sinon des profils, halomorphes, que les structures peuvent survivre à une alcalisation intervenue à un moment quelconque de leur histoire. Il suffit pour cela que les argiles conservent leur dispersibilité.

3.5

PROPRIETES PHYSIQUES

	Eau emmagasinée, en mm pour une profondeur donnée en cm		Porosité totale	Porosité pour l'air à PF 3
	PF 3	(PF 3-PF 4,2)	(%) vol.	(%) vol.
Sol à alcali brun	224/100	100/100	26,5	3
Sols solonetziques				
GB 95 moyenne	230/100	100/100	28	7
A				17,5
(B)				21
B g				0
NM 38	380/100	240/100	29	0
NM 41	110/40	38/40	38	18
Sols bruns	110-180/100	50-80/100	28-32	11-17
Sol hydromorphe	263/100	94/100	33	7

Lorsque les taux de sodium dépassent 14% de la capacité d'échange, les perméabilités et la macroporosité s'annulent. Pour les valeurs plus basses, les caractéristiques physiques varient avec beaucoup d'irrégularité tout en restant médiocres dans les sols halomorphes et hydromorphes, moyennes dans les sols bruns et ferrugineux.

4.

CONCLUSIONS

4.1

LES PROCESSUS PEDOGENETIQUES ET LEUR REPARTITION

La variation de la minéralogie des argiles le long des pentes et dans les profils est parallèle à celle des processus pédogénétiques. Elle est due à une chaîne d'altération et à des transformations superficielles

secondaires. Le lessivage, la rubéfaction, le concrétionnement ferrugineux sont propres aux sols kaoliniques sommitaux. En position intermédiaire, la solodisation, l'augmentation relative de la kaolinite au sommet des profils, favorisent le lessivage, l'éluviation latérale. En bas de pente ou en profondeur des sols ferrugineux et solonetziques, les argiles gonflantes sont affectées du brunissement, de la carbonatation, de l'alcalisation. Cette dernière est provoquée par la fixation d'une petite fraction du sodium libéré par l'altération dont la plus grande partie est lessivée. L'équilibre des cations dans la roche, la concentration temporaire des solutions à la base des profils provoquent cette immobilisation. Son effet principal est de diminuer le drainage interne des sols smectitiques et d'y développer exclusivement des faciès bruns et compacts dont il faut admettre qu'ils survivent à l'élimination du sodium. Le calcium et le magnésium s'accablent, le premier du fait de l'insolubilité de ses carbonates, le second par inclusion dans les argiles. Le fer perd de son individualisation en passant des sols kaoliniques aux sols smectitiques.

Cette répartition synthétique (BOCQUIER, 1967) est localement modifiée par des facteurs d'ordre essentiellement historique. Dans la zone climatique étudiée, les sols ferrugineux n'ont l'air de se maintenir que dans la mesure où la roche n'a pas été atteinte par l'érosion; ils sont alors remplacés par des sols solonetziques (Toumkous) si le drainage externe est bon, par des sols bruns (Bankilaré) dans le cas contraire, la lithologie intervenant peut-être pour fixer les nuances du modèle et de l'altération. Tout au sud, ce sont au contraire les sols ferrugineux qui envahissent la totalité des glacis, soit par évolution climatique (grès, granites) soit par héritage du manteau kaolinique ancien (granites). Cette limite au-delà de laquelle les sols à argiles gonflantes disparaissent des chaînes à sols ferrugineux, coïncide au Niger avec l'isohyète 500 mm. C'est cette situation plus septentrionale que dans d'autres territoires qui empêche de la tenir pour purement climatique et actuelle.

Par comparaison avec des aires à sols halomorphes plus méridionales (Tchad, Cameroun) on peut recenser les caractères proprement sahéliens. Ce sont les taux médiocres de matière organique, l'extension des sols bruns non lessivés, les structures laminaires de quelques sols érodés de glacis. Ils reflètent la diminution du couvert végétal, du lessivage, l'accroissement du ruissellement dus à l'aridité climatique renforcée par les propriétés physiques

des sols.

4.2

HISTOIRE DES SOLS

L'érosion de la période aride principale s'est exercée sur une couverture pédologique dont les seuls témoins certains sont des sols ferrugineux lessivés à concrétions sur nappe détritique et des horizons à sol brun à structure dégradée (Mounio). Ultérieurement l'évolution en sol ferrugineux, associée à une forte érosion superficielle et endogée, s'est poursuivie sur les anciens horizons tronqués ou éolisés. Des sols solonetziques les ont remplacés où l'altérite avait été mise à nu, à moins de 500 mm de pluies. Des vertisols alcalisés se sont formés dans les dépôts de barrage dunaire, des sols ferrugineux peu lessivés bruns ou à raies sur les voiles éoliens. Les sols halomorphes épais, solonetz solodisés, sols bruns à structure dégradée, souvent en place, moins susceptibles d'érosion complète du fait de leur position et de leur morphologie, à horizons lessivés nuls ou peu épais, ont pu traverser ces vicissitudes climatiques sans trop se modifier. Dans les horizons grossiers des dépôts de carbonates, sulfates, oxydes de manganèse, argile et sables fins ont succédé aux concentrations ferrugineuses. Actuellement les éléments squelettiques grossiers sont concentrés en surface des sols par la combinaison du ruissellement, du lessivage, de l'éluviation latérale; l'intensité de cet appauvrissement est intermédiaire entre celle des toposéquences à sols kaoliniques et celle des toposéquences à sols smectitiques calciques. L'aridité réduit l'accumulation de matière organique et donne une grande part aux agents physiques dans la formation des structures de surface.

EVOLUTION DES TOPOSEQUENCES A SOLS HALOMORPHES SUR
MATERIAUX A ARGILES CONFLANTES SODIQUES

Pédogenèse ancienne	Période aride	Pédogenèse récente	Pédogenèse actuelle
Sols ferrugineux lessivés à concrétions sur horizon grossier	Éolisation des horizons lessivés Rabotage jusqu'aux concrétions... Rabotage jusqu'à l'arène	Sols ferrugineux lessivés Sols ferrugineux lessivés minces, squelettiques Sols solonetziques (moins de 500 mm de pluies)	Faciès brun-rouge Erosion
Sols bruns à structure dégradée (?)	Erosion et fossilisation éolienne	Sols bruns complexes; sols ferrugineux peu lessivés bruns ou à raies	
Solonetz solodisés, sols neutres (nord) ou acides (sud) Faciès subaride brun			
	Barrages dunaires	Vertisols à alcali	
Nappe détritique: concrétions ferrugineuses	Mise à nu	Nouvelle couverture; dépôts de carbonates, sulfates, oxydes de manganèse, argile, sables fins.	

4.3 CLASSIFICATION DES SOLS

4.31 Classification régionale

Les sols ferrugineux appartiennent au deuxième groupe antérieurement défini, à drainage réduit par concrétionnement en profondeur. Certains entrent dans la subdivision à carbonates à la base des horizons B.

L'unité des sols bruns est faite de la massivité des structures, reflet de la dispersibilité de l'argile, plutôt que par des taux de sodium bien définis. Cette propriété est compatible avec la différenciation en argile noire puisqu'elle en conserve le profil. Aussi paraît-il logique de faire des sols bruns une subdivision supplémentaire, la quatrième, à structure dégradée, des argiles noires. Les vertisols à alcali, pour la même raison, continuent à appartenir à la deuxième subdivision (horizon verticale, pas de mouvements convectifs) au sein de laquelle on peut les isoler par les critères chimiques classiques (Na/T supérieur à 15%).

Les solonetz forment au contraire un ensemble différent puisque du fait de la dégradation de l'argile, du lessivage, de l'éluviation latérale, l'homogénéité des argiles noires est détruite. Les combinaisons de leurs caractères ne sont pas suffisamment connues au Niger pour qu'on y distingue plus de deux ensembles : ceux pour lesquels le lessivage et la dégradation de l'argile peuvent être mis en évidence, se rattachent aux solonetz solodisés; ils ont des profils A.1-A.2-B, avec ou sans colonnettes. Les autres, qui peuvent être uniquement lessivés, ou ne le sont pas mais possèdent néanmoins des colonnettes à sommet rubéfié, sont à rattacher aux solonetz sensu stricto, sous la désignation de sols solonetziques qui rappelle leur statut incertain.

Des faciès sahéliens (subarides) peuvent être envisagés secondairement pour les sols ferrugineux (faciès brun-rouge) et les sols bruns (faciès brun subaride) pauvres en matière organique et/ou à structures laminaires en surface.

4.32

C l a s s i f i c a t i o n d e 1 9 6 5

Les sols ferrugineux à carbonates en profondeur peuvent entrer dans le sous-groupe lessivé hydromorphe. Selon leurs caractéristiques chimiques, les sols bruns entrent dans les sols halomorphes à structure dégradée, groupe non lessivé, sous-groupe peu ou moyennement salé, ou bien dans les sols bruns subarides faiblement salés ou alcalisés. Parmi les solonetz, on aura des solonetz solodisés, des solonetz sans structure en colonnettes de l'horizon B, et des sols peu évolués d'érosion à faciès solonetzique.

5.

R E F E R E N C E S C A R T O G R A P H I Q U E S

Sols bruns subarides faiblement alcalisés, sur argile sableuse d'altération (granites). Association à sols de glacis polyphasés : régiques solonetziques, à pseudogley, gravillonnaires, rubéfiés, et à sols à pseudogley

Feuille Niamey

Sols brun-rouge durcis de glacis. Famille sur placages colluviaux argilo-sableux sur reg résiduel (grès). En association avec des sols hydromorphes sur argiles alluviales

Feuille Maradi

Sols brun-rouge complexes. Sur ensablement des massifs rocheux. En association avec des sols de glacis et des sols peu évolués d'apport du Mounio

Feuille Zinder

Sols bruns subarides alcalisés. Sur argiles sableuses issues d'arènes granitiques

Carte du Gorouol

Chapitre X

LES SOLS PEU EVOLUES
HYDROMORPHES, LES SOLS
HYDROMORPHES LESSIVES -
APPAUVRIS, LES SOLS A GLEY
VERTIQUES

ou

LES TOPOSEQUENCES SUR
MATERIAUX A PHYLLITES
POTASSIQUES

1. C A R A C T E R E S G E N E R A U X

1.1 DEFINITION

Cet ensemble regroupe les sols formés sur schistes à phyllites potassiques et kaolinite. Il est caractérisé par un développement pédologique médiocre en dehors des aires d'accumulation colluviale ou alluviale, par une hydromorphie généralisée, secondairement par des traits de sols lessivés, ferrugineux, vertiques. Des sols minéraux bruts ou des sols peu évolués hydromorphes (Cg - R et Ag - Cg - R) recouvrent les sites à bon drainage externe et les surfaces d'épandage colluvial. Des sols à pseudogley d'ensemble, parfois lessivés et à horizon (B) ou B rubéfié, (Ag - (B)g - Cg ou Ag - Bg - Cg) des sols à gley de surface vertiques à nodules calcaires (Agg - (B)g - (B)g ca vv) s'organisent en toposéquence sur les remblais alluviaux. Le mauvais drainage interne, les taux médiocres d'oxydes de fer, produisent des teintes blafardes, grises ou blanches, exceptionnellement brun-jaune ou brun-rouge. Les textures sont toujours très fines, parfois limoneuses. Le développement pédique est important, avec des formes à faces souvent très planes de petites dimensions, presque invariablement reprises dans une surstructure prismatique. Les structures des horizons A sont massives ou prismatiques selon leur

texture; celles des horizons (B) sont polyédriques ou cubiques avec surstructure prismatique; des faces de glissement peuvent apparaître en profondeur. Les nodules calcaires ne se forment que dans les plus grandes dépressions. Les hydroxydes de fer se séparent ou se concentrent en taches dans les horizons (B) des sols hydromorphes. Les oxydes de manganèse sont surtout abondants dans la roche altérée dont la ferritisation a donné quelques cuirasses inactuelles.

1.2 SITUATION

Cet ensemble recouvre plus de 850 km² sur les collines et glacis en roche nue (M.3) du groupe d'Ydouban (Nigérien). Il occupe le versant nord du bassin du Gorouol et du Beli puis se prolonge en rive gauche du Niger, le long de la frontière malienne, jusqu'aux grès continentaux tertiaires (Ct 2-3). Sa limite méridionale le sépare du Birrimien; elle coïncide à peu-près avec le parallèle 14°50' et doit sa linéarité aux grès quartzites de Firgoun, horizon de base de la formation. Il est tout entier compris dans la zone sahélienne, la pluviosité y variant de 400 à 425 mm. Les mêmes sols existent sur quelques glacis nus (M.3) du Birrimien du Niger occidental où ils couvrent quelques centaines d'hectares à l'ouest de Fatatako, ou près de Manda (pluviosité de 475 mm). Cette localisation est partout purement lithologique.

1.3 ROCHES MÈRES ET MATERIAUX

Les roches les plus importantes, celles qui donneront la phase minérale fine des sols, sont tendres, schisteuses; elles ont les phyllites potassiques (illite-séricite-muscovite) la kaolinite, du quartz finement divisé, des oxydes de fer comme constituants essentiels. Les mica-schistes, schistes sériciteux, schistes argileux nigériens définissent plusieurs formations en s'associant diversement entre eux, avec des roches siliceuses résistantes (quartzites, jaspes) qui donnent des pavages résiduels, avec des roches calcaires et dolomitiques (grès, dolomie) qui se

fragmentent plus qu'elles ne se dissolvent, mais sont peut-être à l'origine des nodules calcaires de la dépression du Beli. Sur Birrimien, les roches mères sont cartographiées en schistes sédimentaires (séricito-schistes, micaschistes à chlorite, muscovite, schistes tuffacés, grauwackes bréchoïdes). Elles correspondent aux faciès pélitiques produits par le deuxième degré du catamorphisme des roches basiques, selon les travaux de WACKERMAN (1968). Elles renferment encore des septa siliceux, de quartz calcédonieux, qui fourniront les éléments grossiers des nappes détritiques et du squelette des sols.

Les matériaux résultent uniquement de la fragmentation mécanique des schistes. Ils sont rapidement argileux, possèdent des capacités d'échange et des taux d'oxydes de fer médiocres. La morphologie des profils montre qu'ils n'ont qu'un pouvoir de gonflement restreint, une compacité élevée et une perméabilité très faible. Les éléments grossiers, auxquels s'ajoutent des gravillons et des plaquettes de schistes ferritisés, sont concentrés en épandages superficiels, plus rarement en horizon au sommet de la roche altérée ou au niveau du contact A/B. Les nappes détritiques de cette sorte pédologiquement évoluées sont rares et représentées par quelques cuirasses manganésifères exhumées principalement en bordure du Beli. Cela, joint à la jeunesse apparente de la majorité des sols, ne permet pas d'assigner une histoire ancienne ni complexe à cette couverture qui paraît correspondre aux processus pédogénétiques actuels.

1.4

MODELE ET REPARTITION DES SOLS

Le paysage sur schistes nigériens est dominé par des massifs de collines dénudées dues au démantèlement de témoins tabulaires de la cuirasse supérieure et du haut modelé (M.I). Leurs versants assez raides (45%) peuvent dominer d'une soixantaine de mètres des glacis concaves dont la base s'étire sur des kilomètres avec des pentes très faibles (0,2% en moyenne). Les glacis sont disséqués par un chevelu de ravineaux très dense qui manifeste, avec les traces de ruissellement diffus partout présentes, l'imperméabilité du substrat. En amont, sur des pentes de l'ordre de 3%, les ravineaux isolent de petites

buttes convexes protégées par des pavages de quartz, cela principalement sur le "faciès nord" de la rive gauche du Niger, où abondent les horizons lenticulaires de quartz. En aval ils convergent et remblaient la base des glacis et les thalwegs principaux. Quelques dunes d'obstacles et de grands ergs longitudinaux représentent le manteau éolien.

La couverture pédologique est fort réduite. Les sols minéraux bruts et les sols peu évolués d'érosion recouvrent les pentes les plus fortes des versants des collines et du centre des interfluves. Sur les dépôts colluviaux qui s'accumulent derrière de menus obstacles à la base des glacis et qui par relais finissent par colmater les principaux axes de drainage, l'évolution en sols hydromorphes s'accroît à la mesure de l'épaississement des dépôts. Ce remblaiement est généralement peu important. Sur les glacis, il ne suffit pas à masquer les petites inégalités topographiques dues à la saillie des bancs ou horizons siliceux dont les directions NO-SE restent fort visibles sur le terrain. Dans les dépressions, les flats ne dépassent pas cinquante mètres de largeur. En bordure du Beli, toutefois, ils forment par coalescence un remblai continu qui passe latéralement aux argiles de décantation du lac de Yumbam. Ce dernier a l'aspect d'une gigantesque mare sahélienne longue de 18,5 km et large de 1,5 à 2,1 km, très plate, uniformisée par un manteau d'argile craquelé en saison sèche. Il doit son existence à un bouchon de levées sableuses édifiées par le Gorouol au confluent. On retrouve en effet leur matériel, arraché aux dunes anciennes, sous les argiles alluviales. Le retrait des eaux n'est dû qu'à l'évaporation si bien que la végétation et sols se répartissent en zones concentriques à hydromorphie croissante vers l'aval et le centre :

- frange arbustive : sols peu évolués d'apport mal drainés;
- prairie vivace cespiteuse à Eragrostis : sols à pseudogley d'ensemble, à aspect de sols lessivés;
- prairie vivace cespiteuse (Vetivers) puis prairie prostrée hydrophile : sols vertiques à pseudogley et nodules calcaires;
- prairie flottante et zone centrale nue : sols vertiques à gley de surface.

Sur Birrimien le modelé est uniquement formé de glacis à pentes médiocres (1,5%) décapés par un ruissellement diffus important, à sols peu évolués hydromorphes.

1.5

VEGETATION, CULTURES

La végétation, de type sahélien, est floristiquement très pauvre et de faible développement. Sur la formation d'Ydouban s'étendent des brousses arbustives contractées malaisément pénétrables à *Acacia flava* et *Dichrostrachys glomerata*; dans les dépressions mineures ce sont des fourrés à *Combretum micranthum* et *Acacia macrostachya* ou des bois armés à *Acacia seyal*. De rares *Anogeissus leiocarpus* longent les lits mineurs. Le tapis herbacé, très maigre, est surtout fait d'espèces sciaphiles, dont des *Pennisetum*. L'hydromorphie prononcée donne des prairies zonées autour du lac de Yumbam. Sur Birrimien quelques gommiers et seyals forment une maigre steppe arbustive. Ces terroirs n'ont d'autres ressources que leurs points d'eau, leurs prairies comme pâturages de saison sèche, leurs sols lessivés comme support de quelques champs de mil. Leur pauvreté en fait des déserts au point que les derniers lions du bassin du Gorouol y ont trouvé refuge. Leur végétation, aussi pauvre, revêche et monotone que celle des friches les plus usées n'est cependant que le climax de sols arides et infertiles qu'elle est impuissante à améliorer.

PRINCIPALES ESPECES VEGETALES DES SOLS SUR SCHISTES
A PHYLLITES POTASSIQUES DU GROUPE D'YDOUBAN OU DU BIRRMIEU

	Glacis		Petites dépressions	Lac de Yumbam
	Ydouban	Birrimien		
<u>Physionomie</u>				
Brousse arbustive contractée	D	.	.	.
Brousse tigrée	P	.	.	.
Steppe arbustive	P	D	.	.
Bois armés, fourrés	.	.	D	.
Prairies	.	.	.	D
<u>Arbres, arbustes</u>				
Acacia seyal	.	P	D	P
Acacia pubescens	.	.	P	P
Acacia senegal	P	P	.	.
Commiphora africana	P	P	.	.
Balanites aegyptiaca	P	.	.	.
Bauhinia rufescens	.	.	.	P
Bauhinia reticulata	.	.	.	P
Anogeissus leiocarpus	.	.	P	.
Mitragyna inermis	.	.	.	P
Acacia nilotica	.	.	.	P
<u>Arbrisseaux</u>				
Dichrostrachys glomerata	D	P	.	.
Acacia flava	D	.	P	.
Acacia ataxacantha	P	.	.	.
Acacia macrostachya	P	.	P	.
Combretum micranthum	P	.	P	.
Combretum aculeatum	P	.	.	.
Guiera senegalensis	P	.	.	.
Boscia senegalensis	.	P	.	.
Zizyphus mauritiana	.	.	.	P
<u>Graminées</u>				
Pennisetum sp.	D	D	D	.
Eragrostis sp. (Cambessiadana?)	.	.	.	D
Vetiveria nigritana	.	.	.	D
Echinochloa stagnina	.	.	.	D

2. E T U D E M O R P H O L O G I Q U E

2.1 LES SOLS SUR SCHISTES D'YDOUBAN

2.11 L e s R e g o s o l s (C, Cg, Cg en)

Dépourvus de capacité de gonflement, ces schistes ne peuvent être délapidifiés que par fragmentation. Sous l'action des racines et de la faune du sol, ils s'émiettent progressivement vers la surface; leurs fissures s'emplissent d'un matériau très fin et poreux sans rien perdre de leur orientation primitive, ce qui démontre l'absence de tout foisonnement. Le ruissellement étale en surface cette masse ameublie en un lit de plaquettes schisteuses à emballage pulvérulent, localement couvert d'un pavage de blocs de roches siliceuses. Une patine d'exsudation sombre ou rougeâtre revêt les plaques exposées à l'air. En profondeur, un léger engorgement provoque une réorganisation des oxydes au sein de chaque plaquette, déjà décrite à propos des cuirasses : ferritisation de la partie centrale par des flocons isotiques rouge sombre, la partie périphérique jaune conservant l'arrangement unistrié de base, infiltrations manganésifères, le tout formant des nodules centrés sur la plaquette. Sans doute ce processus d'"auto-concrétionnement" contribue-t-il à freiner la désagrégation mécanique des schistes, par elle-même peu rapide puisque simultanément la couverture meuble est peu épaisse dans les aires d'ablation et les surfaces d'accumulation peu étendues.

2.12 Les sols régiques (A C, A Cg, A Cg cn)

L'accumulation de matière organique, qui définit les sols régiques, n'est exclue que des versants les plus raides des buttes les plus hautes. Elle s'accompagne d'une légère individualisation du fer dans la phase fine de l'horizon C qui devient jaunâtre ou rougeâtre.

Site d'Aramseurgou (NM 58)

Lat. : 15° 0' 0" N.

Long. : 1°10' 10" E.

Cote : 253 m.

Sommet de butte convexe, en amont d'un glacis. Pluviosité : 390 mm.

Surface : pavage de blocs irréguliers de quartz à hématite, de débris de schistes.

C-9 cm : grisâtre; sables fins argileux emballant des
A plaquettes schisteuses (1 cm), pulvérulents ou formant un enduit.

9-34 cm : jaunâtre; plaquettes conservant leur orienta-
C g tion; emballage argilo-sableux très finement grenu, donnant également des enduits; mouchetures manganésifères sur les plaquettes.

34 cm, R: schistes bariolés à filonnets de quartz à hématite.

Ce profil, en site très bien drainé, combine des traits de sol hydromorphe (mouchetures de manganèse) et de sol ferrugineux (appauvrissement, individualisation du fer). Cette ambivalence sera conservée dans les sols les plus évolués. Lorsqu'elle disparaît, c'est toujours par élimination des caractères ferrugineux.

2.13 Les sols peu évolués d'apport hydromorphes et les sols à pseudogley (Ag Cg, A (B)g Cg cn, Ag (B)g Cg)

L'imperméabilité des colluvions provoque une hydromorphie

qui s'accroît avec leur accumulation. Sur les mêmes schistes autoconcrétionnés, se dépose une argile limoneuse dont le mauvais drainage interne se manifeste par des taches de fer (surface) et de manganèse (profondeur) où l'accumulation de matière organique, une individualisation diffuse des hydroxydes, différencient rapidement un horizon (A) d'horizons (B) de couleur ou structuraux. Le sol moyen des placages de bas de glaciais est le suivant :

site d'Elewayen (NL 89)

Lat. : 14° 55' 30" N.

Long. : 0° 55' 30" E.

Base de versant; pente inférieure à 1%; pluviosité de 390 mm.

Surface : blocs de quartz et de cuirasse; croûte pluviale limoneuse.

0-7 cm : brun clair (10 YR 6/4,5) à marbrures diffuses rouges; argilo-limoneux; prismatique (5 cm) en assemblage compact, à débit horizontal lamellaire aisé au sommet; sous-structure polyédrique (1 cm); cohésion forte; porosité tubulaire et semi-tubulaire médiocre.

A g

7-23 cm : brun jaunâtre (10 YR 5,5/5); des mouchetures noires; argilo-limoneux; prismatique (5 cm); sous-structure polyédrique (2 cm); cohésion excessive; compact.

(B) g

Contraste fort; pas de transition.

23-40 cm : plaquettes (2 cm) de schistes à centre noir et périphérie jaune (auto-concrétionnement); emballage peu abondant argilo-limoneux, finement polyédrique, poreux.

40 cm

II R : schistes sériciteux gris clair.

Leur évolution ne s'accroît que dans les dépressions colmatées par accentuation des caractères hydromorphes : horizon A plus sombre et individualisé, ségrégations plus nombreuses et contrastées, structures plus grossières. Elle est donc limitée dans les petits axes de

drainage par une durée d'inondation très courte n'excédant guère celle de la saison pluvieuse. Les sols les plus différenciés n'y dépassent pas le stade suivant :

site de Yatakala (NO 44)

Lat. : 14° 53' 10" N.

Long. : 0° 19' 50" E.

Cote : 250 m.

Lit de cours d'eau temporaire, divisé en une succession de petites mares; fourrés; pluviosité de 420 mm.

Surface : fissurée.

0-9 cm ; brun (10 YR 4/3,5); finement marbré; argilo-limoneux; en continuité structurale avec l'horizon suivant.

9-32 cm : brun jaunâtre (10 YR 5,5/5); taches rougies parallèles à un fin litage bien conservé au sommet; polyédrique (2 cm) en assemblage compact; surstructure prismatique (10 cm); porosité tubulaire médiocre.

32-115 cm : brun-jaune clair (10 YR 6/4); réseau de pores à parois blanches décolorées; même texture; structure motteuse polyédrique (5-20 mm) à cubique; surstructure prismatique; cohésion forte.

115-150 cm : blanc (10 YR 7,5/1,5) à taches jaune pâle; même texture; finement prismatique (1 x 4 cm) en assemblage compact; sous-structure à plaquettes très fines (2 à 3 mm) à faces lisses en assemblage très compact; très dur, cohésion excessive.

2.14

Les sols à pseudogley à caractères de sols ferrugineux lessivés

Ils sont situés en bordure de la zone d'inondation temporaire du lac de Yumbam, entre les sols peu évolués

hydromorphes du glaciaire et les sols à gley de surface du plat. Outre le bariolage du pseudogley, défini par une redistribution hétérogène des hydroxydes ne s'accompagnant pas de déferritisation par rapport à l'argile, ils sont caractérisés par l'accroissement des taux d'argile vers la profondeur (4 cas sur 6), par un horizon profond à taches rouges (5 cas sur 6) ou complètement rubéfié (1 cas, 5 YR 4/5).

Site de Kabia (GA 77)

Lat. : 14° 53' 0" N.

Long. : 0° 15' 50" E.

Sous prairie vivace.

- 0-10 cm : gris clair (10 YR 6,5/2); mouchetures jaunes;
A g sableux; massif; débit feuilleté; cohésion moyenne; enracinement dense.
- 10-30 cm : brun ocre (7,5 YR 5/5); marbrures jaunes et mouchetures noires; sablo-argileux; massif;
B.1 g cohésion forte; compact; quelques racines verticales.
- 30-70 cm : brun ocre (7,5 YR 5/6); marbrures jaunes; nombreuses taches rouges polyédriques (5 YR 4/6); argileux; structure finement polyédrique à facettes lisses; cohésion forte; compact.

Dans un cas sur six l'horizon B.2 reposait à - 100 cm sur une nappe de galets de quartz. Dans deux cas l'horizon A sableux était séparé du reste du profil par une discontinuité texturale ou un lit de débris. Même par ces derniers caractères, ces sols s'apparentent aux terres hydromorphes des toposéquences à sols ferrugineux lessivés - appauvris. Ce sont eux qui, effectivement, ont permis de définir empiriquement la limite entre les sols ferrugineux lessivés et les sols hydromorphes lessivés. Dans ces derniers, le pseudogley envahit l'ensemble des horizons A, l'horizon A.2 poreux disparaît du fait de la disparition de la faune de sols bien drainés et du changement de type d'enracinement. Ces modifications annoncent la disparition de l'appauvrissement superficiel et se produisent sous un couvert végétal déjà spécialisé par un engorgement prolongé, n'allant pas toutefois jusqu'à l'inondation. Que cette évolution composite ne se soit produite que le long du Beli, bien

qu'elle existe en germe dans les sols régiques, serait une conséquence de la topographie très plane de cette vaste dépression qui limite le transit colluvial et fait varier progressivement les régimes hydriques entre l'aridité du glacis et l'inondation de la plaine alluviale.

2.15 Les sols à pseudogley ou gley de surface, vertiques, à nodules calcaires

Vers l'aval, les horizons B.2 des sols hydromorphes lessivés s'homogénéisent, des structures vertiques et des nodules calcaires y apparaissent. L'appauvrissement des horizons A disparaît en même temps que leur gleyfication s'accroît. L'augmentation progressive de la durée d'inondation entraîne une variation continue des structures et des couleurs; elle produit une gamme de sols combinant diversement les caractères de gley, pseudogley et vertisol dont il a été nécessaire de préciser les définitions.

Le gley, dans sa définition élargie, est une élimination du fer qui succède à la redistribution du pseudogley par augmentation de l'hydromorphie, c'est-à-dire de la durée d'inondation pour le cas étudié. Les caractères analytiques et morphologiques des horizons correspondants varient continûment de l'un à l'autre type. Par exemple les pertes de fer ne sont pas complètes dans le gley, alors qu'elles existent dans des horizons fortement bariolés de pseudogley. Pour séparer deux groupes d'horizons, on recourt habituellement à une règle arbitraire, définissant comme horizon à gley celui où les zones réduites ou déferritisées sont plus importantes que les zones oxydées. Son application, pour être sûre, demande des déterminations chimiques hors de la pratique courante si bien que l'on doit se rabattre sur la morphologie. Or cette dernière est peu fiable car s'il est vrai que les ségrégations tendent à disparaître du gley en même temps que la matrice pâlit, les critères de couleur pour définir les volumes réduits, déferritisés ou oxydés n'ont de valeur que relative :

- le lessivage du fer et de l'argile décolore autant que le gley;
- les sols sableux sont plus pâles que les sols argileux

à gleyfication égale du fait de leur pauvreté en plasma;

- la décoloration ne peut être appréciée en présence de matière organique sombre.

Un fond à teinte peu élevée dans l'échelle chromatique garni par quelques ségrégations peut appartenir aussi bien à un horizon à gley qu'à des horizons peu hydromorphes, à pseudogley, lessivés, sableux ou organiques, tels les horizons A des sols ferrugineux, telles les argiles noires. Comme, dans la pratique cartographique, il est de peu d'importance de placer les sols à gley les moins caractérisés dans les sols à pseudogley, qu'il est nécessaire de tracer des limites simples, nous avons choisi de ne retenir dans les sols à gley que les profils fortement décolorés, découverts suffisamment tard par la crue pour pouvoir alimenter la végétation pendant la saison sèche ou à végétation flottante. Les caractères macroscopiques correspondants sont, pour les horizons A gg des argiles du Beli :

- couleur : gris clair (2,5 Y 6-7/0 et 10 YR 6/1)
- ségrégations : nulles ou rares; jaune clair (2,5 Y 7/0 à 4)
- structure : prismatique grossière (13 à 50 cm)
- épaisseur : 10 à 25 cm, médiane de 17 cm.

Les définitions énoncées pour les sols sur roches basiques sont applicables aux vertisols et sols apparentés du Beli. Les uns ne possèdent que quelques faces de glissement en profondeur, ce sont des sols hydromorphes à gley ou pseudogley vertiques. Les autres ont un horizon à structure en plaquettes obliques, ou quelques faces de glissement seulement mais avec une forte fissuration, un gilgai, un profil de couleur homogène; ce sont les vertisols. Il est remarquable de constater que la gleyfication est incompatible avec les caractères vertiques. L'augmentation de la durée d'inondation décolore évidemment le sommet du profil, mais encore efface son microrelief, atténue ou amule les structures profondes de gonflement, si bien qu'il n'existe pas de sols satisfaisant à la fois à la définition des vertisols et à celle des sols à gley.

2.151 Vertisol à pseudogley de surface et nodules calcaires;

Site de Kageï (GA 89)

Lat. : 14° 49' 40" N.
Long. : 0° 18' 35" E.

350 m en amont des sols à gley de surface; prairie hydrophile.

Surface : fissures de 4 cm tous les 60 cm et de 0,5 cm tous les 15 cm; retrait de 13,5%; microrelief dû à des effondrements produisant des dépressions de 40 cm de diamètre.

0-10 cm : gris (10 YR 6/1) à taches jaune-rouge diffuses mais nombreuses le long des racines (7,5 YR 5/6); argileux; prismatique; très cohérent et compact.
A g

10-50 cm : brun-jaune (10 YR 5/4); argileux; nombreux débris (quartz, schistes); fissures élargies, contenant des mottes comprimées; cubique (3 cm) à faces horizontales lisses; surstructure prismatique; cohésion forte; porosité fine localement bien développée (effet de remaniements endogés).
(B)

50-100 cm : brun-jaune (10 YR 4/4); argileux; nodules calcaires (2 mm) et concrétions noires (4 mm); quelques grosses fissures; de nombreuses faces de glissement obliques (5 cm); sous-structure polyédrique fine (1 mm) en assemblage compact; cohésion très forte.
(B) vv ca
cn

2.152 Sol de transition, verticale à pseudogley, à nodules calcaires.

Site de Kabia (GA 78)

Lat. : 14° 53' 0" N.
Long. : 0° 15' 50" E.

Contact prairie hydrophile - prairie vivace (sols hydromorphes lessivés)

Surface : fissures de 1 cm tous les 25 cm; retrait de 4%.

- 0-10 cm : gris clair (2,5 Y 7/1) à pores et faces largement envahis de jaune rougeâtre (7,5 YR 5/8);
 A g prismatique; cohésion excessive; porosité uniquement tubulaire.
- 10-35 cm : couleur intermédiaire; mouchetures noires; argileux; cubique (10 cm) en assemblage compact; petites concrétions noires.
- 35-85 cm : brun-jaune (10 YR 5/5); argileux; nombreux (B) v ca nodules calcaires (1 cm); massif; quelques faces de glissement.

Ces sols frangent les vertisols proprement dits en amont ou se substituent à eux dans les sections les plus étroites de la dépression. Ils sont le lieu de l'accumulation maximum du calcaire qui est ainsi latéral par rapport à la masse des matériaux argileux inondables. Le passage aux sols hydromorphes lessivés est très rapide, ici en moins de 130 mètres. Il se fait par apparition des taches rouges dans l'horizon (B) profond qui perd sa structure verticale et ses nodules (GA 93) puis par appauvrissement du sommet de l'horizon A.

2.153

Sol de transition vers les sols à gley de surface

Site de Kagei (NO 45)

Lat. : 14° 49' 30" N.
 Long. : 0° 16' 20" E.
 Cote : 233 m.

à 150 m du lac permanent.

- Surface : blanche; fissures de 3 cm tous les 30 cm puis de 5 mm tous les 12 cm; retrait de 12%; plane.
- 0-7 cm : gris très clair à pores décolorés; argileux; prismatique; sous-structure en plaquettes; cohésion forte; compact; représente la fraction remise annuellement en suspension par les oiseaux aquatiques, le bétail, puis décantées.
 (A) gg
- 7-25 cm : gris (10 YR 7/2) fortement taché d'ocre (5 YR 5/8); argileux; dés graviers (2 cm) de quartz; prismatique; sous-structure polyédrique (3 cm) en assemblage
 A g

de compacité moyenne (porosité correspondante de 3 à 9%); cohésion forte; peu de pores.

- 25-49 cm : brun marbré d'ocre à pores lisses (extrusion)
(B) 1 vg et décolorés; polyédrique; quelques faces de glissement; compact.
- 49-133 cm : brun-jaune (10 YR 4/3,5); argileux; structure
(B) 2 vv en plaquettes obliques bien visibles au sommet seulement (12 x 6 cm); compact.
- 133-172 cm : brun-jaune; faces plus grises; marbrures
(B) 3 g v jaunâtres; argileux; massif; avec faces obliques, parallèles, mais rugueuses (rupture sans glissement).

Le microrelief disparaît en même temps que le gley et le pseudogley envahissent le sommet du profil. Les nodules calcaires sont absents. L'horizon profond à pseudogley (B 3) est attribué à un engorgement temporaire par la nappe sous-alluviale.

2.154 Sol à gley de surface

Site de Kabia (GA 79)

Lat. : 14° 50' 40" N.

Long. : 0° 15' 50" E.

A 20 m du lac permanent; prairie hydrophile; sept mois d'inondation environ.

Surface : blanche, plane (en dehors des défluent); fissures de 2 cm tous les 30 cm; retrait de 6%.

0-15 cm : gris clair (10 YR 6/1); taches jaune clair
A gg (2,5 Y 7/4) rares, dans des pores; argileux; prismatique; cohésion et dureté excessives.

15-27 cm : gris (10 YR 5/2); nombreuses taches rouges
A g (5 YR 4/8) sur les pores et faces d'agrégats; argileux; polyédrique (2 cm) en assemblage compact; cohésion très forte; compact.

27-100 cm : brun jaunâtre (10 YR 5/5); réseau de pores décolorés; argileux; des concrétions noires; massif; amorce de faces de glissement.
(B) v g
cn

2.16 C o m p a r a i s o n a v e c l a
t o p o s é q u e n c e s u r r o c h e s
b a s i q u e s

La rive sud de la dépression du Beli est en partie sur roches basiques birrimiennes. La toposéquence y diffère de la précédente sur le glacis, mais est la même dans le flat :

<u>Sur schistes</u>	<u>Sur roches basiques</u>
<u>Glacis</u> Sols peu évolués hydromorphes, parfois à caractères ferrugineux	<u>Glacis</u> Sols brun-rouge de glacis puis sols bruns tirsifiés.
<u>Zone de contact avec le flat argileux</u> Sols hydromorphes lessivés-appauvris	Vertisols topo-lithomorphes
<u>Flat argileux</u> Sols à pseudogley vertiques à nodules calcaires	<u>Flat argileux</u> Sols à pseudogley et amas calcaires très faiblement vertiques
Vertisols hydromorphes à pseudogley et nodules calcaires	Pas de vertisols (section du flat resserrée par le lit mineur)
Sols à gley de surface vertiques	Sols à gley de surface vertiques

La continuité des matériaux et de l'évolution pédologique sur le versant nigérien est confirmée par la discontinuité au niveau de la base du glacis sur le versant birrimien où, vers l'aval, des sols à faible capacité d'échange succèdent à des vertisols. Mais les sols du flat, s'ils évoluent sur des matériaux issus du glacis nigérien, ont leur évolution propre puisque symétrique par rapport au thalweg. Les concentrations nécessaires à la formation des sols vertiques à nodules calcaires ne sont pas nécessairement dues à des migrations au travers d'une chaîne mais aux processus d'alluvionnement, au régime hydrique local.

Plus tendres, ils se pulvérisent plus facilement que les schistes nigériens, en un matériau blanc, onctueux mais non plastique, évoluant en sols peu évolués d'apport hydromorphes ou en sols composites, hydromorphes, appauvris, à horizon B légèrement rubéfié.

Sol peu évolué d'apport hydromorphe (NO 30 Manda)

Lat. : 14° 35' 10" N.

Long. : 0° 16' 10" E.

Cote : 278 m.

Sommet de glaciais; zone d'épandage aux pieds d'une butte de schistes tuffacés anciennement cuirassés (M.2); pluviosité de 470 mm; steppe d'épineux.

Surface : croûte pluviale beige; termitières.

0-15 cm : brun jaunâtre (10 YR 5/4): marbrures peu distinctes; argilo-limoneux; structure à tendance prismatique (15 cm): cohésion forte; porosité fine et médiocre.

Contraste fort; transition sur 5 cm.

15-42 cm : brun vif (7,5 YR 5/4) marbré de brun; sablo-argileux avec lits de gravillons (1 cm); II g quartz, débris de schistes, de cuirasse, concrétions manganésifères; massif; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire plus grossière, plus développée.

Contraste fort; transition sur 2 cm.

42-180 cm : blanc bariolé de rouge, jaune, brun; limoneux; III C non plastique; massif, très tendre.

Sol hydromorphe à pseudogley à caractères de sol ferrugineux (GA 22 Fatatako)

Lat. : 14° 29' 50" N.

Long. : 0° 19' 50" E.

Site : bas de glaciais; pente de 1,5%; fortement dénudé.

Surface : succession de gradins isohypses larges de 40 m,

- décapés et à fort encroûtement pluvial, tronqués en aval sur 10 cm d'épaisseur par érosion en nappe ravinantes; des plages gravillonnaires à nebkas aplaties; pluviosité de 470 mm.
- 0-3 cm : brun (10 YR 6/3) à fines stries horizontales ocres; sablo-limoneux; massif; débit horizontal aisé; cohésion forte; quelques pores tubulaires.
A.IIg
- 3-18 cm : brun clair (10 YR 5/3) marbré d'ocre; sablo-limoneux; massif, débit polyédrique; cohésion excessive; faible porosité vermiculée; très dur.
A 12 g
- 18-43 cm : brun rougeâtre (5 YR 4/4) à pores à enduit brun clair (10 YR 5/3), soit à cutines illuviales issues du A.12; argilo-sableux; polyédrique en assemblage compact; cohésion moyenne à forte; porosité plus grossière (0,7 mm).
B

Le lessivage est observable; le durcissement en A.12 est imputable à une simple compaction d'une texture riche en limons.

3. C A R A C T E R E S P H Y S I Q U E S E T C H I M I Q U E S

3.1 PROPRIETES PHYSIQUES

Le caractère déterminant de ces sols est une imperméabilité constante associée à une très forte instabilité structurale. Héritée du matériau, elle est singulièrement

aggravée dans les sols à gley de surface dont la partie supérieure est annuellement remise en suspension dans les eaux de crue. Elle est due à la finesse de la texture, à la richesse en limons, à l'inertie des minéraux argileux, à l'absence de ciment organique efficace. Les réserves en eau ne sont pas limitées par les capacités de stockage puisque, l'humidité équivalente (He) étant liée aux taux d'argile (A) par la relation :

$$He = 0,55 A + 1 (\%)$$

les tranches d'eau emmagasinables à PF 3 sont de l'ordre de 350 à 400 millimètres par mètre dans les sols hydromorphes et vertiques et de 75 à 175 millimètres pour cinquante centimètres dans les sols moins évolués des glacis. Ces valeurs sont certainement atteintes dans les sols des dépressions encore et sensiblement humides en profondeur pendant la saison sèche. Les porosités pour l'air sont alors réduites à peu de chose dans les horizons de surface non argileux (0 à 12% en volume) à rien dans les horizons profonds. Il est vraisemblable que ces possibilités d'asphyxie limitent l'utilisation par la végétation des réserves théoriquement disponibles, soit 45 à 50% de l'eau stockée à PF 3. La sélection d'espèces xérophiles (*Acacia flava*, *Dichrostrachys*) la présence d'une saxicole dans des dépressions inondables (*Combretum micranthum*) en sont des conséquences. La généralisation de l'évolution hydromorphe est également due à cette aptitude à l'engorgement, si forte qu'elle s'étend à la totalité des sols de glacis où les dispositions en brousse contractée, tigrée, décèlent une hétérogénéité des régimes hydriques provoquée par des limitations locales de l'infiltration.

3.2

LES TEXTURES

Elles sont plus lourdes que dans aucun ensemble étudié, les argilites continentales (Ct.2) comprises. Sablo-limoneuses et surtout argilo-limoneuses sur les glacis, avec des rapports argile/limon descendant jusqu'à 2 (Birrimien .) et 1,5 (Ydouban); elles ne deviennent franchement argileuses que dans le lac de Yumbam, par l'effet de la décantation (A/L atteignant 5). Les sables grossiers sont rares, n'atteignant que le tiers des sables fins dans les sols hydromorphes lessivés, où ils sont

les plus abondants. Ils sont pratiquement éliminés des dépôts de dépression. L'appauvrissement superficiel, dont on a vu qu'il pouvait correspondre à des traits illuviaux réels ou à une apparence de stratification, peut atteindre 4,2, mesuré par le rapport des taux d'argile; il ne s'accompagne d'aucune variation significative du rapport des sables fins aux sables grossiers, ce qui montre qu'il s'agit bien d'une élimination sélective des fractions fines.

3.3 LA MATIERE ORGANIQUE

La nature hydromorphe des sols est confirmée par leurs taux de matière organique qui, compris entre 1 et 2%, sont du même ordre de grandeur que ceux des sols mal drainés de la même zone climatique. Ils croissent avec la durée d'inondation et, une étude de détail l'a montré, avec les taux d'argile (A). Par exemple dans les sols à gley ils varient entre deux limites données par les relations :

$$0,021 A + 0,4 \quad \text{et} \quad 0,055 A + 0,4$$

entre lesquelles les fluctuations sont dues à l'importance du couvert végétal. Les rapports C/N sont cependant plus faibles qu'il ne devrait dans la seule dépression de Yumbam où ils ne dépassent pas 9,5 alors qu'ils sont compris entre 9 et 11 dans la plupart des sols argileux hydromorphes sahéliens. La surcharge en bétail pendant la saison sèche pourrait en être la raison. Cette matière organique, très bien décomposée, n'est pas en quantité suffisante pour donner une structure stable, d'autant plus qu'elle décroît très rapidement en profondeur.

3.4 Fe_2O_3

Les taux de fer libre ne dépassent pas 8% de l'argile granulométrique et atteignent ordinairement 5% de cette dernière. Ils sont encore diminués dans les horizons

gleyfiés, tout comme ceux du fer total :

horizon de gley :	Fer libre/argile :	4%;
	Fer total/argile :	7,7%
horizon vertique :	Fer libre/argile :	6%
	Fer total/argile :	9%

Les roches mères ne sont cependant pas plus pauvres en fer que certaines qui donnent des sols ferrugineux à concrétions, telles les argilites. Ce défaut de fixation pourrait encore être dû à l'abondance des micas dans la fraction argileuse.

3.5 BASES, pH

L'acidité des horizons A, prononcée, croît avec l'hydromorphie; les pH, de l'ordre de 5,5 sur le glacis, s'abaissent à 4,3 dans les mares à gley. La tendance à la neutralité est une propriété générale des horizons profonds s'ils ne sont pas gleyfiés; elle s'accentue dans les horizons vertiques et/ou à amas calcaires qui peuvent être légèrement alcalins (7,6). Les coefficients de saturation varient parallèlement. Comme ils ne sont jamais faibles (au moins 70% sur le glacis, 60% dans les sols à gley) et que les capacités d'échange, surtout du fait des taux d'argile, sont appréciables, la somme des bases échangeables n'est jamais anormalement basse, même dans les horizons A des sols appauvris. Dans les cations on trouve plus de calcium que de magnésium, ce dernier en quantités importantes toutefois, peu de potassium et des traces de sodium. L'équilibre :

Ca = 52-57 Mg = 40-42 K + Na = 3-6 (en % de S)

n'est pas spécialement favorable à l'acquisition d'une bonne structure ni à l'assimilation de K par excès de Mg, mais on l'observe banalement sur la plupart des sols du Sahel nigérien et de ce fait ne constitue pas un facteur local limitant la végétation et le développement des sols.

Les capacités d'échange croissent du glacis aux dépressions par alourdissement des textures mais aussi par un léger changement des argiles :

T/A (%) = 11-19 (glacis) 28 (hydromorphe appauvri)
30-33 (vertique).

Si avec ces valeurs relativement basses, des structures de gonflement apparaissent, c'est que la quantité des argiles compense leur qualité. Les caractéristiques minima des horizons à structure vertique caractérisée sont de 55 pour le taux d'argile et de 13,5 milliéquivalents pour la capacité d'échange, alors que les chiffres correspondants sont respectivement de 38 et 23 pour les matériaux issus de roche basique où T/A dépasse 80%. Cette compensation existe également au sein même des alluvions argileuses et s'exprime par la relation : $T + 0,17 A = 22$, qui définit les valeurs minima de A et T des vertisols.

Dans les sols à gley de nombreux caractères distinguent les horizons de surface acidifiés, à capacité d'échange plus faible, des horizons profonds vertiques, neutres, plus calciques :

	pH	T/A	Taux en % de la somme des bases							
			amont				aval			
			Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
Horizon(A)gleyeux	4,3-4,5	18-26	66	24	9	1	53	37	9	1
Horizon(B)vertique	7,1-7,6	31-33	81	16	2,7	0,3	60	36	3	1

4. C O N C L U S I O N S

4.1 LES PROCESSUS D'EVOLUTION

Les roches micacées qui, formées de minéraux stables, ne peuvent être altérées que par fragmentation mécanique, ne le sont que difficilement, lentement parce que le

matériau produit est un support médiocre pour la végétation du fait de sa compacité, qu'ainsi découvert il est déblayé par le ruissellement intense que permet sa forte imperméabilité. Les sols peu évolués dominent de ce fait sur les glacis. L'hydromorphie, que l'on peut dire d'origine pétrographique, s'y manifeste dans le niveau et la répartition de l'accumulation organique, dans la distribution des hydroxydes de fer, dans la structure où dominent des formes de retrait dont l'aspect spécial est l'effet de la richesse en limon. Les oxydes et hydroxydes de manganèse et surtout de fer ne sont immobilisés qu'au sommet de la roche altérée, site d'engorgement prononcé. Ce défaut de fixation du fer, qui se traduit par l'absence de cuirasse moderne et la rareté des cuirasses anciennes, peut être attribué au manque d'affinité des micas pour ses composés. Les bases sont superficiellement lessivées et se concentrent dans les grandes dépressions fermées, leur véhicule étant probablement la nappe sous-alluviale. Des dépôts de carbonates de calcium, peut-être un début de simatisation, s'opèrent au sein des dépôts argileux qui, débarassés par décantation d'une partie des sables fins et des limons, peuvent acquérir des structures verticales. Du fait de l'acidification organique, cette transformation est incompatible avec la gleyfication prononcée de la partie supérieure et du centre des flats, car le gley s'accompagne de désaturation, de décalcification, de la diminution de la capacité d'échange de l'argile. Il efface le microrelief et fait régresser les structures verticales.

Une évolution en sol ferrugineux se manifeste localement par des horizons A éluviaux et des horizons B rubéfiés ou à taches formées par ferritisation d'agrégats. Elle s'accompagne toujours d'hydromorphie et demande des conditions topographiques très particulières pour s'exprimer pleinement, celles des bordures de grandes dépressions.

4.2

COMPARAISON AVEC DES TOPOSEQUENCES OU CHAINES ANALOGUES

Sur argilites (Ct.2) sur grès du Continental Hamadien, nous avons décrit des suites de sols sur des topographies similaires de même âge, dans le même milieu climatique, sur des roches relativement tendres.

Formation géologique	Continental Hamadien	Continental T.	Format. d'Ydouban
Phyllites dominantes	Kaolinite	Kaolinite	Muscovite, séricite, kaolinite
accessoires	illite, montmorillon.	néant	illite
Réaction	neutre	très acide	légère acide
Source de bases	Feldspath, bases échangeables	néant	Roches calcaires, bases éch.
Toposéquences (400mm)	Ferrugineux lessivé à concrétions Solonetz solodisé Hydromorphe calc.	Ferrug. less. à concrétions Ferrug. less. Hydrom. acide	Peu évolué hydromorphe Hydrom. lessivé Hydrom. calcaire Hydrom. verticale
Processus lessivage (fer, argile) concrétionnement (fer) hydromorphie	Principal important Secondaire ou topographique	Principal constant Secondaire ou topographique	Secondaire nul sauf en C Principale et topographique
Accumulation en bas de toposéquence calcaire argiles gonflantes	Présent Présentes	Néant Absentes	Présent Au minimum accroissement de la capacité d'échange
Divers	Solodisation		

Comparées à la suite de sols sur schistes d'Ydouban, elles apparaissent comme une combinaison différente des mêmes processus, du moins des principaux d'entre eux, dont la prédominance locale peut être attribuée à des facteurs minéralogiques ou chimiques précis. L'évolution en sol ferrugineux (lessivage, concrétionnement) est favorisée par la kaolinite, l'hydromorphie est induite par la présence de grandes quantités de micas, la concentration des bases et ses conséquences (simatisation, solodisation) ne peuvent se manifester sur les roches désaturées sans minéraux altérables.

4.3 HISTOIRE DES SOLS

La rareté de témoins anciens sur le bas modelé, représentés par quelques cuirasses manganésifères, peut être attribuée à des caractères observables sur la couverture pédologique : concrétionnement difficile, érodibilité élevée. Il n'y a donc pas lieu de penser que les sols aient pu jadis différer beaucoup de leur état actuel. On peut préciser l'âge relatif de certains matériaux. Celui des sols hydromorphes lessivés-appauvris, reposant sur des cailloutis, est l'équivalent du remblai supérieur. Celui des sols à gley, emboîté sur des sables arrachés aux dunes anciennes, est l'équivalent des argiles du lit majeur du Gorouol; il pourrait donc être plus récent.

4.4 CLASSIFICATIONS

4.41 Critères régionaux

Nous avons vu que les sols hydromorphes lessivés pouvaient être séparés des sols ferrugineux lessivés par suite du pseudogley généralisé en A et de la disparition de la porosité de l'horizon A.2. Cette distinction est également justifiée par le fait que ces sols apparaissent dans un ensemble de sols hydromorphes et non de sols ferrugineux. Les sols à amas calcaires satisfont à la définition la plus générale des argiles noires, données à propos des sols sur roches basiques; ils sont plus précisément proches de celles dont les structures de gonflement sont peu apparentes. Les vertisols appartiennent aux argiles noires à développement pédique normal mais sans mouvements convectifs. Dans les deux cas, ce sont des sols topomorphes au sens propre, puisque leur matériau n'a pu acquérir ses propriétés que grâce à son dépôt dans une dépression fermée. Cette origine n'assigne pas une morphologie spéciale par elle-même et de ce fait peut être indiquée au seul rang du matériau. Il n'en est pas de même du gley et pseudogley qui, indiquant une évolution toute différente, voire antagoniste, doivent être mentionnés immédiatement après les caractères structuraux de base. Pour cette même raison d'incompatibilité les sols à gley de surface doivent être séparés des

argiles noires, les critères choisis étant : un horizon à gley d'au moins 10 cm (cf. description en tête du chapitre) l'effacement du microrelief, la disparition de la structure en plaquettes obliques.

4.42

C l a s s i f i c a t i o n d e 1 9 6 5

Les sols de glacis entrent fort bien dans les unités de la Classification de 1965, à ceci près que l'hydromorphie y figure à des niveaux inégaux. Les uns seront des sols régiques à faciès hydromorphe, les autres des sols peu évolués d'apport hydromorphes (sous-groupe). Les sols hydromorphes minéraux, à pseudogley, sous-groupe à taches et concrétions, incluent les sols des petites dépressions, les sols lessivés-appauvris, les sols à nodules ou amas calcaires. Il convient toutefois d'indiquer au niveau du faciès ce à quoi peuvent bien ressembler les divers éléments de ce sous-groupe trop compréhensif (lessivé-appauvri, vertique à nodules calcaires). Les vertisols sont effectivement, grâce aux effondrements structuraux, des vertisols topomorphes, non grumosoliques. Les critères régionaux ci-dessus peuvent être utilisés pour les séparer des sols à gley de surface (sous-groupe).

5.

R E F E R E N C E S C A R T O G R A P H I Q U E S

Regosols sur schistes argileux.
Association à lithosols et
sols régiques

Feuille Niamey

Sols peu évolués d'apport hydromorphes à pseudogley. Sur colluvions argilo-sableuses. Association à sols à taches de profondeur et à sols minéraux bruts

Feuille Niamey

Sols peu évolués d'apport mal drainés. Sur colluvions argilo-sableuses issues de schistes.

Chaîne à sols à taches de profondeur (groupe d'Ydouban)

Association à sols minéraux bruts (schistes birrimiens)

Carte du Gorouol

Vertisols et paravertisols à pédoclimat longuement humide, largement structurés dès la surface, à nodules calcaires, sur argiles de décantation. Série de Yumbam, associée à des sols à gley de surface sur alluvions hétérogènes

Feuille Niamey

Sols à gley de surface. Sur argiles de décantation. Chaîne avec sols à nodules calcaires et sols à taches de profondeur

Carte du Gorouol

Vertisols hydromorphes non grumosoliques à amas ou nodules calcaires sur argiles de décantation. Série de Yumbam

Carte du Gorouol

**SOLS ET PEDOGENESE
AU NIGER MERIDIONAL**

M. GAVAUD

Tome 3

Chapitre XI

LES SOLS FERRUGINEUX
PEU LESSIVES ET LES
SOLS SUBARIDES BRUN-ROUGE

ou

LES TOPOSEQUENCES SUR
MATERIAUX SABLEUX

1. DEFINITIONS ET FACTEURS
DE FORMATION

1.1 PRESENTATION

Les sables recouvrent près de 200.000 km² sur les 255.000 km² cartographiés. Ils ennoient presque entièrement la cuvette tchadienne, s'étendent sur les trois quart du Niger central et oriental et n'épargnent du Niger occidental que le Liptako méridional. Les autres matériaux n'apparaissent que dans des fenêtres trouant cette immense couverture dont la forme la plus caractéristique et la plus étendue est un erg mort qui prend en écharpe, d'est en ouest, toute l'Afrique au sud du Sahara (GROVE, 1958). Leur extension en latitude n'est pas moins grande puisqu'ils atteignent le dixième parallèle au Cameroun et passent progressivement aux ergs vifs sahariens vers le nord (latitude 15°N., pluviosité de moins de 100 mm). Au Niger ils se raréfient sensiblement à moins de 600 mm mais sont encore présents à l'extrême pointe méridionale du territoire (confluent du Dallol Fogha et du Niger, à 875 mm). Ils donnent des terres légères qui sont le support principal des cultures vivrières de base et de l'arachide. Certaines communautés agricoles s'y sont adaptées de telle sorte

qu'elles ne cultivent pas d'autres terrains .

Au-delà d'une uniformité morphologique apparente il est possible de découvrir une diversification à la fois ténue et foisonnante dans les profils sableux, dont la description est rapidement fastidieuse. Pour y remédier les sols seront étudiés dans leur généralité dans cette première partie du chapitre, dans leur détail dans la seconde. In fine, nous proposerons une solution adaptée au Niger des difficultés de classification qui leur sont inhérentes.

1.2 CARACTERES GENERAUX DES SOLS SABLEUX

1.21 La tradition pédologique en matière de sols sableux

Les propriétés des matériaux sableux agissent suffisamment sur l'intensité et l'expression des processus pédogénétiques pour limiter le nombre de types morphologiques. En milieu intertropical, on distingue habituellement d'une part des sols rouges relativement homogènes, d'autre part des sols décolorés, certains extrêmement épais (BLEACKLEY, 1963) d'autres à horizon B subdivisés en raies (DUBOIS, 1949). Bien qu'ils ne soient le siège d'aucun phénomène spécifique, leur pauvreté en plasma suffit à leur donner une originalité aussi unanimement reconnue que difficile à expliciter. On ne parvient jamais mieux à les définir, aux niveaux inférieurs, qu'en les nommant tout bonnement sableux ou en les désignant de quelque terme local équivalent (dior, goz). Les classifications les regroupent dans des ensembles qui leur sont réservés explicitement ou implicitement, dont la signification variable dépend de l'interprétation des caractères les plus spécifiques : texture, absence de développement pédique, transitions graduelles entre horizons. Les sols sableux peuvent être isolés, tels les Cromopsânicos et les Psamíticos pardacentos d'Angola (BOTELHO DA COSTA, 1959). Ils peuvent être inclus parmi les sols peu évolués, ou à évolution rapide; ce sont les Psamments, Psammustents (U.S.D.A., 1960). Une interprétation voisine en fait la subdivision la moins évoluée d'un groupement, ce sont les Sols

Ferrugineux Peu ou Non Lessivés. Parfois encore le contraste atténué entre horizons les fait converger vers des sols où cette propriété est en principe le fait exclusif d'une pédogenèse peu active. Cette assimilation a produit les Sols Subarides Brun-Rouge (MAIGNIEN, 1959). Le caractère implicite des deux derniers exemples de classification se révèle à l'usage par le fait que ces unités finissent par rassembler une majorité de types sableux.

Il y a donc unanimité pour rassembler les sols sableux à un niveau plus élevé que celui de la texture, à les tenir pour peu évolués parce que peu différenciés. Les classifications diffèrent par la façon dont elles expriment cette commune opinion que renforcent encore des considérations naturalistes et pratiques. Les paysages psammiques sont originaux, souvent par un modelé qui leur est propre, presque toujours par une végétation spécialisée et des modes d'utilisation particuliers. Leurs sols se prêtent mal à l'observation et aux analyses. Leurs traits descriptifs sont moins nombreux que dans d'autres grandes familles et sujets à d'infimes variations de notation difficile. La mesure de leurs propriétés chimiques et physiques est souvent proche de la limite de sensibilité des techniques. Ces difficultés limitent la connaissance des sols sableux et incitent à les regrouper. La Septième Approximation cède expressément à cette limitation pratique en éliminant des horizons oxyques ceux dont le taux d'argile n'atteint pas 15%, en supprimant des Alfisols ceux dont la transition A-B est trop épaisse; les exclus se situeront le plus souvent parmi les Psamments. Un rassemblement par éliminations successives de ce genre est également perceptible dans la classification des sols d'Angola, où entrent des Cromopsânicos semiarides, fersiallitiques, ferrallitiques. Il est vraisemblable que l'on procède toujours ainsi, même si cette méthode est étrangère à l'esprit de la classification considérée. Finalement, en regroupant les sols sableux d'une même région, on est assuré d'obtenir une unité naturelle renfermant un petit nombre de types morphologiques, cela à moindres frais.

P r o p r i é t é s p r i n c i p a l e s d e s s o l s s a b l e u x d u N i g e r

Les sols que nous rassemblons ici, suivant une tradition bien établie, sont caractérisés par une organisation morphologique de type ferrugineux, à profil A.1-A.2-B-C ou A-B-C avec horizon B coloré par des sesquioxides, par une différenciation structurale médiocre, par une extension considérable des terres bien drainées à horizon B rouge dans les toposéquences. Ces dernières sont ordinairement brèves et juxtaposées en mosaïque, le drainage étant déterminé moins par la position sur le modelé fossilisé que par la situation sur des édifices surimposés, dunes et remblais. Ces propriétés sont dues à des perméabilités élevées, à la faiblesse des taux de plasma minéral, à la pauvreté en minéraux altérables héritée d'un long passé pédologique, à l'homogénéité granulométrique et minéralogique des matériaux sur de grandes surfaces, à la juxtaposition de petits éléments topographiques.

La végétation s'y distingue toujours de celle du voisinage à sols moins perméables par sa flore et sa physiologie, relativement plus ouverte et diffuse en région sahélienne, relativement plus haute et dense en région soudanienne. Elle est très sensible aux nuances texturales et présente des variantes régionales qui nous ont permis de découvrir des sous-ensembles de sols caractérisés par un degré commun de différenciation, un modelé particulier, des formes d'érosion préférentielles, des possibilités d'utilisation définies. Les toposéquences les moins différenciées, les plus sableuses, correspondent schématiquement à des formes dunaires puissantes, sensibles à l'érosion éolienne, recouvertes de prairies pâturées, d'extension plutôt septentrionale. Les types moyens se développent sur des formes dunaires très aplanies, à savanes arborées et cultures, d'extension latitudinale maximum. Les toposéquences les plus organisées ont pour support des matériaux plus argileux dont l'eau est l'agent principal de mise en place (remblais fluviatiles, colluvions, produits d'altération). Elles sont plus fréquentes dans le sud, où elles portent des savanes boisées; l'érosion y est de type hydrique. Il existe un quatrième ensemble, à sols juvéniles non rubéfiés, sur des formes mineures et visiblement tardives, tels les cordons périlacustres,

de bordure de vallée, les nebkas surimposées aux édifices dunaires plus anciens. Il sera étudié séparément. Ces systèmes de terrain tendent à se succéder en latitude mais peuvent également coexister localement, sur un territoire de quelques kilomètres carrés. Ils forment alors autant de biogéocénoses (1). Ces différences écologiques ont entraîné la nécessité de coupures inhabituellement fines parmi les sols sableux, la couverture vivante se révélant autrement sensible que les techniques ordinaires d'examen qu'il a fallu aménager.

Du fait de leur extension en latitude, les sols sableux connaissent une variation de pluviosité à laquelle ce sont surtout les horizons A qui sont sensibles de telle sorte que sur un isohyète donné, les épipédons se ressemblent très fortement alors que les horizons B conservent, constantes, les caractéristiques propres à chaque biogéocénose. Les sols septentrionaux possèdent des horizons de surface plus minces, moins organiques, moins désaturés, mais des horizons profonds identiques à ceux des sols méridionaux, ou du moins peu différents. La morphologie restant de type lessivé, ses diverses parties paraissent moins en harmonie en milieu sahélien cela d'autant plus que la texture est plus argileuse. La pédogenèse subaride est ainsi secondaire par rapport aux processus responsables de l'organisation du profil ferrugineux qu'elle retouche sans la modifier profondément. Les faciès brun-rouge et bruns qu'elle produit se rapprochent d'autant plus de l'idéal steppique que la texture, plus sableuse, efface les contrastes morphologiques et étire les transitions entre horizons.

1.221 Morphologie

1.2211 Orientation de base
.....

La succession A.1-A.2-B-C est celle de la plus grande partie des toposéquences; elle s'observe partout où

(1) Biogéocénose : territoire relativement étendu homogène quant à la roche mère, à la couverture de sols, au climat, à la végétation et à la faune, à la topographie, cette homogénéité devant s'entendre comme des variations à l'intérieur de certaines limites (définition ancienne de SUKACHEV, reprise par RODE, 1947).

l'hydromorphie et l'érosion ne l'ont pas effacée. L'horizon A.1 humifère est massif ou à structure façonnée par les racines, par l'érosion hydrique et éolienne. Le développement de la macroporosité de type semi-tubulaire est maximum dans l'horizon A.2 dont l'individualisation croît parallèlement à celle de l'horizon B. Les variations de couleur et d'épaisseur de l'épipédon sont une fonction topographique et zonale; il est plus épais et gris (ou foncé) dans les sols les plus humides, méridionaux ou situés en bas de pente. Dans le cas idéal, fréquemment réalisé, l'horizon B est le plus riche en argile et en sesquioxydes, le plus coloré et le mieux structuré. Il est diagnostique des types topographiques et biogéocénétiques. Sa rubéfaction augmente vers les hauts de pente bien drainés. En employant une méthode et un vocabulaire appropriés, exposés dans l'annexe I, il est possible d'apprécier de minimes variations structurales correspondant à de petites différences dans les taux de plasma minéral. Les horizons B les plus sableux et les moins différenciés ont un débit régulier ou légèrement mamelonnés de cohésion au plus moyenne. Ils sont alors essentiellement identifiés par leur couleur, ce d'autant plus que les taux d'argile peuvent ne pas y différer sensiblement de ceux du reste du profil, soit par absence de lessivage, soit par impossibilité technique de mesurer d'aussi faibles quantités. A l'opposé, les débits polyédriques, les structures polyédriques en assemblage compact, sont le maximum, atteints par les remblais sablo-argileux. Les horizons B des sols de dunes basses, à débit mamelonné de cohésion moyenne à forte, sont situés en position moyenne dans cette échelle de différenciation structurale (1). L'horizon C est identifié comme tel par son homogénéité verticale et latérale coïncidant avec l'absence de caractères d'évolution; la structure en est massive à débit régulier de cohésion homogène le plus souvent faible; la porosité en est uniquement intersticielle; les couleurs en sont diverses, nuances pâles et homogènes de rouge, jaune-rouge, jaune, telles que 5 YR 6/8, 7,5 YR 7/6, 10 YR 7/6. La progressivité des transitions est accentuée à la base de telle

(1) En termes micromorphologiques, les débits réguliers peuvent correspondre à une distribution relative du plasma et du squelette de type granulaire à grains vêtus et les débits polyédriques à une distribution relative intertextuelle.

sorte qu'il est malaisé de définir la profondeur du profil. La couleur de l'horizon B évolue très graduellement vers celle de l'horizon C dans une zone intermédiaire B-C qui possède déjà la structure du matériau, cela parfois sur plus d'un mètre. Cette difficulté, jointe à une épaisseur qui excède le plus souvent 120 cm et peut dépasser 400 cm, est responsable de ce que dans le passé on ait assimilé la couleur des dunes fixées à celle des horizons B, en ne prenant en considération que la seule évolution pédologique des épipedons. Elle n'est pas la seule qui empêche d'identifier le matériau. Dans le cas de recouvrements de faible épaisseur, de moins de deux mètres environ, la pédogenèse peut étendre le solum jusqu'au substrat fossilisé. Là ce sont les caractères structuraux, labiles vis-à-vis des agents de transport, qui permettent de faire la distinction. Des modifications dues à l'engorgement, dont nous donnons le détail ci-dessous, peuvent affecter la base du sol, soit que le substrat soit imperméable, comme les glacis du bas modelé sur granites, soit qu'il existe une nappe phréatique, comme dans les vallées et grandes dépressions. Dans le cas d'accumulation discontinue, des raies et bandes (cf. infra) peuvent se former à grande profondeur et sur une épaisseur parfois considérable sous un profil apparemment normal et complet de type A - B - BC. Au Niger on connaît un exemple d'une telle accumulation située à 185 cm, sous un horizon ressemblant à un BC (NM 86). Au Sénégal, des carrières ont montré des raies ferrugineuses conformes au litage éolien se succédant sur près de dix mètres sous les sols rubéfiés de type A - B de couleur - BC des grandes dunes ogoliennes. L'extension de ces horizons profonds n'est pas connue car ils sont inaccessibles pour les moyens ordinaires d'une prospection à petite échelle. La différenciation pédologique dont nous traitons doit donc être définie ainsi : elle de type A - B - C, A - B - BC, A - B - IIC; elle affecte une épaisseur de matériau observée sur une épaisseur de deux mètres, portée à quatre mètres dans 5% des cas; elle coïncide avec la totalité du profil lorsque l'épaisseur du matériau est du même ordre de grandeur; elle exclut des accumulations discontinues profondes de fréquence indéterminée dans le cas contraire. En résumé elle coïncide toujours avec le solum (1) mais pas nécessairement avec le profil.

(1) Le solum est l'ensemble des horizons supérieurs du profil consistant normalement en horizon A et B ou en horizons représentant le matériau parental le plus radicalement transformé; ce peut être encore le profil du sol jusqu'à la profondeur ou l'assemblage microstructural du matériau peut être retrouvé (BREWER, 1964).

Quelques records de profondeur

Profils	Type de support	horizon	cote du sommet	pluviosité
NJ 28	colluvions sablo-argileuses	B-C	plus de 400 cm	775 mm
NA 34	dune basse	B	165 cm	550 mm
		C	325 cm	
NE 40	dune basse	C	311 cm	415 mm
NN 3	dune élevée	C	185 cm	525 mm

1.2212 Traits pédologiques secondaires
.....

1.22121 Traits laminaires

Dans ces matériaux, les processus de mise en place ou de remaniement sont à l'origine de discontinuités de l'arrangement ou de la granulométrie du squelette organisées en surfaces plus ou moins planes et conformes à la topographie, généralement invisibles à l'oeil nu, mais suffisantes pour localiser les fronts de percolation ou accroître l'humidité en des sites privilégiés. Ces hétérogénéités du drainage sont responsables de la distribution discontinue du plasma et sont matérialisées par :

- des stries : zones décolorées très minces, dont l'épaisseur est de l'ordre de celle des grains du squelette (10^{-1} mm) et où prendrait place une certaine éluviation ou réduction du plasma minéral. Elles sont spécifiques des horizons A, cela dès la zone subaride.

- des raies : zones plus épaisses (10 mm), isochromes des horizons B dans ou au-dessous desquels elles se forment préférentiellement. Ce sont des accumulations de sesquioxides de fer, d'argile, de matière organique. Elles sont omniprésentes mais paraissent plus fréquentes dans les bas de toposéquences ou dans les modelés aplanis.

- + des bandes : zones se distinguant des raies par leur épaisseur (plus de 10 mm) leur organisation en micro-horizons, le supérieur décoloré, la disparition du plasma dans les volumes les séparant (BOCQUIER, 1964, pp.202-204) et leur tendance à se substituer à l'horizon B à distribution plasmique continue (BOCQUIER, 1965, pp. 52-65). Elles se localisent le plus souvent, mais non exclusivement, en bas de toposéquence et ne se forment pas dans les types les plus sableux.

On a observé des passages continus des stries aux raies,

des raies aux bandes, des bandes à des horizons B épais de plusieurs décimètres, par permanence des accidents squelettiques dans le premier cas, par épaissement dans le second, coalescence dans le troisième. Ce sont des manifestations particulières du lessivage et de l'illuviation.

1.22122 Traits dus à la présence d'une nappe phréatique

Le séjour d'une nappe, le plus souvent sous-alluviale, à la base des profils sableux modifie profondément l'aspect de ces derniers dans la seule zone humectée où l'on distingue :

- dans la nappe, une zone blanche très pauvre en plasma minéral et à structure fréquemment particulière.

- immédiatement au-dessus, dans la frange capillaire, dans la zone de battement, un horizon jaune ou à taches jaunes où peut se former un concrétionnement original, à ciments ferrugineux, localement manganésifère ou siliceux. A son maximum de développement il montre, sur quelques décimètres :

- . au sommet des tubes, souvent manganésifères, à croissance apicale ascendante (a)
- . dans la partie médiane des tubes coalescents en un faciès spongieux (b)
- . en profondeur des volumes nodulaires purement ferrugineux très compacts et durs (c).

Parmi les variantes les plus courantes nous citerons :

- . quelques tubes et concrétions noirs à halo glebulaire jaune où de petites nappes très temporaires formées au contact d'un substrat peu perméable ne provoquent qu'un faible concrétionnement (a)
- . des formes pyramidales ou stalagniformes à expansions latérales foliacées, en ailettes, à croissance également apicale (a + b)
- . des dalles de grès ferrugineux, observées dans des zones d'émergence de nappes de grande étendue (c).

La microstructure de ces divers nodules est invariablement porphyrosquelettique. Leur formation est

parfaitement compatible avec une morphologie des horizons supérieurs identique à celle qu'ils auraient en site bien drainé. On connaît par exemple des sols à horizon B uniformément rouge possédant un fort concrétionnement de nappe à moins d'un mètre de profondeur.

Des horizons profonds calciques et saturés, ou à accumulations discrètes de carbonate de calcium, amas ou pseudomycelium, sont attribués également à l'évaporation de nappes du fait de leur association constante avec des ségrégations et concentrations ferrugineuses. On les observe où l'évolution pédologique du modelé fossilisé est à même de libérer du calcium (glacis nus sur grès arkosiques, granites, roches basiques) ou encore dans les vallées et dépressions. Ces concentrations peuvent également s'accommoder de morphologies de sols bien drainés dans les horizons supérieurs. Une forme extrême est représentée par les grès calcaires, associés à des travertins, formés dans un remblai sableux à sols rouges situé à la base des versants sur marno-calcaires de l'Ader Douchi.

1.22123 Traits résultant de l'évolution d'agrégats

A l'exception des plus sableux ces sols ont tendance à posséder dans les horizons B des volumes polyédriques plus compacts et cohérents que la masse, décrits comme "noyaux durcis". Ils peuvent se ferritiser et évoluer en taches ou concrétions rouges (nodules au sens micromorphologique). Ce concrétionnement identique, à l'intensité près, à celui des sols ferrugineux lessivés, est le fruit de l'évolution propre des horizons B. Il s'observe surtout dans les sables argileux méridionaux.

1.2213 Les toposéquences

Bien que, sur ces matériaux et ces modelés, les possibilités de circulation latérale de l'eau du sol soient théoriquement évidentes et que des exemples en soient connus (AUDRY, 1962) il est exceptionnel qu'on puisse mesurer leurs effets dans les suites de sols que pour cette raison nous interprétons comme toposéquence dans le cas général, réservant le nom de chaîne à quelques ensembles bien déterminés. Cette opinion est appuyée par le fait que les divers termes de ces successions peuvent s'étendre à la totalité d'un paysage ce qui indique qu'ils dépendent moins de leur position relative dans un ensemble de sols que du drainage local. Par exemple, sur les dunes de la dépression de Dosso, qui a près de 60 km de diamètre, les profils à horizon B de teinte 7,5 YR dominant très largement, alors qu'ils sont ordinairement situés en bas de pente (GAVAUD, 1965, p. 291

Des sites sommitaux aux points bas, les sols se modifient partout de la même façon, par assombrissement progressif du profil :

- les horizons A passent des teintes 7,5 YR aux teintes 10 YR

- les horizons B passent des teintes 2,5 YR aux teintes 5 puis 7,5 YR,

en même temps que raies, bandes, concrétions, accumulations calcaires se font plus abondantes en bas de pente où peut se manifester également un certain durcissement à l'état sec des horizons B ou BC, parfois une légère augmentation des taux d'argile et sesquioxydes de fer. L'organisation générale, la succession des horizons sont conservées avec fidélité tant que n'interviennent pas les processus d'accumulation discontinue ou d'hydromorphie. L'atténuation des contrastes de couleur donne un aspect de "sols bruns" aux termes inférieurs qui conservent néanmoins les principales caractéristiques des sols mieux drainés, plus colorés, dont l'organisation A.1-A.2-B-C. S'ils peuvent être effectivement plus organiques, c'est dans une mesure tellement faible qu'il est douteux pour ne pas dire impossible que le brunissement soit dû à autre chose qu'à un changement d'état du plasma minéral. La classification de ces sols, tenus pour bruns subarides au nord, pour hydromorphes au sud, ne pourra être précisée qu'après une étude détaillée. Provisoirement nous les désignerons comme sols à faciès bruni.

Les toposéquences à sols ferrugineux lessivés et sols hydromorphes acides (cf. p.262) sont celles qui ressemblent le plus aux suites de sols sableux. Notre inventaire minéralogique n'est pas suffisant pour décider dans quelle mesure les toposéquences à termes carbonatés ou saturés en profondeur peuvent être assimilées à celles où cette accumulation s'accompagne d'un changement du type d'argile, telles les chaînes sols ferrugineux - sols halomorphes - sols vertiques sur granites ou grès arkosiques. La morphologie ne peut y suppléer, car il est vraisemblable que la nature des argiles ne puisse s'y manifester : les sols rouges psammiques d'Angola, déjà cités, ne diffèrent pas entre eux bien qu'ils renferment des mélanges d'argile très différents : illite et chlorite, ou kaolinite et montmorillonite. Comme les dépôts calcaires sont moins liés à une morphologie et à des propriétés analytiques spécifiques qu'à certains facteurs externes, nous supposons qu'ils se superposent à une pédogenèse de sols acides et lessivés, sans la modifier en dehors de la zone affectée par la nappe.

1.222 Constitution minéralogique

Dans tous les échantillons analysés le plasma s'est révélé un mélange de kaolinite, de goethite, avec des traces d'illite. Dans le squelette, outre le quartz, existent de faibles quantités de minéraux plus altérables hérités du substrat sous-jacent : feldspath, micas, oolithes ferrugineuses. Ils sont plus abondants sur les dunes basses que sur les dunes hautes et sont une origine possible du plasma minéral par altération en place.

1.223 Propriétés analytiques

1.2231 La matière organique
.....

Les taux de matière organique et les C/N sont faibles et décroissent régulièrement dans les profils. Les courbes de répartition des taux selon la profondeur sont d'allure semblable et ne présentent qu'exceptionnellement des points anguleux (cf. Annexe 2). Elles ne permettent pas de définir sans arbitraire une limite inférieure de l'accumulation organique, soit qu'elle soit indéterminable (formes linéaires) soit qu'elle n'ait pas de réalité physique en dehors du système de mesures et de représentation graphique (formes non linéaires). Les horizons A ne peuvent donc être définis que morphologiquement. Leur individualisation ne résulte pas de la seule accumulation de carbone organique, mais d'un ensemble de caractères. Il est également important de remarquer qu'il n'existe pas de répartition de type isohumique au sens strict et que celles qui s'en approchent doivent cet aspect au seul système de représentation graphique.

Les taux décroissent continûment vers le nord parallèlement à la pluviosité selon un gradient très faible de 0,03% pour 100 mm. Sur le tableau 83, résumant les taux des horizons A₁ (0-10 cm) de 449 profils, on notera leur dispersion élevée, leur croissance des sables aux sables argileux, la faible supériorité des sols vierges. Ces médiocres valeurs, leur faible sensibilité aux facteurs favorisant l'accumulation, pluviosité et couvert végétal, traduisent un rapport défavorable, d'origine thermique entre la synthèse organique et la minéralisation, aggravée vers le nord par l'aridité croissante (BOCQUIER et GAVAUD, 1964, pp. 71-72). Les C/N, peu élevés, sont encore moins sensibles au gradient pluviométrique. Il n'y

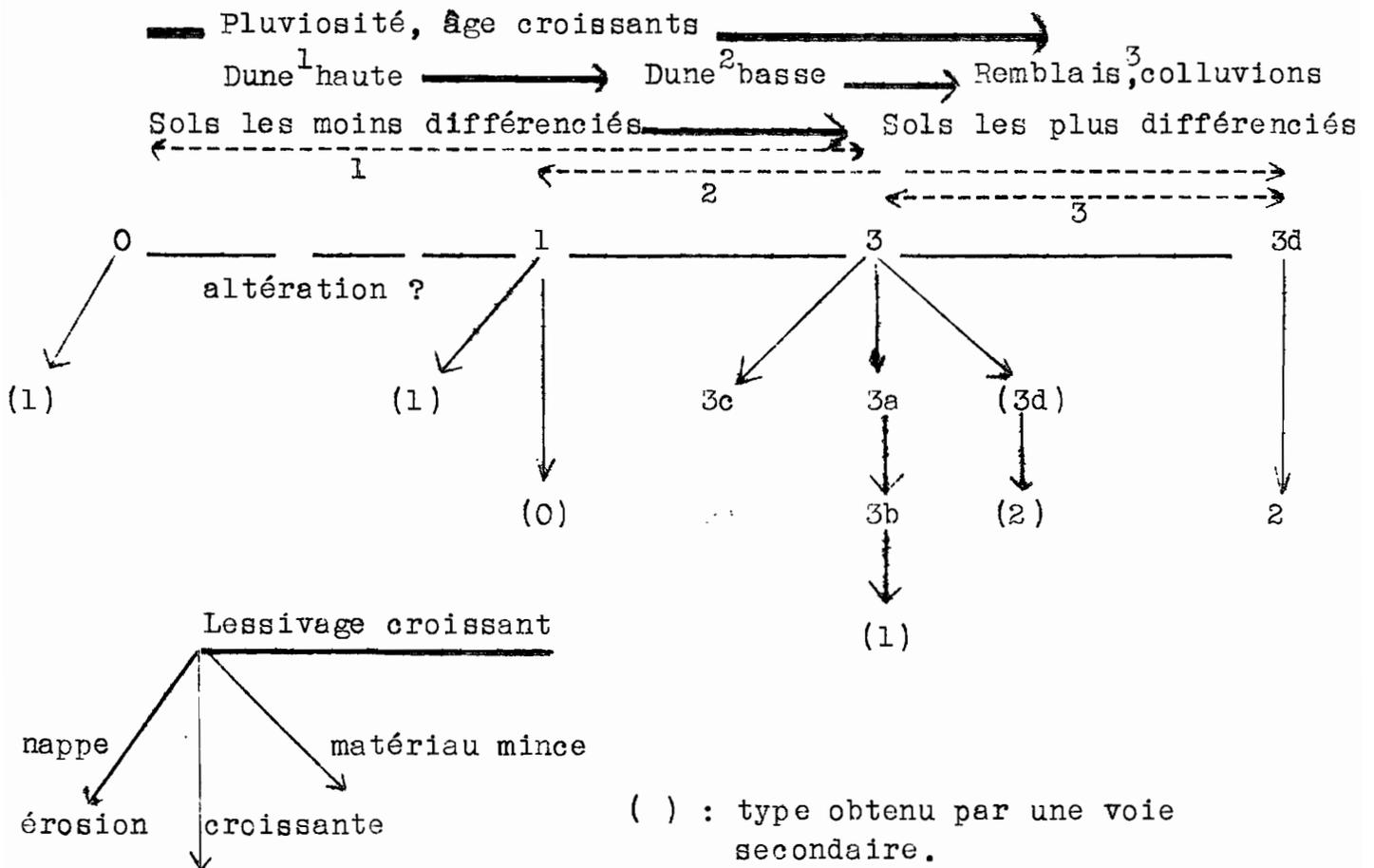
a de différences significatives qu'aux deux extrémités de la distribution, sur sables et sables argileux.

Quelques analyses de fractions humiques ont été faites sur des sols à différenciation structurale faible ou moyenne (C. THOMANN, 1964). Elles situent les sols sableux entre les sols ferrugineux lessivés et les sols bruns tirsifiés dans une série qui va des sols faiblement ferrallitiques aux vertisols par accroissement du taux d'humidification, des proportions d'acides humiques polymérisés, par réduction des proportions d'acides fulviques. Dans les termes les mieux drainés, ferrugineux peu lessivés ou brun-rouge, les acides fulviques formés en surface s'accumulent relativement dans les horizons B ainsi que les acides humiques polymérisés liés à l'argile par Fe^{3+} , répartition conforme à une migration associée de l'ensemble du plasma dans le profil. L'ensemble des sols de teintes brunes ou brunies et/ou des sols à drainage interne limité (à base jaunie, concrétionnée) diffère par la diminution des taux d'acides fulviques au-delà des premiers centimètres superficiels et par l'accumulation relative des acides humiques gris (cf. Annexe VI) en profondeur. Parmi ces derniers les formes liées à l'argile par Ca^{2+} dominant sur les formes liées par Fe^{3+} ; elles sont exclusives dans les sols bruns calcaires de l'Ader Douchi. La couleur brune paraît donc correspondre à des matières organiques qualitativement semblables, mais ce "brunissement" paraît obtenu par des mécanismes variés. Dans les profils AC des sols bruns calcaires et des sols bruns juvéniles de la terrasse de Sayam, l'absence de formes "libres" paraît correspondre effectivement à l'absence de migrations et à une polymérisation in situ. Cela est invraisemblable dans les profils ABC, à raies, des interdunes de la région de Zinder, soit que les formes polymérisées puissent migrer, soit que les formes libres disparaissent très rapidement des horizons profonds après illuviation. Le corollaire est que la matière organique n'est pas nécessairement un facteur déterminant de la pédogenèse mais peut aussi bien dépendre de cette dernière. Ajoutons que la matière organique des sols brun-rouge est très proche de celle des sols ferrugineux peu lessivés. Les coefficients d'humification et la répartition des différentes fractions humiques sont voisins et s'opposent d'une part à ceux des sols ferrugineux lessivés, d'autre part à ceux des sols à argile gonflante (THOMANN, 1963).

Bien que le fer soit essentiellement sous forme de sesquioxydes, la fraction sensée les mesurer, dite "libre", est inférieure de 10 à 50% au fer "total". Le rapport "fer libre/fer total" varie régulièrement et en général assez peu entre horizons, davantage et avec plus d'irrégularité entre profils de telle sorte que cette double détermination n'apporte pas plus de renseignements qu'une seule dans le premier cas et fournit des informations à peine exploitables dans le second. La raison en serait (SECALEN, 1968) que la mesure du fer libre dépend à la fois de détails de la technique d'analyse, de la nature minéralogique et de la cristallinité des sesquioxydes. Dans les sols sableux, on tiendra les deux données pour deux mesures différentes du même constituant, à variations relatives contingentes. Les courbes de répartition selon la profondeur de l'argile et du fer ont les mêmes formes qui peuvent être identiquement définies (cf. Annexe 3). Chaque type caractérise un ou plusieurs grand ensemble biogécocénotique mais tous peuvent s'observer simultanément dans des unités aussi homogènes que des séries, cela parce que le lessivage et les processus convergents varient sous l'effet de facteurs à répartition géographique étendue (âge, type de matériau) ou purement locale (épaisseur, érosion, présence d'une nappe). Les répartitions verticales sont donc indépendantes, dans une certaine mesure, de la morphologie. Celles qui sont attribuées habituellement aux sols lessivés (à "ventre") sont partout les plus fréquentes, sauf aux deux extrêmes texturaux. Même dans leur type normal (3a) l'excès de fraction mobile de l'horizon B est supérieur au déficit par rapport au matériau de l'horizon A, ou bien ce dernier est plus riche que l'horizon C (répartition atypique 3b) de telle sorte que l'hypothèse classique du lessivage vertical dans un matériau homogène ne suffit pas à rendre compte des répartitions les plus simples. L'érosion superficielle le plus souvent, les migrations obliques quelquefois, sont les causes les plus admises de ces anomalies. L'existence de sols non lessivés est vraisemblable dans les sols les plus sableux, les moins différenciés, sans être certaine du fait des difficultés de mesure de très petits taux. Les répartitions homogènes (0) ou enrichies (I) y sont aussi communes que les répartitions de sols lessivés. A l'autre extrémité de l'éventail de différenciation les sols les plus méridionaux, les plus argileux, voient croître leur taux en profondeur au-delà de

l'horizon B structural (3d). Une répartition similaire existe où le solum coïncide avec la totalité du matériau; la sensibilité à l'érosion de ces profils relativement minces, compacts, y est responsable de sols paraissant uniquement appauvris dans leur horizon A (2) mais dont la parenté avec les sols lessivés est démontrée par l'identité des horizons B. Des héritages sédimentaires qui vont de la simple hétérogénéité à la superposition de phases, des actions de nappe (3c) contribuent à favoriser localement certaines répartitions. L'accumulation discontinue en raies ou en bandes ne modifie que la distribution du plasma par rapport au squelette mais non son type de répartition verticale, le plus souvent lessivé (3a, b, d).

Le schéma ci-dessous explicite les relations qui doivent exister entre les diverses répartitions d'après les hypothèses faites quant à la nature des mécanismes pédogénétiques. Il est en harmonie avec celui qui unit les ensembles biogécénotiques.



Les courbes relatives aux sesquioxydes et à l'argile sont du même type parce que grossièrement parallèles dans la plupart des profils. Lorsqu'elles diffèrent, les premières indiquent toujours un lessivage plus important soit que le "ventre" leur soit propre, soit qu'il se situe plus profondément, cela pour deux raisons, l'une que les dosages du fer sont plus précis que ceux de l'argile, l'autre que les sesquioxydes migrent plus que l'argile dans les sols ferrugineux à la base desquels ils tendent à s'accumuler. Que ce décalage ne soit pas dû uniquement aux analyses est démontré par le fait que dans la même famille c'est dans les sols sahéliens à faciès de brun-rouge qu'il se produit le plus souvent. Cette observation explique qu'on ait opposé dans la classification des "Sols Ferrugineux Lessivés en fer et argile" à des "Sols Ferrugineux Non ou Peu Lessivés en fer" et qu'on tienne ordinairement les sols sahéliens brun-rouge pour des sols non lessivés. La réalité nigérienne est plus nuancée :

	Sols non lessivés en fer et argile	Sols non lessivés en argile, lessivés en fer	Sols lessivés en fer et argile
F.1, sables très pauvres			
Dune haute			
sols à faciès brun-rouge	1	3	6
sols ferrugineux	1,4	0	8,6
Cuvette tchadienne			
sols à faciès brun-rouge	5,45	2,9	1,65
sols ferrugineux	2,5	2,5	5,0
F.2, sables			
Dune basse			
sols à faciès brun-rouge	0	2	8
sols ferrugineux	0,35	0	9,65
F.3, sables argileux			
Sols ferrugineux et brun-rouge	0	0	10
Fréquences sur 10; le type 2 est inclus dans les sols lessivés, les variations du fer et de l'argile y sont toujours parallèles.			

Les sols lessivés en fer mais non lessivés en argile sont une catégorie minoritaire dont la fréquence, plus élevée dans les familles les plus sableuses, croît des sols

méridionaux aux sols septentrionaux. Associés aux sols non lessivés, ils sont un indice d'évolution réduite par la pluviosité et/ou la constitution du matériau et probablement son âge. Théoriquement on peut concevoir que les mouvements les moins faciles, ceux de l'argile, s'arrêteront les premiers mais dans la nature, ce cas limite ne se réalise que dans un petit nombre de cas que l'amélioration de la précision des analyses diminuerait encore. Les sols les plus fréquents sont lessivés ou non lessivés en fer et argile. Les propriétés des sols nigériens diffèrent ainsi beaucoup, à cet égard, de celles que leur assignerait leur classification :

Sols sableux du Niger		
	Sud	Nord
Caractères communs avec le type théorique	morphologie et caractères analytiques autres que la répartition du fer et de l'argile	saturation de l'épipédon, type de matière organique, allure générale du profil
Classification théorique	sols non ou peu lessivés en fer	sols brun-rouge, non lessivés en principe
Classification réelle fondée sur la répartition du plasma	sols lessivés en fer et en argile; 50% de sols non lessivés et des sols seulement lessivés en fer dans la cuvette tchadienne	cuvette tchadienne: sols non lessivés ou peu lessivés en fer. dune haute: sols lessivés et sols lessivés seulement en fer. autres sites: sols lessivés.

1.2233

Limites texturales de la fraction mobile

La fraction mobile peut dépasser les dimensions colloïdales parce que la macroporosité élevée des sols sableux y rend possible l'entraînement mécanique de particules limoneuses. Sur le tableau ci-joint on verra un exemple de recherche de la limite séparant les fractions stables (répartition 0 ou aléatoire) des fractions mobiles (répartitions 1, 2, 3) faite en rapportant les taux des quatre classes texturales les plus petites (argile, limon fin, limon grossier, sable fin) à la somme des deux plus grossières (sable fin + sable grossier). Il est rare que cette limite s'établisse à 2 μ (NI 27) ou 50 (NI 54). Le plus souvent elle est de 20 (NI 11, NJ 18) le solum étant enrichi en limon fin ou, moins souvent, montrant un horizon d'accumulation limoneux. Les sables

fins sont stables ou se répartissent selon des règles sédimentologiques exposées dans l'annexe IV. Nous n'avons pas analysé en détail la répartition des limons fins dont les taux très petits sont à la fois difficiles à mesurer et sans effets apparents sur l'organisation morphologique.

1.2234 pH et bases
.....

Le pH et le taux de saturation de l'horizon A croissent lorsque la pluviosité diminue. Cette variation est fort nette pour le même ensemble biogéocénotique et le même substrat géologique. Les pH les plus élevés sont atteints par les sols les moins différenciés, les plus sableux d'une part, sur les glacis nus du socle, des grès arkosiques d'autre part. Les pH les plus bas sont ceux de la couverture des grès kaoliniques, à sols autochtones fort acides comme nous l'avons vu. Le gradient moyen est de l'ordre de 0,39 pH/100 mm de pluie pour les sols les plus sableux, de 0,23 pH/100 mm pour les sols les plus acides sur grès du Continental Terminal. La régression étant légèrement curvilinéaire, les gradients réels sont un peu plus élevés pour les faibles pluviosités. Le pH 7 est atteint lorsque la pluviosité s'abaisse au-dessous de 350 à 410 mm, selon la famille. Les coefficients de saturation varient de façon à-peu-près parallèle, la valeur 100 étant cependant atteinte pour des valeurs du pH légèrement inférieures à 7. Par exemple la régression linéaire existant entre l'ensemble des valeurs minima est :

$$\text{pH} = 0,072 V + 0,7$$

Ces lois de variation n'apparaissent que dans les populations nombreuses (ici 455 prélèvements) du fait d'une très forte dispersibilité dont les causes ne sont que quelquefois bien comprises : acidification en bas de pente, alcalinisation dans la cuvette tchadienne ou dans les Dallols par l'effet de sels phréatiques ou atmosphériques (BOCQUIER et GAVAUD, 1964, pp. 45 et 251) alcalinisation par des cendres de feux de brousse (remblais méridionaux).

Le pH des horizons B est généralement acide, dans une mesure qui dépend encore du substrat géologique. Celui des horizons profonds est sous la dépendance des actions de nappe, de manifestations biologiques au contact des niveaux peu perméables fossilisés. Si le drainage est libre, il est acide; s'il est limité, il peut être neutre ou légèrement alcalin.

La répartition des bases échangeables est régie par deux mécanismes antagonistes :

- la végétation concentre en surface les cations qui lui sont indispensables : Ca, Mg, K, augmentant ainsi la somme des bases échangeables, le pH et le coefficient de saturation. Cet effet est d'autant plus sensible que tous les prélèvements ont été effectués en saison sèche.

- la capacité d'échange augmente au contraire vers la profondeur du fait du lessivage de l'argile.

Si le matériau est lui-même désaturé, le premier mécanisme est prédominant et le taux maximum des bases est dans l'horizon A.l. S'il est plus riche, c'est le second et le maximum est dans l'horizon B textural (GAVAUE, 1965, pp. 282 et 300).

La répartition des cations est un reflet de celle des sols autochtones anciens. La carence calcique des sols ferrugineux lessivés du Continental Terminal (Ct 2-3) se retrouve dans la couverture sableuse locale. La végétation corrige encore, superficiellement, les déséquilibres qui lui sont préjudiciables, surtout en ce qui concerne K et Ca.

1.2235

Propriétés physiques

Les analyses de structure ne donnent ordinairement rien dans ces sols auxquels elles sont mal adaptées; seule une légère agrégation est perceptible dans les horizons B des types les moins sableux. Les réserves hydriques sont une fonction de la texture :

20 à 30 mm/m à PF 3 et 30 à 38 mm/m à PF 2,5
sur les dunes hautes

45 à 60 mm/m à PF 3 et 50 à 70 mm/m à PF 2,5
sur les dunes basses

95 à 150 mm/m à PF 3 sur les remblais et colluvions. Environ 45% en sont utilisables par la végétation. Dans les sols les plus sableux, ces tranches d'eau sont minimes mais réparties sur une plus grande épaisseur, pour une pluviosité donnée, et plus faciles à reconstituer du fait de la perméabilité superficielle qui réduit le ruissellement. Ces propriétés influencent leur végétation où prédominent des graminées vivaces, à l'exclusion partielle des graminées annuelles, à enracinement moins profond, et des essences ligneuses à développement

végétatif trop important. L'utilisation en est également dépendante. Lorsque la pluviosité est suffisante pour assurer des récoltes normales sur la plupart des sols, les plus légers sont délaissés, s'il n'existe pas de nappe phréatique parce que leurs réserves en eau sont trop petites par rapport aux consommations d'eau correspondant à des rendements acceptables (90 à 120 mm). Si la pluviosité est plus faible, de l'ordre de 350 mm, ces mêmes sols pourront être cultivés parce qu'ils seront les seuls à reconstituer des réserves en profondeur; on s'accommodera, faute de mieux, de leur faible productivité.

1.224 Régime et bilan hydriques

Les rares études de cette nature faites en Afrique de l'ouest portent pour la plupart sur des sols sableux, économiquement importants et organisés de façon relativement simple. Le calcul des bilans annuels repose sur des égalités de la forme :

$$P + A = ETR + dS1 + dS2 + D$$

P = pluviosité

A = somme algébrique des précipitations occultes, du ruissellement, de l'écoulement endogé, des apports phréatiques, etc ...

ETR = évapotranspiration réelle

dS = variation des réserves en eau de la tranche de sol, d'épaisseur égale au minimum à celle qui est sujette à l'évapotranspiration, une partie étant accessible aux mesures (**dS1**) et l'autre pouvant y échapper (**dS2**).

D = drainage, eau échappant à l'évapotranspiration au moins pour la durée du bilan et alimentant éventuellement une nappe.

Dans les cases lysimétriques, le sol est isolé de la topographie; **A** est donc conventionnel, nul ou égal au débordement. La profondeur, de l'ordre de deux mètres, a le double défaut d'être fixe et inférieure à celle où s'exerce le dessèchement dans la plupart des cas. Le "drainage à deux mètres", **d**, est une grandeur définie au mieux par :

$$P = ETR + dS_1 + d$$

Ces simplifications ont le plus de chances de se réaliser dans la nature parmi les sols sableux. La somme A peut effectivement s'annuler sur des topographies très planes sans nappe en profondeur. De telles conditions paraissent réunies pour les ensablements de plateaux gréseux à sols rubéfiés sans concrétions en profondeur, tels ceux qui portent la Série de Bandé au Niger est. La profondeur de deux mètres réunit l'essentiel du solum.

Ci-dessous nous résumons des mesures de d faites au Sénégal par BONFILS, CHARREAU, MARA (1962) :

- Sol ferrugineux tropical peu lessivé
- Humidité à PF 3 sur 2 m : 122 mm
- Sous culture de mil et d'arachide
- Texture intermédiaire entre celles de nos familles 1 et 2; réserves hydriques plus élevées qu'au Niger en regard du taux d'argile; profil peu coloré à horizon B 7,5 YR, suggérant un drainage "naturel" ralenti conforme à une topographie en plaine ondulée; équivalent possible au Niger dans la ceinture sur grès entourant le bassin de la Korama, dans les plaines au sud de Tessaoua.

Années	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
Pluviosité (mm)	697	694	603	645	867	466	777
"Drainage" d (mm)	189	153	75	82	275	14	206

En admettant que la régression (Drainage, Pluviosité) est indépendante du site et du temps, c'est-à-dire en négligeant les différences microclimatiques au sein de la zone sahélo-soudanaise et la variation interannuelle de dS, on peut extrapoler ces résultats au Niger et admettre que dans les sols les plus sableux, sous culture ou couvert de graminées, le drainage à deux mètres varie de 0 à 280 mm lorsque la pluviosité varie de 470 à 875 mm. La formule de TURC (1961) ajustée sur ces résultats annule le drainage à deux mètres en sol nu pour une pluviosité de 360 mm. La probabilité pour que la base (BC) d'un sol évolué soit atteinte est ainsi deux

fois plus faible en pleine zone sahélienne (Tahoua) qu'à sa limite méridionale (Tillabery) :

	Tahoua:385 1923-1962	Tillabery:481 1926-1949
Fréquence des pluies dépassant 470mm	23%	50
Fréquence des pluies dépassant 360mm	58	90

ce qui ne paraît correspondre nullement aux minimales différences pédologiques décelables entre ces deux points.

AUDRY (1967) a pris comme base de ses calculs les profils hydriques de sols in situ du delta central du Chari (République du Tchad) sur un site sans ruissellement :

- Sol ferrugineux tropical peu lessivé "développé ... sur d'anciens profils lessivés tronqués".
- Humidité à PF 3 sur 2,1 m : 276 mm (sous savane) et 303 mm (sous cultures : mil, arachide).
- Sous "savane" à Sclerocarya et strate prairiale et sous cultures.
- Le profil, notamment celui des textures, est analogue dans nos sols de la famille 3 méridionaux, faisant transition vers les sols ferrugineux lessivés (5% d'argile en A, épais de 50 cm et 15% en B, vers 150 cm). Il est toutefois situé à 590 mm de pluies, soit à plus de 200 mm de moins qu'au Niger.

	Pluviosité	ETR	Profondeur mouillée	dS ou dSl	Drainage à plus de 210 cm
Sous savane					
1964	645 mm	645	200 cm	0	0
1965	453	453	110	0	0
Sous culture					
1964	645	560	plus de 210	37	48 (1)
1965	453	474	180	-21	0
(1) dont 25 mm attribuables à des remontées capillaires					

Il en a tiré une conclusion très importante parce que confirmée par une étude similaire sur sols faiblement ferrallitiques et par son apparence de généralité : il n'existe pas de possibilité de drainage vertical à grande profondeur sous la végétation naturelle dont le développement s'adapte strictement aux réserves en eau du

sol. Les possibilités d'alimentation des nappes en dehors des aires cultivées proviennent surtout du ruissellement et des circulations latérales. On remarquera que selon toute vraisemblance, le drainage sous cultures est plus faible qu'à Bamby dont la pluviométrie paraît légèrement plus forte, le climat plus continental et la répartition des réserves plus superficielle défavorisant le sol tchadien.

La même étude s'est étendue au régime hydrique :

- lois du ressuyage : elles sont une application vérifiée par des essais d'irrigation de la théorie de FEODOROFF (1965) sur l'infiltration en sol sec. La mobilité de l'eau croissant avec la taille des pores, la vitesse de percolation est une fonction croissante de l'humidité totale. Entre la saturation (h_s) et une certaine "humidité minimum d'infiltration" (h_{mi}) l'eau percole très rapidement sous l'action de la gravité et de la pression hydrostatique. Ensuite l'effet de ces forces diminue relativement à la succion exercée par les couches plus sèches sous-jacentes jusqu'à ce que soit atteinte l'humidité de rétention (h_r) pour laquelle il s'annule pratiquement. Le ressuyage devient négligeable lorsque la succion est son seul moteur, au-dessous de l'humidité de rétention.
- Dessèchement : il est produit par l'évaporation directe en surface, par l'évapotranspiration dans la zone atteinte par les racines (0-100 cm) et par des remontées capillaires. Les PF de dessèchement "ultimes" décroissent donc de la surface (hygroscopicité de l'air) vers la profondeur (succion radiculaire) et sont toujours supérieurs à la valeur standard du point de flétrissement, 4,2.
- Propriétés physiques intervenant fortement dans le régime hydrique : l'épipédon est plus grossièrement et plus fortement poreux que les horizons B; h_s atteint respectivement 45 et 38% en volume et la différence $h_s - h_{mi}$ 19 et 9%. La perméabilité verticale in situ décroît de A (400 cm/h) en B où elle est près de s'annuler.
- Régime hydrique annuel : il comprend une phase de reconstitution des réserves

sans drainage, une phase éventuelle de drainage, une phase de dessèchement. Après chaque averse (moins de 50 mm) la période de percolation rapide, de l'ordre de une heure, s'étend aux six ou sept premiers décimètres au plus, soit essentiellement à l'épipédon. Le mouvement de l'eau est considérablement freiné au niveau des horizons B dont l'humidité n'excède Hr que rarement. Le régime de drainage lent gagne ensuite la totalité du profil, les horizons de surface étant eux-mêmes portés à l'humidité hr au bout de deux à trois jours en l'absence d'autre précipitation. Au cours de la saison des pluies, cette redistribution lente est responsable de la descente du front d'humectation et de l'établissement d'un "équilibre humide moyen apparent" caractérisé par un profil hydrique relativement stable dans le temps bien que, dépendant du régime des précipitations, il soit distinct du profil de ressuyage jusqu'aux valeurs hr. De fait ces dernières sont dépassées dans l'épipédon, au plus égalées dans les horizons profonds, ce qui correspond à un gradient de potentiel capillaire indiquant une chute de débit au niveau des horizons B même pendant la période de drainage lent. La dessiccation touche le premier décimètre dès la saison pluvieuse entre les averses; il est porté au PF 4,2 en cinq jours sous cultures, en 3 ou 8 jours sous "savane" selon qu'elle est en début ou en fin de végétation. Après les dernières pluies, la couche desséchée s'épaissit rapidement; elle n'a pas d'effet protecteur de croûte, de mulch. Sous végétation naturelle, un équilibre stable, ultime, de dessèchement s'étend aux 210 cm observés en moins de 45 jours. A moins de 80-100 cm, 30% de l'eau correspondant au PF 4,2 font défaut, ce qui suggère que la strate ligneuse est capable d'extraire de l'eau au-dessous du point de flétrissement standard. Sous cultures, ce dessèchement extrême affecte principalement l'épipédon, les horizons B conservant des traces d'humidité à un potentiel égal ou légèrement supérieur au PF 4,2, traces que la première jachère fera disparaître.

- Relations avec la pédogenèse : par l'effet de leur situation et de leur morphologie, les horizons A sont portés à des humidités supérieures à celles des horizons B, l'auteur parle d'un "engorgement de la partie supérieure sur les horizons d'accumulation moins perméables", et traversés par un flux plus rapide et important. Il remarque que les possibilités de lessivage doivent

être liées aux eaux percolant rapidement et que les eaux uniquement déplacées par succion sont davantage en état de déposer les éléments transportés ou dissous. Les fréquences des humidités correspondantes, hmi et hr, atteintes après chaque précipitation dans les divers horizons, estiment le potentiel de lessivage ou d'accumulation. Les calculs montrent que les vingt premiers centimètres, approximativement l'horizon A.1, sont le siège d'un "lessivage potentiel exclusif", c'est-à-dire que toutes les averses les portent au minimum à l'humidité hmi. L'indépendance de l'épaisseur de cette tranche en regard de la pluviosité de l'année et du couvert est attribuée à ce qu'elle dépend d'abord de la hauteur moyenne des précipitations individuelles, relativement peu dispersées. Le nombre de ces dernières accroîtrait plutôt l'intensité du lessivage. Après une zone de transition portée à une humidité supérieure ou égale à hmi selon la pluie, apparaît la couche la plus profonde à "phénomènes d'accumulation potentiels dominants". Sa limite inférieure est celle de l'humectation; sa limite supérieure se déplace selon la pluviosité et le couvert dans les horizons AB (année sèche, savane) ou B (année humide). Elle est abaissée par une pluviométrie excédentaire comme par une réduction d'évapotranspiration, l'une et l'autre "paraissant susceptibles d'approfondir les horizons lessivés". Cette éventualité est estimée toute théorique du fait de "l'imperméabilité des horizons d'accumulation"; l'auteur lui préfère "l'engorgement de la base des horizons lessivés" ou même un lessivage oblique, "en fonction de la différenciation actuelle et héritée de leur profil".

La circulation de l'eau est donc avant tout adaptée à la morphologie, c'est-à-dire qu'elle diffère peu ou pas de celle qui a engendré le profil : lessivant, peut-être réduisant l'horizon A et colmatant l'horizon B tout en lui laissant une porosité pour l'air suffisante pour son oxydation. La hauteur moyenne des averses, tout superficiellement, et la variation de porosité au contact A-B ont un rôle essentiel dans la distribution des vitesses. La démonstration n'est cependant pas faite que les traits majeurs soient dus à ce régime hydrique; il y a plus de certitude à lui attribuer les menues transformations du contact AB (porosité grossière autour d'agrégats polyédriques) encore que le mode d'approfondissement qu'elles indiquent ne soit pas nécessairement nouveau s'il est actuel. La sous-consommation due à la disparition de la strate vivace, ligneuse,

accroît considérablement l'eau disponible pour les entraînements. Bien qu'elle soit dans ce cas précieusement récupérée par la jachère, il est fort probable qu'elle puisse également échapper à l'évapotranspiration, car dans des situations comparables, on a relaté des relèvements du plan d'eau phréatique à la suite de déboisements (JONES, 1957).

Il n'existe pas d'études concernant les sols les moins différenciés, ceux des dunes hautes, ceux de la famille la plus sableuse en général. Il se peut qu'ils se comportent comme un matériel plus homogène, puisqu'ils sont moins différenciés en texture et en porosité. Certains, observés sur des crêtes, dont fort remaniés, ont la propriété de conserver une humidité appréciable (eau pelliculaire) en fin de saison sèche à des profondeurs modérées (85 cm en juin sous strate prairiale). Cela a été également observé à des profondeurs encore plus faibles (30 cm) sous les sables vifs de Tal. C'est donc vraisemblablement un effet de mulch attribuable à une microstructure particulière vraie spécialement lâche.

Finalement :

- la circulation de l'eau dans ces matériaux homogènes au départ a situé les futurs horizons A et B;
- elle s'adapte parfaitement aux profils actuels, maintenant ou accusant les conditions physiques propres à la genèse de chaque type d'horizon. L'épipédon est à la fois plus lavé et moins aéré pendant la saison des pluies. Le contact A-B possède la même propriété de freiner le mouvement de l'eau que dans les sols ferrugineux lessivés (cf. p.313) mais avec des effets morphologiques très limités. La dessiccation complète et profonde des sols des familles 3, 2 et nombreux sols de la famille 1 pourrait être également facilitée par leur évolution au niveau de la microstructure où le plasma peut être à la fois pelliculaire et continu.
- La fréquence avec laquelle la totalité du profil participe à ces mouvements hydriques décroît lorsque la pluviosité diminue sans jamais s'annuler dans la région étudiée, grâce à la variabilité inter-annuelle. Le fait que les horizons profonds des sols subarides ne paraissent pas affectés par cette mise hors circuit progressive est considéré comme un indice d'obsolescence. Le lavage du premier décimètre pourrait être assuré dans tous les cas.

- S'il est vrai que la végétation vivace épuise toutes les réserves d'eau, l'emprise de l'enracinement pourrait estimer la zone encore vivante des sols. L'étude de cette dernière montre qu'elle s'étend à la totalité du profil, sauf dans quelques sols brun-rouge de la famille 2.
- Les cultures économisent l'eau dont de plus grandes quantités sont disponibles pour le drainage ou le lessivage.

1.23

A f f i n i t é s p é d o l o g i q u e s

La convergence vers les sols ferrugineux lessivés rouges (cf. p. 316) s'explique d'abord par la texture, qui maintient la perméabilité nécessaire à cette évolution, ensuite par la similitude fréquente sinon constante des minéralogies. Cette convergence devient une identité lorsque les taux d'argile croissent. Dès 15% dans l'horizon B une structure polyédrique fine peut apparaître (ND 26); vers 20 à 25%, un début de ferritisation d'agrégats, des contrastes entre horizons plus nets, un horizon A2 mieux individualisé caractérisent des types de transition sur l'appartenance desquels on peut hésiter. Le choix ne peut qu'être conventionnel, empirique, s'il ne repose que sur les caractéristiques des termes bien drainés de la toposéquence; il est moins arbitraire s'il s'appuie sur l'ensemble de la suite de sols où le cuirassement n'apparaît jamais s'il est de nappe et du type spécial décrit ci-dessus, où l'accumulation du plasma peut être discontinue lorsque l'affinité avec les sols sableux "ferrugineux peu lessivés" est la plus grande.

La pédogenèse subaride n'y apparaît que comme une retouche de l'épipédon, se manifestant par la diminution des taux de matière organique dont la répartition verticale n'est pas modifiée, par la réduction du lessivage des bases recyclées par la végétation, par l'amenuisement des épaisseurs attribuable à une modification de l'équilibre entre l'érosion et la pédogenèse. Les faciès subarides brun-rouge correspondent aux termes bien drainés, les faciès subarides bruns aux termes brunis de bas de pente. En ce qui concerne ces derniers, la terminologie usuelle est une source de confusions, d'autant plus qu'il existe une troisième catégorie de sols de teintes brunes mais juvéniles et à profils A-C sur les

modélés sableux les plus récents. Aussi la résumons-nous ci-dessous :

Type de profil	Site	Couleur	Type d'épipédon	
A - B - C	haut	horizon B rouge	ferrugineux peu lessivé	subaride brun-rouge
	bas	horizon B bruni	ferrugineux peu lessivé, faciès bruni	subaride brun
A - C	quelconque	brune	peu évolué	subaride brun

Les sols subarides sableux diffèrent passablement au Niger du concept qui avait été déduit de l'examen de sols sahéliens du Sénégal, où les sols brun-rouge ont été définis comme des profils A - (B) - C composés d'un horizon humifère épais de plus de 50 cm, reposant sur un horizon de couleur à teinte rousse caractéristique, souvent structural, et à pH neutres à faiblement acides (MAGNIEN, 1959). Tenus pour des sols d'accumulation où le lessivage était exceptionnel, ils avaient été de ce fait classés parmi les sols isohumiques. Au Niger, ce sont plutôt des faciès de dégradation de sols méridionaux dus moins au changement des mécanismes pédogénétiques qu'à une modification quantitative de leur équilibre. Le lessivage de l'argile et du fer y est réduit relativement à l'érosion superficielle sans être supprimé, ce que l'étude des sols kaoliniques lessivés nous avait déjà montré. Le degré d'évolution de la matière organique augmente, mais parce que les conditions nécessaires à son accumulation sont moins favorables. Le lessivage des bases diminue mais dans la seule zone où elles sont libérées par la minéralisation. On peut concevoir que l'accentuation de ces modifications produise des profils originaux, spécifiques, mais cela n'a pas été observé au Niger.

La conséquence de ces transformations graduelles et médiocres est une extrême difficulté à concevoir et à définir les faciès subarides. A l'origine, ils n'étaient que les aspects morphologiques moyens des sols décrits sous une végétation sahélienne typique, par exemple à *Acacia raddiana* et *Schoenefeldia gracilis*. Leur limite méridionale a été établie directement sur le terrain, en associant empiriquement les caractères morphologiques et ceux du paysage. On a alors constaté qu'elle oscillait autour de l'isohyète 425 mm, à 50 mm près, coïncidant approximativement avec le zéro des drainages à deux mètres calculés

(exactement 470 mm pour les sables les plus pauvres en argile). Les paramètres définissant les épipédons des sols situés au nord de cette limite, validée par cette constatation, sont les suivants :

Couleur

Une valeur supérieure à 6 ne s'observe que dans les sols brun-rouge, alors qu'une intensité inférieure à 4,5 dans la planche 10 YR est caractéristique d'un sol ferrugineux.

Épaisseurs maxima

médianes en cm	A.1	A.1 + A.2
sables très pauvres en argile	16	31
sables	14	36
sables argileux	11	11 (1)

(1) Les sols brun-rouge de cette famille ne sont connus que très érodés. Rappelons que ces épaisseurs ne coïncident pas avec un point particulier des courbes de répartition de la matière organique.

Matière organique

valeurs moyennes maxima	taux (%)	C/N
sables	0,22 (+ ou - 0,12)	9,25 (+ ou - 3,4)
sables argileux	0,39 (+ ou - 0,28)	8,75 (+ ou - 3,3)

pH et saturation

valeurs médianes minima	pH	Saturation
sables de la cuvette tchadienne	6,75 (+ ou - 0,6)	80 (+ 20 et - 35)(1)
sables sur grès du Ct 3-2	6,0 (+ ou - 0,8)	75 (+25 et - 35)
autres ensembles	6,5 (+ ou - 0,6)	85 (+15 et - 30)

(1) Répartition dissymétrique

Les pluviosités correspondant au pH de 7 sont de 390 mm sur les sables de la cuvette tchadienne, de 350 mm sur les sables recouvrant les grès du Continental Terminal, de 400 à 420 mm sur les autres familles.

A cause de leur dispersion, les données quantitatives

établies a posteriori, ne peuvent être utilisées de façon économique pour définir des limites cartographiques. Si on voulait user des plus précis, les taux de matière organique, en se contentant d'une incertitude 50 km en latitude, il faudrait confronter des populations de 65 échantillons chacune pour atteindre le niveau médiocre de probabilité de 75%. Les données morphologiques sont également d'utilisation délicate, compliquée par les remaniements superficiels. Les sols les moins sableux ont tendance à être décapés et, leurs horizons rouges étant mis à jour, apparaissent comme des sols brun-rouge. Inversement la formation de nebkas sur certains ergs jeunes, fossilisant le profil sous des sables peu colorés parce que vannés, donne naissance à des pseudo-ferrugineux (GAVAUD, 1967 a). La comparaison des données pédologiques et physiographiques, une bonne expérience sont indispensables à une diagnose homogène des sols subarides sur matériaux sableux.

1.3 ASPECTS PHYSIQUES DE LA COUVERTURE SABLEUSE

Quelques caractères géomorphologiques et géographiques de grande extension sont associés à d'importants facteurs de pédogenèse. L'ampleur du modelé éolien est déterminé par la latitude et la pluviosité, par l'épaisseur de la couverture, par sa texture. La situation dans une cuvette, une vallée, ou sur les versants et glacis fixe les probabilités d'existence d'une nappe phréatique, est corrélée avec la texture. La nature minéralogique et le relief du substrat fossilisé influent sur le chimisme, la répartition et l'épaisseur moyenne des sables. La conséquence en est une corrélation généralement bonne entre les sols et les caractères physiques du paysage, dont il est utile de présenter les aspects les plus significatifs.

1.31 Les formes dunaires

Toutes les formes dunaires observées au Niger méridional sont actuellement fixées par la végétation à l'exception d'une partie du cordon de Tal occupée par les sables vifs et appartenant par ailleurs à un ensemble plus juvénile

étudié ci-après. Cette morphologie héritée est le résultat d'actions éoliennes anciennes correspondant à un climat aride dont on considère habituellement que celui qui existe plus au nord à moins de 100 mm de pluviosité est l'équivalent. La topographie en a été adoucie par l'action du climat actuel (Y. URVOY, 1933) et de climats humides plus anciens. Son usure apparente et son épaisseur sont les caractères les plus liés au degré d'évolution pédologique moyen qui, en règle générale, est d'autant plus élevé que la couverture est plus plane et mince. Des formes hautes à sols plus sableux et juvéniles s'opposent à des formes basses et/ou très émoussées à sols mieux différenciés.

1.311 Formes basses et/ou très émoussées

1.3111 Massifs d'ondulations réticulées
.....

Ce sont des juxtapositions de buttes surbaissées rondes ou elliptiques mamelonnant confusément le terrain. La concentration des espèces ligneuses en fourrés dans les points bas dessine un réseau à aspect d'écailles dont l'axe de symétrie est la direction longitudinale (1). Les grands traits de la topographie primitive se devinent sous la couverture dont l'épaisseur s'amincit localement sur des plaines sableuses longitudinales ou

(1) A un "vent efficace" (A.CLOS ARCEDUC, 1966) donné, parallèle à une direction moyenne de progression des sables, correspondent quatre axes géométriques de symétrie ou d'élongation possibles pour les formes dunaires isolées ou grégaires. L'axe longitudinal est parallèle au vent efficace, l'axe transversal lui est perpendiculaire; les deux axes de sillage sont inclinés symétriquement sur la direction longitudinale (de 15 à 35 degrés en Mauritanie, selon CLOS ARCEDUC, ibid.,). Un erg, une dune transversale ou longitudinale sont étirés selon l'axe correspondant. Les étirements parallèles au sillage sont ceux de diverticules (corne de barkhane, silk, elb) d'une masse principale. L'habitude a été prise de nommer erg transversal un erg longitudinal formé de dunes transversales, ce qui est une source de confusion quant à la direction du vent efficace.

s'annule en dévoilant le substrat. Cet ensablement à la fois mince et généralisé couvre d'énormes surfaces sur les bas glacis et plateaux gréseux, à-peu-près plats et très dégagés. Il perd de sa régularité sur les versants (Ct.3) ou sur les glacis du socle encombrés de buttes témoins. Son relief s'atténue en plaine vers le sud où le réseau dessiné par la végétation peut être la seule trace de l'ancien modelé dunaire (région de Boulkagou au Niger occidental, 600 mm).

Diamètre des dunes : 0,4 - 1 km.
 Hauteurs : 2 à 10 m, mode de 3 m.
 Pentas : 1 à 7%, mode de 3%.
 Forme vive correspondante : aklé.

1.3112 Massifs ondulés longitudinaux

Discontinu, l'ensablement se fragmente en bandes longitudinales fortement étirées séparées par des panneaux libres de sable ou à ensablement plus mince et plan. Des deux limites l'une est onduleuse, l'autre est rectilinéaire et se relève en cordon soit vers le sud (cuvette tchadienne) soit vers le nord (Liptako). On donne également le nom de cordon aux massifs les plus étroits, dont la largeur est de l'ordre du kilomètre, parce qu'ils paraissent se réduire à cette sorte de bourrelet. Leur crête, en position assymétrique, se subdivise en plusieurs sillons parallèles. Lorsqu'ils sont plus larges, des ondules transversales sont parfois encore visibles (sur grès du Ct.3, vers 400 mm) en région sahélienne, ou encore un mamelonnement réticulé confus (région de Ouanzerbé, près de Yatakala, 440 mm). Plus au sud, leur modelé superficiel est entièrement aplani. Ils paraissent caractériser les régions où la nature pétrographique du substrat limitait la fourniture en sables (argilites du Ct.2) où des reliefs, inselbergs, buttes témoins et plateaux en modifiaient la progression. Les cordons s'insinuant par des trouées du relief sont typiques du Damagaram; les massifs interminablement étirés sont un des éléments majeurs de la géographie du Liptako.

Longueurs, largeurs : 110 x 5-15 km (Liptako)
 11 x 1 km (région des plateaux Ct.3)
 70 x 1-5 km (région de Tirmini)
 Amplitude du modelé : 2 m
 superficiel
 épaisseurs : 4 à 15 m.

pentcs : 2% en moyenne sur le revers.
formes vives correspondantes : ergs de dunes trans-
versales, alab.

1.3113 Dunes isolées, rondes ou en bouclier
.....

Leur plan est circulaire ou elliptique, leur profil assymétrique avec des pentes ouest plus raides. Elles sont isolées, ou groupées en essaims de quelques unités, ou alignées en trains longitudinaux (sud-ouest du Damer-gou). Leur diamètre peut atteindre 1 km et leur hau-teur 40 m sur les bas glacis du Crétacé (nord de Zinder); leur élévation est réduite à 18 m au sud-ouest du Damer-gou, à 7 m au Niger central et occidental où elles pas-sent progressivement aux ondulations réticulées. Les pen-tes y sont de l'ordre de 4 à 7%. Les formes vives cor-respondantes seraient de grosses barkhanes ou des dunes en bouclier.

1.3114 Ensablements d'obstacles
.....

Les versants de plateaux, buttes, inselbergs, peuvent être revêtus d'un manteau sableux, surtout s'ils sont exposés à l'est. La pente de cette couverture, réguli-sée par le ruissellement, est celle du relief fossilisé, linéaire ou concave. Ces "jupes" sont d'anciennes dunes d'obstacle.

1.3115 Ensablements très aplanis
.....

Si la couverture sableuse est très mince, de moins de deux mètres environ, son relief superficiel se limite à celui de formes d'érosion mineures, éoliennes ou hy-driques. Le substrat affleure souvent si son profil est irrégulier (chaos granitiques). Lorsque la topogra- phie fossilisée est peu pentue, l'aspect est celui de plaines sableuses (glacis du bas modelé sur socle, sur alluvions anciennes de Maradi). Sur versants gréseux un fort ravinement contribue pour beaucoup à une ressem- blance avec un matériau autochtone, ressemblance que dé- ment la morphologie des sols. L'orientation longitudina- le est parfois perceptible par la disposition de la vé- gétation sur photographies aériennes. Cet ensablement réduit se localise dans des fenêtres des massifs ondu- lés ou longitudinaux ou bien remplace ces derniers dans les vallées abritées des vents d'est. Vers le sud, il se

substituée à toute autre forme, dunes d'obstacles exceptées, en même temps que sa texture s'alourdit et que des traces de remaniements hydriques s'y multiplient.

Les voiles sableux, décimétriques, sont les témoins les plus dégradés de la couverture sableuse; ils correspondent soit à d'anciennes aspersions éoliennes, soit à des restes de dépôts plus épais érodés, soit à des épanchages de produits de ruissellement. Leur importance économique peut être localement très grande.

1.312 Formes hautes moins émoussées

1.3121 Massifs longitudinaux de rides transversales

.....
Ils sont caractérisés par :

- une succession régulière de grandes rides transversales, flexueuses, d'égale hauteur; leur sommet, aplani, est tangent à la même surface plane; leurs versants sont ordinairement asymétriques.
- Une grande épaisseur.
- Des traces, le plus souvent inactuelles, d'écoulement dans les profonds sillons interdunaires : décrochements topographiques, dépôts lacustres ou palustres, sols hydromorphes.
- Une localisation dans des cuvettes, des vallées, ou immédiatement sur leur bordure.

Les massifs à rides transversales de Guidimouni et Gouré, prolongés au-delà du Koutous par le massif de Toufafiram, sont l'extrémité de l'erg du Manga (PIRARD, 1964) qui borde la cuvette tchadienne entre les cotes 400 et 420 m. Ses dépressions sont perpendiculaires à l'ancienne ligne de rivage; tout au sud, près de Guidimouni (450 mm) subsiste un écoulement d'émergence de nappe; partout ailleurs, des dépôts très fins inactuels et palustres sont visibles (limons, matière organique, diatomites). Ces ondulations se prolongent avec moins de netteté dans le bassin de la Korama où la nappe phréatique est partout proche de la surface.

Le massif de Yagadji est situé aux pieds du Damergou, en bordure du Goulbi N'Kaba le long duquel il se prolonge

par des trains d'ondulations. Le massif de Guezaoua est situé dans une dépression située en rive ouest du goulbi de même nom; des tourbes et des limons témoignent d'une période palustre dans les sillons, actuellement très secs. Les bords des goulbis du Niger central portent des ensembles de dunes transversales moins étendus. Les versants sud et ouest de la zone de confluence des vallées de l'Ader Douchi sont dissimulés par un ensablement puissant dont les dépressions, parallèles aux lignes à-peu-près méridiennes de grande pente, contiennent encore quelques sourcins. Plus à l'est les rides transversales sont remplacées par des cordons longitudinaux en même temps que leur direction passe du quart sud-ouest au quart nord-est.

	Bordure de la cuvette tchadienne	Autres massifs
Largeur du massif	50 km	5 à 12 km
Hauteur des rides	20 à 30 m	10 à 30 m
Épaisseur des sables	indéterminée	40 m (Ader)
Pentes	au plus 12%	5 à 12%

Ces anciens ergs "transversaux" sont probablement issus du remodelage éolien de puissantes séries fluviales.

1.3122

Les cordons longitudinaux

.....

Leur étirement est extrême; leur section est asymétrique, le front abrupt faisant face au nord à l'ouest du Niger, au sud à l'est. Isolés, ils frangent la limite linéaire de massifs ondulés longitudinaux ou reprennent la crête de cordons émoussés. Ils jalonnent la bordure ouest ou sud des Dallols et Goulbi, leur hauteur étant alors en rapport avec l'importance des sédiments sableux. Très importante près du Goulbi N'Kaba, sur la route Maradi Dakoro, elle se réduit à moins de deux mètres dans les petites vallées de la dépression de Dosso. Grégaires ils envahissent le versant occidental des grandes vallées méridiennes : Azaouak, Dallol Bosso, Niger. Leurs massifs, largement étalés le long de la rive ancienne, s'effilochent en longues digitations vers l'ouest jusqu'à une distance qui peut atteindre la centaine de kilomètres. Entre les cordons apparaissent des plaines à sols plus évolués ou des diverticules obliques et transversaux à sols analogues à ceux des cordons. Les traces hydriques sont plus discrètes que dans les massifs à rides transversales et se limitent à des sols hydromorphes sableux jalonnant d'anciens axes d'écoulement

sinuant d'une dépression interdumaire à l'autre. De par leur situation et leur substrat, ils n'ont jamais pu héberger de nappe phréatique étendue, comme les sables des ergs "transversaux".

Largeur d'un cordon	: 0,3 à 1,5 km
Longueur	1 à 100 km
hauteur	5 à 20 m; parfois moins de 2 m pour les cordons ripuaires
Epaisseur	10 à 20 m (Liptako)
Pentes	2 à 15%; mode vers 4% (revers)
Formes vives correspondantes	: alab, sloûk.

Ensemblements d'obstacles.

L'envahissement plus prononcé du relief fossilisé, leur ligne de pente convexe au sommet les distinguent des jupes sableuses à profil régularisé.

1.313 Corrélation entre formes topographiques et sols

La corrélation (p. 494) entre dunes émoussées et sols à amorce d'horizon B structural et entre dunes hautes et sols où seule varie la couleur, souffre une exception tenant à l'existence de sols intermédiaires ne possédant pas les structures des premiers mais à horizons plus distincts que les seconds. Ils ont été décrits à moins de 450 mm de pluies et principalement sur l'isohyète 350, les uns sur un massif longitudinal réticulé en rive sud du Gorouol, les autres sur des dunes rondes du Niger occidental et central. L'aspect de surface, le type d'érosion, la végétation sont également intermédiaires. Ils seraient des types texturaux plus légers des sols plus différenciés des mêmes sites. Les ensembles F.1, F.2, F.3 (p.506) ne sont donc pas exactement des familles mais des groupements de sols possédant le même niveau moyen de différenciation coïncidant le plus souvent avec la même texture.

1.314 Disposition générale

La position par rapport aux reliefs, aux sources des sables des aires préservées ou au contraire les plus couvertes, situe à l'ouest le sens moyen de propagation. La direction longitudinale est sud ouest (258 à 284 grades par rapport au nord géographique) en bordure de la cuvette tchadienne et au nord de l'isohyète 400 mm. Elle est ouest (276 à 320 grades) partout ailleurs. Cette variation

angulaire se fait par inflexion progressive aux basses latitudes (près de Tessaoua) par imbrication aux latitudes plus élevées ($14^{\circ} 30'$ au nord-est de Filingue). Au Niger oriental, la direction sud-ouest est commune à toutes les dunes. Au Niger occidental, elle n'appartient qu'aux massifs réticulés. Dans cette même région les cordons les plus élevés divergent de 15 grades vers le nord de la direction occidentale des formes émoussées et s'orientent vers le quart nord-ouest (310 à 340 g.). La direction des ciselures de corrosion éolienne sur grès ou cuirasses varie peu (294 à 305 g.) est fort proche de celle des formes émoussées locales (divergence de 3 à 7 grades en plus ou en moins dans 3 cas, de 13 grades dans un cas).

La variation aux basses latitudes est attribuée à un changement de direction du vent efficace dans l'espace parce qu'elle est extensive et continue. L'imbrication aux hautes latitudes de mêmes formes doit alors être attribuée à des fluctuations chronologiques mineures dans une zone de transition, conclusion que l'irrégularité actuelle des résultantes anémométriques rend admissible. L'ordre de grandeur des divergences du Niger occidental suggère un effet de sillage sur la direction principale qui serait celle des formes émoussées et des ciselures. Cette interprétation est imparfaite parce que la direction déviée symétrique ($- 15$ grades) n'existe pas, insuffisante parce qu'elle n'explique pas la coexistence de formes analogues à direction, usure et sols différents tels les cordons situés au nord de Tera. De notre point de vue, il est préférable d'admettre que les formes hautes occidentales sont postérieures aux formes émoussées qu'elles cloisonnent et dues à un vent efficace de direction légèrement différente. Comme il existe les mêmes cordons sur les bords de la cuvette tchadienne, il faudra également supposer que là, le second système de vents a eu le même effet que le premier, ce qui peut paraître arbitraire sans être absurde.

Les formes émoussées sont les plus étendues; elles descendent plus bas en latitude que les formes hautes et s'étendent aussi loin que ces dernières vers le nord, autant que l'érosion des marges péri-désertiques permet encore cette distinction (cf. infra). Elles peuvent être dissymétriques par rapport aux grandes vallées méridiennes, les versants exposés à l'est étant plus couverts, ou paraître les avoir franchies (le Niger près d'Ayorou). Les formes hautes sont d'extension plus septentrionales; elles sont incluses dans le

périmètre des précédentes ou situées dans des dépressions ou sur leurs bordures. Elles sont toujours dissymétriquement réparties par rapport aux vallées méridiennes, leur vis-à-vis étant soit une zone nue, soit une forme émoussée. Leur localisation est donc celle d'aires d'épandage ou de sites très fortement exposés au vent. Si elles sont dues à un épisode éolien plus tardif, ce dernier a été moins efficace, n'agissant qu'en des sites déterminés, exposés, des dunes plus anciennes, sur des matériaux fluviatiles très meubles, à des latitudes plus hautes, ce qui est cohérent.

Limites sud

Formes émoussées (dunes d'obstacles, plaines sableuses)

Sur Birrimien : 13° 2' (645 mm)
 Sur grès : 11°58' (860 mm)

Formes hautes (cordons)

Sur Birrimien : 13°40' (575 mm)
 Sur grès : 13°37' (575 mm)

1.315 Erosion

1.3151 Formes émoussées, pluviosité supérieure à 360 mm.

Elles subissent une érosion superficielle aréolaire mettant à nu les horizons B par petites plages, d'où l'aspect de "dune rouge". Le décapage est d'autant plus important que les cultures sont plus fréquentes, que la couverture est plus mince, que le substrat est moins perméable, que le site est plus proche d'un secteur de convergence des eaux, que la latitude est plus basse. La destruction anthropique peut s'étendre à de grandes surfaces même sur des pentes relativement faibles et longues; par exemple le massif longitudinal de Taka-Bangaré au sud de Tera, isolé sur les bas glacis improductifs granitiques et par là seul site cultivable à vingt kilomètres à la ronde, est presque entièrement déblayé près de la frontière voltaïque. Un autre cas remarquable est celui des massifs réticulés des plateaux de l'Ader Douchi. L'érosion va jusqu'au ravinement en bordure des thalwegs ou aux pieds des massifs. C'est ainsi que sont remis à jour les conglomérats fluviatiles du bassin du Gorouol, que les dunes d'obstacles du Damagaram arrivent à être isolées du volume rocheux par

un ravin périphérique. En dehors des aires décapées l'horizon superficiel est soumis à un brassage permanent : culture à la houe, piétinement du bétail, taroudage des fousseurs. Une couche particulière se forme, propice à de minimes reprises éoliennes de saison sèche (rebhou) (1).

1.3152

Formes hautes, pluviosité supérieure à 360 mm.
.....

La perméabilité élevée limite la plupart du temps le décapage hydrique au seul front raide où l'affleurement des horizons B produit une couleur luisante brun rosé. L'érosion éolienne consécutive à la destruction superficielle de la structure par l'homme et les animaux y est au contraire très active car ces sols sont les moins agrégés qui soient. L'activité extraordinaire des fousseurs y entretient un brassage perpétuel freinant l'évolution pédologique; le piétinement peut à lui seul pulvériser les sols sur plusieurs décimètres. Les horizons B étant incapables lors de leur mise en affleurement de stopper l'ameublissement, les vents déplacent de plus grandes quantités de sables sur des surfaces plus étendues selon diverses modalités : placages de sables vifs à ridules, bosselages accrochés aux touffes d'herbes, champs de nebka (2) étirées et hautes de 2 à 3 mètres, parfois associées à des cratères circulaires larges d'une centaine de mètres (bassin du Gorouol). Une forme curieuse est le bourrelet sommital associé au sapement des cordons par un cours d'eau : le flanc glisse, découvrant le matériau dont le vent peut immédiatement déplacer les sables particuliers et les remonter au sommet de la dune si l'exposition s'y prête; des exemples, actuels ou anciens, en ont été observés dans l'Ader Douchi et le bassin du Gorouol. Les sites les plus exposés à l'éolisation sont les crêtes d'une part, le voisinage des campements, pistes, points d'abreuvement d'autre part. Les crêtes ravivées, visibles de très loin grâce à leur teinte rougeâtre, sont un élément familier du paysage sahélien. Une charge excessive peut provoquer la mise à vif de tout un massif, créant des sahara miniatures tels les "déserts" d'Oussa, au nord du confluent

(1) rebhou : butte de sable décimétrique accrochée à une touffe d'herbe ou à un arbrisseau.

(2) nebka : butte de sable métrique due en principe à la seule dynamique éolienne.

du Gorouol et du Niger; de Toudouni dans l'Ader Douchi, toujours à proximité de points d'eau permanents. Des sols jeunes (profils AC) à des états divers de recolonisation par la végétation montrent que ces lieux exposés sont des points de faiblesse permanents pour l'érosion éolienne et que cette dernière se manifeste par crises successives séparées par des périodes de stabilisation. L'association de sols anthropiques à cendres, poteries, outillage lithique démontre la participation déjà ancienne de l'homme à ces vicissitudes destructrices dont une autre origine pourrait être les fluctuations de la pluviosité. A ces manifestations spectaculaires s'ajoute un remaniement généralisé de tous les horizons superficiels que décèle l'examen des profils.

1.3153 Pluviosité inférieure à 360 mm
.....

Les surfaces érodées croissent à proportion de la diminution du couvert végétal. Dès l'isohyète 360 mm, les mêmes causes qui dans le sud entraînaient la destruction de quelques hectares, provoquent la ruine de dizaines de kilomètres carrés. Ainsi la totalité des ondulations réticulées de Chinielga, à l'ouest de Tahoua, porte des sols modifiés par le décapage hydrique, à sommet de l'horizon B durci et horizon A très mince. Au nord d'Ayorou, l'occupation trop intensive du massif longitudinal d'Elewayen a fossilisé sous 70 cm de sables éoliens à débris anthropiques les restes tronqués des sols anciens, ce qui lui donne l'aspect superficiel d'une formation haute. Plus au nord l'érosion se généralise indépendamment de toute perturbation humaine ou accidentelle, d'abord sur les crêtes puis sur la totalité des formations dunaires. Elle associe des modalités hydriques et éoliennes. Les nebka et autres édifices construits par le vent en saison sèche sont formés de lits alternés, les uns plus grossiers et poreux correspondant aux périodes d'apport, les autres plus compacts et à grains plus denses correspondant aux périodes d'abrasion ou de stabilité. Dès la première pluie, un feutrage d'algues, de champignons filamenteux, s'étend de préférence dans les lits compacts, donnant une matière stratifiée noirâtre et quelque peu cartonneuse dès qu'elle se dessèche. Imperméable de par sa nature organique et sa structure, cette pellicule donne de remarquables surfaces de ruissellement qui alimentent de multiples ravineaux de profondeur décimétrique ou métrique s'achevant par de petits cônes d'épandage, plus nombreux aux pieds des pentes sous le vent, les plus raides. Ce mécanisme, observé sur le cordon de Tal (G.BOCQUIER, M.GAUAUD, 1964) et

décrit minutieusement en Mauritanie (S.DAVEAU, 1965) affecte toute une frange centrée sur les isohyètes 200 à 250 mm et séparant les sables vifs du désert des dunes mortes méridionales. Comme elle a varié en latitude dans un passé récent (cf. infra) il n'est pas certain qu'on ait observé le relief en équilibre avec cette combinaison de brassages dont les effets actuels sont :

- de ne pas modifier la configuration générale des dunes sur lesquelles elle s'exerce, ce qui signifie qu'elle n'est qu'une retouche d'un modelé plus ancien;
- de maintenir à des valeurs médiocres (3 à 4°, soit 5 à 7%) des pentes que la seule activité éolienne porterait à 25-50%;
- de détruire la frange septentrionale des sols rouges; entre ceux-là et les sols minéraux du désert il n'existe pas sur sables dunaires de zone stable où des processus pédogénétiques de climat subaride ou subdésertique puissent marquer fortement des sols mais au contraire une bande où des sols peu évolués se superposent ou s'associent à des restes tronqués de sols ferrugineux;
- probablement de détruire la frange méridionale des dunes vives, cela n'ayant été observé que sur les barkhanes du "désert" de Tal.

En Mauritanie des variations latitudinales dans l'activité de ce complexe d'érosion, des superpositions de ravinement ont été interprétées par un déplacement en latitude de cette aire de brassage, corrélativement par des variations récentes de la pluviosité postérieures aux "dunes rouges ogoliennes". Les sols jeunes (AC) diversément évolués des crêtes dunaires du Niger sont explicables par cette hypothèse de crises, de fluctuations dans l'intensité et la localisation latitudinale de l'érosion, qui a également pour conséquences :

- le rajeunissement périodique des sols sahéliens les plus septentrionaux, les plus sensibles étant ceux des sommets, des formes hautes;
- la destruction du modelé dunaire vif préalablement à toute pédogenèse un peu importante lors des périodes dont la tendance longue est à l'augmentation

de la pluviosité. L'opinion classique est différente; elle admet que l'adoucissement du profil topographique est produit par la même érosion qui affecte actuellement les sols évolués, qu'il est synchrone de la pédogenèse ou postérieur. Il est plus vraisemblable que les grandes lignes du relief tel qu'on l'observe en région sahélo-soudanaise ont été acquises pour des pluviosités de l'ordre de 250 mm et moins, alors que le développement pédologique ne pouvait dépasser le stade peu évolué du fait de la mobilité des sables. Cette dernière s'est atténuée lorsque la pluviosité est devenue suffisamment forte; les sols se sont alors formés sur un matériel homogénéisé sur des pentes relativement faibles qui n'ont été ensuite que retouchées.

Au schéma d'une évolution parallèle et graduelle des sols en fonction de la latitude avec une transition de type subdésertique, il faut substituer l'idée d'un hiatus à sols minéraux ou peu évolués sur sols tronqués séparant les formes vives de formes fixées où la pluviosité est déjà assez forte depuis suffisamment longtemps pour avoir donné des sols différenciés.

Apparition de crêtes ravivées	: 700 mm sur formes hautes (Say)
Complexes d'érosion éolienne et hydrique	: dès 360 mm; net à 250 mm (Tel)
Restes de sols ferrugineux tronqués	: jusqu'à 100 mm (lat. 17°25' inBOULET, 1966)
Dunes vives	: moins de 100 mm
Extension des sols évolués: zone de destruction des sols évolués	: 860 à 360mm (300km en latitude) : 360 à 100 mm (250 km)

1.316

Données chronologiques

Il n'existe au Niger de déterminations d'âge absolu qu'en bordure de la cuvette tchadienne dont seules les formations sableuses peuvent être datées indirectement (p. 540). Des dunes continentales, on sait seulement qu'elles se situent après le bas modelé M.3 dont elles fossilisent la nappe détritique et avant des alluvions de remblai ou de lit majeur (pp. 548-549). Comme elles se prolongent vers l'ouest jusqu'au Sénégal et en Mauritanie avec les mêmes toposéquences sur les mêmes topographies, leur histoire est vraisemblablement

partout semblable dans ses grandes lignes. Or près des côtes atlantiques, l'invasion dunaire est située dans une période régressive encadrée par les transgressions inchiennes (P. ELOUARD, 1959) et nouakchottiennes (P. MICHEL, P. ELOUARD, H. FAURE, 1967) datées respectivement de 30.000 à 40.000 BP et de 5.500 BP. La rubéfaction est corrélée avec l'épisode lacustre holocène dont les traces ont été décrites du Niger (H. FAURE, 1966) à la Mauritanie (R. TROMPETTE, E. MANGUIN, 1967) et sont situées entre 8.000 et 11.000 BP; elle s'arrête après 4.000 BP, âge des cordons littoraux à sols "jaunes". Parallèles, rouges, formées surtout de cordons sud-ouest ces dunes "ogoliennes" sont tenues pour un seul ensemble affecté par une retouche éolienne (P. MICHEL, 1968) située entre les lacs holocènes et le Nouakchottien par laquelle "des séries de petites dunes très serrées de direction NNE-SSW coupent obliquement les grands cordons orientés NE-SW". Antérieurement et a priori, nous avons assimilé ces dernières à nos formes hautes (M. GAVAUD, 1967) mais lors d'une tournée sur les bords du Sénégal, nous avons constaté que les cordons ogoliens portaient les mêmes sols que leurs homologues du Niger et qu'ils dominaient des massifs d'ondulations réticulées à sols plus différenciés. L'Ogolien est donc l'équivalent de l'ensemble des dunes à sols rubéfiés du Niger, hautes et basses, les petites dunes sud-sud ouest correspondant à un remaniement tardif tel celui qui a produit les petites rides longitudinales situées entre les côtes 390 et 350 dans la cuvette tchadienne (p. 536). Bien qu'hétérogène dans ses sols et ses paysages, cette formation est tenue localement pour un seul ensemble stratigraphique parce que ses variations pédologiques sont mal connues et parce qu'elles ne paraissent pas confirmées par la topographie dunaire, toutes les directions longitudinales étant parallèles. Or ce caractère n'est pas à lui seul une preuve d'homogénéité car il existe au Niger oriental, avec curieusement la même orientation sud-ouest, pour disparaître au Niger occidental. L'Ogolien peut donc fort bien être compréhensif de deux systèmes dunaires. L'étude des formations sableuses de la cuvette tchadienne nous amènera également à cette conclusion que la très longue période séparant approximativement leurs deux transgressions peut se subdiviser en phases d'édification éolienne et en périodes de pédogenèse.

1.32 Les plaines sableuses des
dallois, goulbis et de la
cuvette tchadienne

Des sables très pauvres en argile et limon remblaient les dépressions les plus vastes du Niger. Ils ont en commun un degré moyen de différenciation comparable à celui des formes dunaires hautes, une topographie plane et étagée remodelée par le vent et l'eau, des nappes aquifères de grande étendue qui y trouvent leur émergence et ont laissé ou déposent encore des sels et hydroxydes de fer.

1.321 La cuvette tchadienne et le bassin de la Korama entre
les bordures continentales et le cordon de Tal

1.3211 Données locales
.....

Le môle du Mounio sépare partiellement le bassin de la Korama du reste de la cuvette tchadienne avec lequel il est par ailleurs en parfaite continuité topographique, morphologique et pédologique. A l'ouest, les bas glacis cuirassés (cf. p.143) sont interrompus brusquement vers les cotes 400 à 410 m par une sorte de chanfrein qui plonge sous les sables tchadiens. Au nord et au nord-est, cette limite, où figurent des glacis M.3, paraît chevauchée par le massif de ride transversale de Guidimouni-Gouré dont la base rectilinéaire, à l'échancrure d'un ancien collecteur des eaux du Mounio près, s'établit entre les cotes 380 et 390 m. La limite aval de cet ensemble est située au sud-est; c'est le cordon de Tal (cote 320 m) qui est à la fois un rivage ancien indiscutable du lac et une limite pédologique majeure.

Cette gigantesque plaine s'incline imperceptiblement vers le lac, au sud-est, avec une pente moyenne de 0,04%. Elle est trouée de dépressions discontinues dont la profondeur peut atteindre trente mètres; elles sont plutôt cratériformes dans le bassin de la Korama, plutôt allongées avec des contours curvilignes à l'est du Mounio; partout elles présentent une disposition parallèle à la direction éolienne transversale sud-est et des dépôts très

fins palustres ou lacustres. C'est encore cette direction, presque perpendiculaire aux isohypses, qui a été suivie par des chenaux d'écoulement plus tardifs parce que localement déviés par le tracé des dépressions. Ces drains de la nappe phréatique, à transports solides purement sableux, ne sont actuellement alimentés qu'à leur amont dans le bassin de la Korama, leur écoulement disparaissant dans les sables des lits en aval. A l'est du Mounio, l'écoulement est purement pluvial et très bref. Une banquette à sols gris anciennement hydromorphes, sorte de petite terrasse, est due à un creusement par étape de ces "fayas" (PIRARD, 1964). La surface du plateau est inégalement bosselée de rides transversales et de cordons longitudinaux, les directions étant toujours les mêmes que celles des formations dunaires. Il s'y ajoute des reliefs plus récents, actuels ou subactuels : nebkas (2-3 m) effilées par les vents de nord-est, bourrelets ravivés ou à des stades divers de fixation sur les crêtes ou au vent des dépressions.

La nappe superficielle de la cuvette tchadienne possède les propriétés qui définissent les nappes des zones de subsidence : magasin de sédiments meubles et très épais, surface libre très étendue, zone d'alimentation éloignée, salure élevée, alimentation locale n'intervenant que dans la formation de lentilles d'eau plus douce. Elle est continue, alimentée sur toute sa bordure septentrionale par le système hydraulique du Continental Intercalaire qui se déverse dans les sables fins de la cuvette dans la région des massifs de rides transversales (Gouré) et probablement par la limite nord du bassin de la Korama. Ce flux principal affleure en chapelets de petits marais situés au-dessus de la cote 370. Cette ceinture évaporatoire est réalimentée de façon ponctuelle et par ruissellement au contact du socle entre Gouré et Zinder, par percolation au contact des grès continentaux de Zinder à Matameye. La conséquence en est une succession de mares natronées et de sources d'eau très douce drainant les lentilles d'eau pluviale perchée sur la nappe générale. Une seconde zone de réalimentation existe au sud du Manga le long de la frontière de Nigeria. Les variations de niveau de la nappe peuvent ainsi être attribuées à celles de la pluviosité, comme cela a été observé pendant la décade humide antérieure à 1966 dans le bassin de la Korama.

Ces divers traits physiques se combinent différemment pour donner de petites régions dont on a parfois cherché à préciser la signification paléogéographique.

L'ouest ou bassin de la Korama est déformé par des trains de rides transversales basses, courtes (5 km) et arrondies, nettement plus nombreux dans l'alignement et aux cotes du massif de Guidimouni (plus de 390 m) qu'ils paraissent ainsi prolonger. Ils sont séparés par des plaines sableuses ondulées trouées de multiples dépressions cratériformes où affleure la nappe drainée par la Korama. Des lacs permanents se sont installés dans des dépressions longitudinales sous le vent d'inselbergs, entre le Mounio et le Damagaram. À moins de 370 m les cuvettes sont sèches et emplies de limons salés; le relief est plus aplani, à cordons et nebkas longitudinaux plus fréquents, tout particulièrement au sud du Mounio (cotes 350 à 360). Ce modelé, ainsi que le lit de la Korama, disparaissent au sud-ouest dans une zone de colmatage d'aspect plutôt fluviatile. Quelques crêtes longitudinales de sols rouges, l'alignement parallèle des fonds, montrent que les sables tchadiens sont le soubassement des alluvions sombres et argileuses de cette région (Dungas-Malwa).

Aux pieds des massifs à rides transversales de Gouré (380 m) les chenaux interdunaires étroits, rectilignes, parallèles, s'effacent en débouchant sur une plaine sableuse à pente dix fois plus faible (0,2% contre 0,2%) large de 20 km et parcourue de cordons longitudinaux relativement courts (5 km). L'homologie topographique avec les formations de Tal où une terrasse sableuse, ancienne et manifeste ligne de rivage, est bordée en amont d'un cordon oblitérant lui-même d'anciens chenaux d'écoulement transversaux et parallèles, a conduit à interpréter cet ensemble (G. BOCQUIER, 1964) comme une vieille marge lacustre dont la cote aval, 360 m, coïncide à-peu-près avec celle où disparaît la Korama. Dans cette hypothèse, les reliefs et dépressions longitudinaux du bassin ouest situés au-dessus de cette cote seraient également les témoins de dunes et laisses périlacustres. Pour PIRARD (1964) ces petits cordons sont un second erg (d_2) postérieur aux grandes rides transversales et au retrait du lac "Atérien" de la cote 400 m. Entre cette bordure et le cordon de Tal s'étend le Tchidi N'Gourbaybe, vaste plateau à rides longitudinales mal organisées, parsemé de cuvettes sèches à limons, diatomites, calcaires, sulfures et hydroxydes. Au sud-est du Mounio un réseau desséché de "faya", le Ngatcholoul, drainait jadis la nappe à la manière actuelle de la Korama entre les cotes 350 et 340 m. Cette dernière n'affleure plus qu'aux deux extrémités du réseau, surtout en aval dans les profondes cuvettes du

Mandaram, le pays des salines (cotes 340 à 330 m). Dans cette région, de gros bourrelets vifs sous le vent des cuvettes témoignent d'un creusement éolien encore actif bien que la pluviosité soit de 450 mm. Tout le long du cordon de Tal s'allonge une frange de sillons transversaux profonds et parallèles, à dépôts identiques à ceux du Tchidi N'Gourbaybe, qui ont pu drainer la nappe alors que le lac était établi entre 315 et 300 m. Les alluvions y sont partiellement fossilisées par une succession régulière de dépôts de sables rougeâtres qui sont autant de cônes d'épandage fixés, produits par l'érosion composite décrite ci-dessus à propos des sols sableux de milieu subdésertique. La fragilité des sols, augmentée par la concentration des troupeaux et des cultures, lui permet de se manifester occasionnellement dès Maine Soroa (400 mm) où une seule journée de fort vent d'est suffit à faire apparaître des crêtes vives en fin de saison sèche. Elle n'est cependant continûment active que dans les modelés fortement ridés situés au nord de la zone cartographiée (PIRARD, 1964) à moins de 250 mm. Elle est actuellement remplacée dans la partie de la cuvette située à moins de 550 à 600 mm de pluies par un ameublissement généralisé des horizons de surface par les cultures, les animaux et le vent, évoluant par crises dont témoignent les degrés variables de fixation et d'évolution des sols de nebkas. Le brassage des sols est fortement atténué lorsque le couvert végétal est plus dense, soit qu'une pluviosité plus forte hâte la croissance des plantes de jachère, soit que la savane arborée primitive ait été préservée (pieds du massif de Gouré).

Dans ces diverses régions, les sols sont fort semblables entre eux et ne diffèrent que par les proportions relatives des termes de la toposéquence et par des nuances, d'appréciation subtile et incertaine, du degré moyen d'évolution. Les sols les plus différenciés seraient ceux des sites situés à plus de 390 m, tout particulièrement ceux des rides transversales; les sols les plus juvéniles seraient ceux des plateaux du Tchidi N'Gourbaybe et ceux des nebkas et bourrelets subactuels. Cette opposition est nuancée par l'existence en tous lieux de sols aux deux extrémités de l'éventail morphologique; on trouve par exemple des types AC à la cote 410 dans le bassin de la Korama ou inversement des sols à horizon B nettement rouge (5 YR) sur les plateaux de la cote 335. Dans son ensemble, la population de sols de cette partie de la cuvette est comparable à celle des formes dunaires hautes, avec peut-être une plus

forte proportion de profils rajeunis; elle s'oppose à celle des formations périlacustres anciennes des cotes inférieures à 320 m, qui ne sont pas rubéfiées aux latitudes nigériennes et tenues pour plus jeunes de ce fait. Cette homogénéité pédologique, les traces d'orientation transversale conservées par les dépressions font admettre que le matériau est une même venue sableuse, pour F. PIRARD (1964) une nappe deltaïque arrachée aux "sables supérieurs" du groupe du Tchad, anciennement modelée par le même système de vents. L'existence de traces d'écoulement, de dépôts alluviaux très fins et/ou chimiques, d'horizons jaunes ou blancs à la base des sols des cotes élevées, montrent que le niveau phréatique fut bien plus élevé qu'il ne l'est actuellement, se raccordant soit à des marais et étangs locaux, soit à un grand lac généralisé. On admet ordinairement la seconde hypothèse d'un "Prototchad" (PIRARD, 1964) à cause de l'aplanissement, parce que des formes topographiquement analogues aux rivages incontestables anciens ou actuels sont situés à des cotes approximativement constantes sur le pourtour de la cuvette, les écarts par rapport aux formes de rivage réelles étant interprétés par une érosion postérieure, les différences de niveaux par des mouvements tectoniques. Ces marges lacustres seraient situées, sur l'axe Goure-Maine Soroa :

- entre les cotes 390 et 360 pour la plus haute et la moins douteuse; elle sépare les massifs à rides transversales des plateaux sableux; elle coïncide avec les trains de rides longitudinales les mieux organisés; sa valeur pédologique est faible et incertaine. Elle est l'équivalent du rivage du lac transgressif de 400 m (L.1) de PIRARD qui corrèle ce dernier avec les lacs du Ténére de H. FAURE (1962) établis à la cote maximum de 410 m.

- A la cote 345 ou 350 (G. BOCQUIER, 1964 - PIRARD, 1964) pour une extension ou un palier mineurs, situés en amont du Ngatcholoul. Sa valeur pédologique est nulle.

Toutefois la première hypothèse de plans d'eau plus ou moins interconnectés est plus conforme à la discontinuité des traces de rivage, à leurs cotes irrégulières admissibles pour une zone d'émergence phréatique dont le niveau varie avec des facteurs locaux climatiques et lithologiques. Elle s'accomode de l'aplanissement si, remarquant que les crêtes des rides transversales sont tangentes à une même surface régulière, on admet qu'il est hérité du modelé fluvial primitif. L'oblitération des

cuvettes peut également s'expliquer par la combinaison de l'érosion éolienne (J.HURAUULT,1966) et hydrique . Cette opinion est également renforcée par la géographie des masses sableuses dans l'ensemble de la cuvette.

1.3212

Données d'ensemble

.....

La figure ci-jointe montre la répartition des sables à modelé éolien dans la cuvette tchadienne au sud de la limite des sables vifs sahariens. Elle confirme l'identité des massifs de rides transversales et des plateaux sableux, l'homologie de ces derniers, que nous nommerons sables du Manga, avec les formations dunaires hautes "continentales". Elle suggère l'acquisition du modelé dunaire pendant la régression totale du lac et le caractère transgressif des extensions lacustres sur cet erg. La limite méridionale des sables du Manga, remarquablement rectiligne et orientée ouest - sud-est (287 grades) paraît recouper des formations sableuses à sols plus évolués, remblais et dunes très émoussés. Ses terminaisons méridionales et occidentales de Nigeria sont des cordons longitudinaux identiques à ceux des formes dunaires hautes du Niger. Cette venue sableuse est donc bien distincte de celle des formes dunaires émoussées. Elle forme l'archipel du lac actuel ainsi qu'un gros massif situé à l'intérieur du rivage de 320 m en Nigeria, ce qui prouve l'antériorité de ce matériau et de son modelé par rapport à ces extensions lacustres ainsi que l'existence de régressions et transgressions. Fait très étrange, le niveau de différenciation des sols situés à l'intérieur du lac de 320 est le même que celui des sols extérieurs, leur rubéfaction en particulier, étant à peine plus faible et ne disparaissant que si les sables ont été remodelés en édifices périlacustres, plages et surtout dunes (M.GAVAUD, 1968). Comme, à moins de 250 mm de pluies, les sols dont le matériau a été ainsi remanié ne sont pas rougis, on arrive à cette conclusion surprenante que la rubéfaction des sables du Manga, acquise antérieurement au rivage de 320 m, a pu localement résister à l'inondation. Ce fait se vérifie également pour les formes dunaires émoussées et les remblais dont les terres rubéfiées existent encore à l'intérieur du périmètre de 320 m. Les fonds lacustres transgressifs sont donc pédologiquement peu modifiés en dehors des marges et des aires alluviales; il paraît ainsi plus normal de n'avoir trouvé que des traces topographiques des extensions les plus anciennes.

Diverses études régionales ont daté dépôts et lignes de rivage; elles donnent des estimations de l'âge des sols qui ne sont, le plus souvent, qu'indirectes parce que les auteurs n'ont pas corrélié formes et alluvions avec les sols des matériaux sableux. Tout au nord, en bordure du Ténéré, H.FAURE a décrit des dépôts lacustres emboîtés sur une dune ancienne (d.1); existant dès 22.000 BP, ils se développent pleinement entre 9.000 et 8.000 BP jusqu'à la cote maximum de 410 m. Un dessèchement rapide intervient dès 7.000 BP, caractérisé par un petit erg (d.2). Une récurrence lacustre se situe au Néolithique, de 5.500 à 3.000 BP; elle est suivie du dessèchement qui a produit le désert actuel. La corrélation avec le Niger méridional a été faite par PIRARD (1964) qui assimile la dune ancienne avec les rides transversales du Manga, la cote 410 m à la limite aval de ces dernières située à 390 m près de Gouré, l'erg d.2 aux rides longitudinales situées entre 350 et 390 m. Il indique un soulèvement à 440 m de la plage de 400 m dans le Damagaram. En fait les nivellements postérieurs à cette étude ne confirment pas cette hypothèse, la cote 440 étant située sur les glacis, et la marge lacustre toujours comprise entre 390 et 400 m. Les périodes lacustres n'ayant produit que des dépôts chimiques, il paraît très logique de supposer, avec H.FAURE, qu'elles coïncident avec des époques plus humides que l'actuelle avec couverture végétale importante et pédogenèse active. L'évolution des sols rouges des rides transversales et des crêtes émergées a pu se produire de 22.000 à 7.000, ralentir ou être localement stoppée par éolisation de 7.000 à 5.000, reprendre ensuite avec une vitesse progressivement décroissante jusqu'à nos jours.

Au centre de la cuvette et à l'est du lac, J.L.SCHNEIDER (1967) date de 5.400 BP un rivage situé à 315 m et ayant déjà régressé à 305 m en 4.400 BP. C'est une plateforme en continuité topographique avec la terrasse de Sayam mais, à la différence de cette dernière, à sols rubéfiés peu distincts de ceux des rides transversales qui portent localement le nom d'erg du Kanem. Il est possible que cette surface ne doive son aplanissement qu'à l'abrasion, alors que la terrasse de Sayam aurait été construite pour avoir été exposée aux vents d'est. En république du Tchad, les sables du Manga n'ont pas montré de marge lacustre plus haute, bien que les sommets de l'erg du Kanem atteignent 375m. J.PIAS, dans sa mise au point de 1968, suppose donc qu'ils n'ont acquis leur modelé éolien que postérieurement à une transgression de 380-400 m, contemporaine du premier delta du Chari (50.000 BP, date établie par corrélation).

Il en fait d'anciens épandages, de même âge, issus de grès paléozoïques et tertiaires, éolisés en 21.000 après qu'un premier erg de dunes longitudinales se fût mis en place dans le sud (Cameroun, Nigeria) vers 40.000, ce dernier suivi d'une seconde "transgression" à dépôts argileux vers 30.000 BP. Ces dunes transversales purent évoluer suite pendant le climat humide qui vit se former le deuxième delta et le lac de 320 m (12.000 BP) jusqu'en 5.400, date à laquelle un très petit erg se forma près du lac Fitri. Ce dernier ne produisit que des sols bruns de 3.200 BP (troisième delta et lac de 267 m) jusqu'à nos jours. Nous passerons sur les glissements de dates par rapport à celles des auteurs précédents, inévitables du fait de la rareté des datations, pour insister sur deux points. Comme au Niger, on a pensé à attribuer à un erg plus ancien les formes dunaires les plus méridionales. Le critère choisi, le sens d'élongation, n'est pas rigoureux mais il se trouve qu'ici aussi les sols en sont plus différenciés avec une variation latitudinale anormalement rapide au contact des sables du Manga (Nigeria, cf. fig. 541). L'évolution plus longue impliquée par cette chronologie relative en serait une explication. Le second point est la formation de sols moins évolués bruns postérieurement à une certaine date, pour une pluviosité de l'ordre de 450 mm. Toujours au Tchad, M.SERVANT (1967) propose une chronologie fondée sur une étude stratigraphique des dépôts limniques de la région du Kanem centrée sur le Bahr El Ghazal : premier modelé dunaire, première phase lacustre de 30.000 BP jusqu'à une date indéterminée, second modelé dunaire retouchant le premier (pluviosité actuelle de 250 mm environ) seconde phase lacustre, holocène, de 12.000 ou 10.000 BP jusqu'à 2.400 BP. Elle est formée de pulsations transgressives situées vers 12.000 ou 10.000, 7.000, 3.200, la seconde correspondant à l'extension maximum de 320 m. Les "interlacustres" sont attribués, avec prudence, à une diminution de la pluviosité éventuellement compliquée de facteurs hydrologiques : retard de montée des nappes, présence de seuil de déversement. Passé 12.000 BP, ils n'ont pas modifié le paysage dunaire, ce qui ne signifie pas pour autant que les sols n'ont pas été détruits. Cette suite de faits est proche de celle de H.FAURE, notamment par le petit épisode éolien entre deux lacustres, mais les dates diffèrent pour ce dernier; elle sont davantage en accord pour situer à plus de 20.000 un premier modelé éolien et vers 9.000 un lacustre important.

Des lignes de rivage successives étagées entre 330 et 400 m ont été décrites au Cameroun par G.SIEFFERMAN (1967) sous l'aspect de "cordons" riverains sableux à sablo-argileux, non éolisés, à sols ferrugineux rubéfiés lessivés à peu lessivés. Ils sont recoupés par des dunes longitudinales sud-ouest à sols ferrugineux peu lessivés, elles-mêmes traversées par le cordon périlacustre de 320 m. Le niveau du lac n'était pas alors déterminé par l'équilibre entre les précipitations et l'évaporation mais par la cote du seuil de M'Bourao déversant les eaux du bassin du Tchad dans celui de la Benoué. Etant donné la latitude, les dunes camerounaises ne peuvent qu'être contemporaines de l'épisode aride principal des régions plus septentrionales, ce qui donne aux hautes lignes de rivage un âge plus élevé que celui de la marge de 390 m qui a aplani les sables du Manga, conclusion à laquelle arrive également J.PYAS pour le niveau de 380-400 m. Il est donc possible que des étendues d'eau libre se soient installées près de la limite de la cuvette, vers la cote 400 m, à des époques différentes. La validité de cette conclusion est cependant limitée par les possibilités d'identification des traces d'éolisation ancienne dans les matériaux sableux les plus méridionaux.

1.3213 Conclusions

La confrontation de ces diverses études (fig. 42) dégage plus d'incertitudes quant aux datations que relativement à la succession des faits.

Le plus sûr est l'existence d'un erg dans toute la cuvette tchadienne antérieurement aux dépôts lacustres les plus anciens. Les sables du Manga ont ultérieurement évolués en sols rouges en sites bien drainés pendant une assez longue période plus humide que l'actuelle, entrecoupée d'épisodes plus secs qui ont pu retoucher l'erg primitif. Cette période s'est achevée peu après 5.400 BP par le retrait du lac de 320 m. Les sols mis en place après cette date ne sont, en effet, que brunis aux latitudes où la pluviosité actuelle ne dépasse pas 550mm. Un dessèchement plus marqué aboutit aux climats actuels après 3.000 ou 2.400 BP.

Les précisions qui suivent sont plus hasardeuses. Un premier rivage se forme vers 50.000 BP sur des remblais fluviatiles sableux et sablo-argileux, aux cotes 380-400 m. Ceux qui donneront les sables du Manga ne sont plus visibles au Niger; leur grande masse provenait de

formations siliceuses continentales, grès et sables argileux. Un premier erg se forme ensuite partout, aussi bas que le dixième parallèle. Ses restes ne sont plus visibles que dans le sud de la cuvette ou sur les glacis périphériques; ils correspondent à nos formes dunaires basses et émoussées. Vers 30.000 des alluvions fines indiquent un retour à des conditions plus humides, sinon très pluvieuses, et des possibilités d'évolution pédologique sur le premier erg. Avant 22.000 BP, une seconde période aride met en place le matériau des sols du Manga, soit que le modèle transversal se forme à cette époque (PIAS J.) soit que le brassage éolien soit simplement suffisant pour rajeunir la couverture ancienne de sols (interprétation de la retouche éolienne de M.SERVANT). La période lacustre qui suit, de 12.000 à 8.000 BP, coïncide avec l'installation de lacs en bordure de la cuvette (390 à 410 m) et avec une pédogenèse rubéfiante sur les sables du Manga. Avant 7.000 BP, un second remaniement éolien approximativement synchrone du d.2 du Ténére produit de grosses nebkas longitudinales entre les cotes 390 et 350, plus vraisemblablement encore jusqu'à moins de 320 m. Là les sols fragiles du Manga ont pu être plus rajeunis que ne le laisse supposer le peu d'ampleur de ces édifices dunaires. Le décalage d'évolution par rapport aux sols méridionaux qui n'étaient pas éolisés, au maximum décapés, s'est accentué. Suit une période plus humide que l'actuelle qui voit le lac recouvrir une partie des sols rouges et se stabiliser à la cote de 320 m du seuil de M'Bourao sur un rivage formé à l'est de plateformes d'abrasion et à l'ouest de plages construites. La régression débute dès 5.400 BP, les cordons et dunes péri-lacustres (Tal, Fitri) s'édifiant à ce moment là. Elle est suivie pas à pas par des populations de pêcheurs puis d'agriculteurs (Y.COPPENS, 1966) et connaît des paliers vers 300 ou 305 m, en 4.400 BP, vers 287 m, en 3.200 BP, signalés par des cordons ou des dunes périlacustres (cf.fig. 41). Du fait d'une durée d'évolution trop courte ou d'une pluviosité insuffisante les sols en restent bruns.

Actuellement, le lac étant situé à la cote 282 m, ce sont les variations en latitude de l'érosion des sols rubéfiés qui sont les plus évidentes : anthropique à plus de 550mm, éolienne et hydrique vers 250 mm, avec un ravinement intense des rides

transversales. Les horizons de surface sont brassés et rejeunis dans la zone intermédiaire où se produisent de temps à autre des crises à nebkas et ravinements. On peut admettre que la différenciation moyenne des sols sur sables du Manga tend à décroître ou à se stabiliser à un niveau très bas.

1.322 Dallols et Goulbis

1.3221 Données générales
.....

Ces grands tributaires desséchés de la rive est du Niger sont creusés dans les grès tertiaires du Niger occidental (Dallols Bosso et Maouri) et les grès crétaqués du Niger central (Goulbis N'Kaba et de Tarka). Ils sont très larges relativement à leur profondeur (jusqu'à 20 km) à fonds plats, jalonnés par les conglomérats et cailloutis de haute et basse terrasse (cf. p.192 et suiv.) ce qui situe leurs alluvions sableuses postérieurement aux sols du bas modelé (M.3). L'écoulement y était très diminué antérieurement à l'entaille du lit majeur du Niger. A Boumba, au confluent, les sables du Dallol Bosso dominant par un bourrelet de plusieurs mètres les argiles du Niger et ne sont pas érodés, alors que les alluvions des affluents actifs ont été déblayés sur plusieurs kilomètres (Gorouol, Sirba, etc...) à partir du fleuve. La très grande pauvreté en argile et en limon des sables qui emplissent Dallols et Goulbis est géographiquement associée aux grès; elle disparaît des dépôts comparables, sablo-argileux, du socle, ou des vallées comme celle du Dallol Rafi, au sud-est du Dallol Maouri, qui, traversant le Ct.2, fut cependant abondamment alimentée par les formations marines de l'Ader Douchi. Elle a pu être déterminée par une texture moyenne plus légère que sur le socle, par une plus grande surface couverte par des sols lessivés dans les toposéquences autochtones qui ne contiennent pratiquement pas de terres non lessivés et/ou très argileux (cf. chapitre 6) La mise en place des alluvions, indéterminée dans ses mécanismes, a achevé la sélection et l'homogénéisation de sables fort semblables à ceux de la cuvette tchadienne. Ils forment de vastes plaines ondulées où les toposéquences et le nivellement barométrique font apparaître un étagement de niveaux topographiques en nombre variable mais regroupables en trois ensembles :

- un niveau supérieur (T.3) de sables fins où les sols rubéfiés sont très dominants sinon exclusifs;

- un niveau topographique moyen (T.2) de sables légèrement plus grossiers, souvent granuloclassés verticalement, les plus gros grains étant concentrés à la base des profils; les sols de couleur brune ou grise dominent dans les toposéquences qui comprennent également des terres évoluant vers les sols ferrugineux;

- les dépressions aplanies T.1 sont des chenaux parallèles découpant T.2 ou des cuvettes étirées s'étalant dans le thalweg; leurs sols gris ou noirs sont hydromorphes et/ou halomorphes (T.1b). Elles peuvent être elles-mêmes incisées et colmatées d'alluvions plus argileuses (T.1a) qui ont formé notamment les grandes plaines verticales du haut Dallol Bossou, ou Azaouak.

Il existe partout un niveau à sols peu colorés, à sables assez grossiers, très fragiles et meubles, assimilables à T.2, alors que les plaines ou bourrelets à sols rubéfiés peuvent manquer aux basses latitudes, ou quand la vallée devient étroite relativement à ses versants ou lorsque l'imperméabilité du bassin est plus élevée, c'est-à-dire toutes les fois que les possibilités d'alimentation en eau sont plus élevées. Le niveau T.3 peut être fortement concrétionné par nappe ou être très éolisé. Le niveau T.2, bien qu'à sols proches des sols hydromorphes, est moins fortement concrétionné; son relief est surtout dû à l'écoulement qui a produit T.1. On peut interpréter T.3 comme une terrasse, ou remblai, suffisamment haute pour que la nappe ne s'y soit jamais évaporée qu'en profondeur, suffisamment sèche pour que l'éolisation y ait toujours été plus facile. T.2 serait comparable à ces îles sableuses étirées dans le lit de la Korama séparées par un plancher aplani par l'écoulement (T.1b) et incisé par l'étiage (T.1a), l'échelle de temps pouvant être aussi celle de petites variations de la pluviosité. Le niveau T.3 a été observé :

- seul et fortement éolisé en amont du Dallol Maouri; ses sols sont comparables aux ferrugineux peu lessivés des formes dunaires hautes locales (série de Bagaroua);

- en banquettes latérales, dont la disposition évoque d'anciens épandages latéraux, en amont du Dallol Bossou (sols ferrugineux peu lessivés et brun rouge);

- en banquettes latérales et en buttes allongées dans la partie moyenne du Dallol Maouri; les sols, ferrugineux, sont fortement concrétionnés (série de Kaniagoma);

- en buttes allongées sur les sections moyenne et aval du Dallol Bosso (sols ferrugineux);

- seul, ondulé, dans un affluent de rive droite du Dallol Bosso dont un haut cordon dunaire longitudinal l'isole (sols ferrugineux peu lessivés de la série de Fandou).

Le niveau T.2 est exclusif :

- en aval du Dallol Maouri, dans la zone d'émergence de la nappe, au sud de $12^{\circ} 30'$;

- dans les Goulbis, où nous n'avons qu'une observation de sols ferrugineux à peine rubéfiés, à horizon B brun ocre, sur une mince banquette latérale du Goulbi N'Kaba. A cette exception près, les sols bruns et gris sur sables grossiers granuloclassés sont les seuls observables sur un modelé ondulé. Un écoulement type Korama a donc pu affecter la totalité des Goulbis et une partie seulement des Dallols.

Les Goulbis conservent des restes d'alimentation longitudinale en amont, sur quelques dizaines de kilomètres, à partir du Damergou pour le Goulbi de Tarka, où l'imperméabilité compense la faible pluviosité (moins de 350 mm) à partir du massif gréseux et ensablé de Korgom pour le Goulbi de Guezaoua, affluent du Goulbi N'Kaba, dont l'alimentation estivale est due à une ligne de sourcins symétrique de celle de la Korama (pluviosité 650 mm). Jadis les eaux parcoururent un minimum de 540 km pour transporter les argiles de l'Irhazer, aux pieds de l'Air, jusqu'à la latitude de $14^{\circ} 30'$ dans le haut Dallol Bosso où le flux s'arrêtait. Le record actuel de cet écoulement n'est plus que de 20 km, chiffre noté en 1946 à In Abengarit (pluviosité moyenne : 100 mm). L'alimentation latérale existe partout à partir des aires non ensablées des versants. Elle ne va pas au delà du remplissage de quelques mares. Autrefois plus importante, elle accumula les dépôts de T.1a; les plus remarquables sont les argiles vertiques du Goulbi de Tarka, venues de l'Ader Douchi et encore plus ou moins atteintes par le ruissellement d'hiver.

Les Dallols se dirigeant vers le sud, l'alimentation de la nappe en est de plus en plus facile vers l'aval. En amont, en région sahélienne, elle est hors de tous les sols et peut manquer localement. Dès 500 mm dans le Bosso (13° 50') 700 mm dans le Maouri, quelques mares de T.1a sont permanentes. A plus de 750-800 mm, l'eau affleure en permanence dans tous les fonds et baigne la base des sols de T.2, les sols de T.3 n'en étant pas affectés à moins de deux mètres. Selon une étude hydrologique de la SOGETHA, le battement annuel est de l'ordre de 60 cm, sauf près du Niger où la crue le porte à deux mètres. La nappe carbonatée sodique et peu concentrée sale les sols T.1 à cause d'une évaporation très forte. Les sols des Goulbis sont partout hors de la nappe à pluviosité de moins de 650 mm, mais les traces anciennes en sont très visibles à moins d'un mètre; sables lavés bouillants, halos glebulaires ferrugineux.

La surface est déformée en T.1 et T.2 par des buttes éoliennes de 2 à 3 m de haut au plus, plutôt de grosses nebkas que de petites dunes, à pentes de l'ordre de 2%. Ce modelé est plus accusé en rive ouest des vallées méridiennes. L'ameublissement des horizons de surface par les cultures, le piétinement du bétail, les fousseurs et le vent est très important, surtout en T.2. S'il existe des nebkas accidentellement très récentes, le niveau moyen de différenciation des sols est indépendant du modelé à une latitude donnée mais tend à croître légèrement vers le sud en même temps que le relief éolien s'atténue. Ce dernier est donc antérieur dans ses grandes lignes au développement des sols.

Bien que faible, l'évolution pédologique de T.3 est déjà ancienne; elle est comparable à celle des formes dunaires hautes; elle est supérieure à celle des sols bruns des bourlets épais (15 à 20 m de haut) qui frangent le versant ouest de l'Azaouak (pluviosité de 350 mm). Ces vallées sableuses recoupent souvent les limites des dunes émoussées; plus rarement elles séparent un massif dunaire à l'ouest d'une aire libre de sables à l'est. Si donc les formes dunaires basses ont pu quelquefois être alimentées par les vallées, les sables superficiels actuels n'en sont pas l'origine et leur sont mêmes postérieurs. La situation dissymétrique des grands massifs de dunes hautes, l'obturation d'étranglements par les cordons (le Dallol Maouri vers 14°, la vallée de Fandou à son confluent avec le Dallol Bosso) indiquent au contraire une origine commune des sables de Dallols et de ceux des

formes dunaires hautes. La ressemblance pédologique indique de plus que les actions éoliennes majeures ont pris fin à une date voisine sur T.3 et sur les cordons longitudinaux. Le cours ouest-est des Goulbis ne permet pas d'observations aussi précises. Le modelé de T.2 y paraît partout indépendant des formes dunaires locales auxquelles il apparaît ainsi postérieur.

1.3222 La vallée du Niger
.....

Recevant simultanément les rivières du socle et les Dallols, le Niger permet de faire une liaison par ses alluvions entre les remblais des premières et les niveaux topographiques des seconds. Une "terrasse" dans la terminologie locale, de sables fins et/ou argileux, souvent rubéfiés, le longe du nord au sud. Près d'Ayorou, sur socle ($14^{\circ} 30'$) elle est de sables fins à sols brun-rouge à amas calcaires; elle noie la base de dunes émoussées dont elle possède le même degré d'évolution pédologique. A Niamey ($13^{\circ} 30'$) elle est de sables argileux hydromorphes reposant sur des cailloutis à sables éolisés. A Kirtachi ($12^{\circ} 15'$) elle est sablo-argileuse à sols ferrugineux peu lessivés à engorgement de profondeur et ressemble beaucoup au remblai supérieur des rivières du socle. A Sya (12°) elle est visiblement éolisée, plus sableuse, à sols ferrugineux peu lessivés rouges et bien évolués; elle emboîte une seconde terrasse plus basse à sables plus grossiers, avec sols peu évolués à faciès ferrugineux, analogues aux sables T.2 des Dallols; l'ensemble domine de quelques mètres le lit majeur argileux actuel (fig. 45). Nous rapportons à ces sables grossiers, à litage fluviatile encore visible, ceux des îles à sols bruns du lit majeur du Niger à Niamey (fig. 46). De Gaya au confluent du Dallol Fogha ($11^{\circ} 40'$) la "terrasse" supérieure est analogue par son matériau, son modelé ondulé, ses sols, à T.3, sans doute du fait des apports des Dallols. On peut donc faire de T.3 un équivalent textural de la terrasse supérieure du Niger, dont le matériau est postérieur à la mise en place des dunes basses et antérieur à celui de T.2, ce dernier étant lié à un écoulement longitudinal caractérisé du fleuve. Les variations texturales de la "terrasse" invitent à un parallèle entre T.3 et le remblai supérieur des vallées du socle, à sols rubéfiés, entre T.2 et le remblai inférieur, à sols hydromorphes non rougis, entre T.1a et les dépôts argileux de lit majeur. Cette homologie regroupe des sols qui possèdent la même situation topographique relative, le même type de drainage faisant dominer les sols rubéfiés ou

les sols à drainage ralenti. Elle met au compte de la texture du matériau et du facteur pluviométrique les différences qui peuvent être importantes, dans le degré d'évolution, cela dans la mesure où les événements sédimentologiques et pédologiques à l'origine des remblais sont tenus pour synchrones parce que en même nombre. Or cette hypothèse perd de sa validité dans les zones méridionales éloignées des dunes anciennes; le remblai supérieur peut fort bien être antérieur à ces dernières ou leur être contemporain, des sols pouvaient déjà s'y former pendant que plus au nord le milieu sub-désertique maintenait le développement pédologique à un très bas niveau. Cette assimilation ne peut donc être une identification; elle doit s'accomoder de différences dans les dates de mise en place des matériaux et dans les durées d'évolution des sols.

Bien que tout proches, les travaux géomorphologiques de J.P BLANCK (1968) sur la boucle du Niger au Mali (15° à 16° N, 250 à 350 mm) poursuivant ceux de J.TRI-CART (1965) ne sont qu'incomplètement corrélables avec les nôtres du fait de l'absence de levé pédologique. Ils décrivent la succession suivante :

- un erg de dunes longitudinales sud-ouest à sols ferrugineux et brun-rouge;

- une terrasse t', sableuse à sablo-argileuse, à sols bruns et brun-rouge, ennoyant le pied de l'erg auquel elle a emprunté l'essentiel de son matériel;

- un second erg ouest de dunes transversales nord-sud plus petites, établi sur les parties les plus sableuses de t' ou dans les espaces "interdunaires" (gassi) de l'erg ancien; les crêtes de ce dernier ont été remodelées sur 3 m d'épaisseur environ pendant la même période sèche; ces sables sont jaunes et "ne portent pas de paléosols";

- une seconde terrasse toa plus argileuse dont l'extension ne dépasse que de peu le lit majeur actuel.

Si t' est identique à la "terrasse" supérieure à sols rubéfiés, toa aux argiles du lit majeur, si l'erg ancien paraît correspondre à l'ensemble de nos formes dunaires à sols rubéfiés, le second erg n'a pas d'équivalent immédiat bien que, figuré sur 100 km de long et 30 de large près de Tombouctou, il s'étend largement au

Mali. Inversement T.2 manque. Il est vraisemblable que l'absence de paléosols de l'erg récent corresponde en fait à la présence de sols peu évolués dont on peut interpréter diversement la couleur jaune :

- un jaune véritable (10 YR 7/8) ne se comprendrait que de sols à engorgement de nappe non rubéfiés; alors que l'erg récent correspondrait à une formation analogue à T.2 très éolisée;

- un jaune rougeâtre clair (7,5 YR 7/8) pourrait être la teinte d'ensemble de profils AC ou ABC issus d'un remaniement plus ou moins intense des sols des dunes et terrasses rouges. L'erg récent correspondrait alors à l'ensemble des retouches éoliennes qui ont pu affecter nos formes dunaires hautes et le niveau T.3. Ce serait la latitude plus basse qui expliquerait la moindre extension de ces dunes au Niger méridional.

- Un jaune-brun (10 YR 5/8 ou 7,5 YR 5/7) serait celui de sols juvéniles bruns à profil AC, tels ceux du bourrelet latéral de l'Azeouak, qui doivent la couleur plus claire de leur matériau au fait qu'ils sont situés à l'ouest des sols sableux hydromorphes ou brunis plus ou moins lavés par la nappe du niveau T.1 (fig. 43). L'erg récent correspondrait alors à un épisode éolien plus précis et son matériau ne procéderait plus uniquement de sols rubéfiés.

- Les horizons B des sols d'ergs entiers de rides transversales du Niger méridional (ergs de Toufafiram, de Taguiriss) peuvent n'être pas rouges mais jaunâtres (2,5 YR 6/2, 7,5 YR 5/6) tout en possédant les autres caractères des sols brun-rouge ou ferrugineux peu lessivés des formes dunaires hautes. Cette propriété, connue également de massifs de dunes basses, pourrait être celle de l'erg récent du Mali qui correspondrait alors aux massifs de rides transversales du Niger méridional. La corrélation ne peut donc se faire qu'en termes très généraux. Une alternance climatique très contrastée met en place des dunes puis une terrasse ou remblai supérieur à sols rubéfiés. Des variations mineures produisent ensuite des formes éoliennes plus localisées sur les anciennes formations, sur des dépôts sableux plus récents connus du seul Niger méridional (T.2); leurs sols sont peu ou moins évolués. Des argiles colmatent ensuite ce qui est encore le lit majeur du fleuve.

Les restes d'un affluent ou d'un réseau d'affluents du Niger ont été observés près de Siwili (14° 59' N., 1° 42' E., pluviosité de 385 mm) sur Ct.2. Tous ces caractères sont ceux d'un Dallol de petite taille : largeur de 2,5 km, fond plat, rives parallèles, aspect de plaine sableuse ondulée avec un seul niveau à sols brun-rouge à action de nappe en profondeur (T.3) ou deux, à sols brun-rouge et sols bruns (Sabara Ban gou, au nord-est de Siwili). Ils sont tronçonnés par des dunes longitudinales émoussées qui paraissent avoir fait barrage en retenant les alluvions sableuses de T.3 en amont, alors que le cours aval est tapissé des proluvions sablo-argileuses à sols ferrugineux lessivés de la série de Siwili (cf. pp. 282-288) qui sont l'origine des sables dunaires les plus anciens. Le dépôt des sables de Dallol paraît ainsi non seulement associé à un soubassement géologique particulier mais encore à un régime hydrologique bien défini.

Lorsque la section des vallées sur grès devient très petite, la nature de leurs sols paraît modifiée par le fait que les alluvions sont traversées par le flux des solutions issues de la toposéquence des versants. Si leurs caractères physiques sont encore ceux de Dallols miniatures (largeur constante de l'ordre de 800 m, fond plat) la succession des niveaux topographiques et pédologiques y est modifiée et simplifiée. Dans le beau réseau desséché de la dépression de Dosso, on distingue :

- un niveau supérieur dont les sables fins sont ceux qui recouvrent les versants; il forme une banquette subhorizontale, ou paraît logé dans une incision, ou passe en continuité à la couverture sableuse des pentes; le modelé est plan ou déformé de buttes éoliennes assez hautes (4 m) à sites habités anciens nombreux; les sols sont décolorés (ex : 10 YR 6/2) à raies, formés probablement dans des conditions de forte circulation oblique. Ils définissent la série de Zouzourma, petit village situé sur un affluent de rive est du Dallol Maouri.

- Un niveau inférieur à sables fins et limons sableux stratifiés à paléosols hydromorphes gris foncé; il forme de minuscules flats allongés emboîtés dans le niveau supérieur et évoquant d'anciens axes d'écoulement tronçonnés. Ce dernier s'est sensiblement ralenti de la

DONNES NUMERIQUES CONCERNANT LES NIVEAUX DES DALLOLS

Azaouak, ou haut Dallol Bosso (350 mm de pluies)

Ensemble de la vallée

enfouissement : 60 à 70 m par rapport à M.3
largeur : 20 km

T.1a

alluvions : argiles
disposition : chenaux
largeur : 100 à 1.000 m
modélé : plan
sols : vertisols

T.1b

alluvions : sables grossiers (mode de 0,33 à 0,40 mm)
disposition : dépression allongée
largeur : 3 à 6 km
cote : + 1 m au-dessus de T.1a
modélé : plan
sols : bruns à drainage réduit

T.2

alluvions : comme T.1b
disposition : banquette gainant T.1b
largeur : 6 à 13 km
cote : + 3 à + 9 m au-dessus de T.1a
modélé : plan (rive est); rides éoliennes de
2 m (rive ouest)
sols : bruns à drainage réduit, intergrade
brun-rouge

T.3

alluvions : sables plus fins (mode de 0,18 mm)
disposition : banquette latérale
largeur : 2 à 6 km
cote : + 6 à + 12 m
sols : brun-rouge

Bourrelet occidental

hauteur : 10 à 15 m
sols : peu évolués, bruns

Dallol Maouri, partie moyenne (750 mm de pluies)

Ensemble de la vallée

enfoncement : 15 m par rapport à M.3
largeur : 6 km

T.1a

alluvions : sables argileux
disposition : chenaux
largeur : jusqu'à 1.000 m avec T.2
modelé : plan
nappe : à 6 m, avec battement de 1 m
sols : hydromorphes et/ou halomorphes

T.1b

chenaux non colmatés; sables de T.2; sols hydromorphes gris

T.2

alluvions : sables granuloclassés; mode de 0,4 mm à 2 m de profondeur, de 0,2 mm au sommet
disposition : en buttes découpées par T.1
cote : + 2 à + 3 m
modelé : ondulé
sols : sols ferrugineux peu lessivés peu différenciés confinant aux sols brun à drainage réduit; concrétionnement de nappe

T.3

alluvions : sables fins; mode de 0,17 mm
disposition : banquette latérale
largeur : 2 km
cote : + 5 m
modelé : ondulé
sols : sols ferrugineux peu lessivés rouges à très fort concrétionnement de nappe (série de Kaniagoma)

Bourrelet occidental

hauteur : 15 m

La Vallée du Niger à Sya (875 mm de pluies)

T.1a

alluvions : argiles du lit majeur
sols : hydromorphes

T.1b

alluvions : sables de T.2 et graviers lités
disposition : chenaux dans T.2
largeur : dizaines de mètres
cote : 8 m au-dessus du niveau actuel de la
crue
nappe : à moins de deux mètres
sols : hydromorphes gris

T.2

alluvions : sables lités granuloclassés; mode de
0,28 mm à deux mètres, de 0,20 au
sommet
disposition : terrasse basse ou remblai inférieur
largeur : 3,5 km
cote : + 10 m par rapport au niveau de crue
modelé : ondulé (+ 2 m)
sols : ferrugineux peu lessivés peu diffé-
renciés à action de nappe en profon-
deur; jaunâtres

T.3

alluvions : sables fins (0,18 mm)
disposition : terrasse haute ou remblai supérieur
largeur : 2 km
cote : + 17 m
modelé : faiblement ondulé
sols : ferrugineux peu lessivés évolués;
rouges

base du dépôt (- 3 m) très récente parce que tapissée de charbon de bois, au sommet en même temps que crois-sait un engorgement de nappe dont la disparition fut suivie de la mise en place d'une dernière couche (1 m) de sables très fins. La taille médiane des sables est de 0,1 à 0,14 mm contre 0,20 mm dans le niveau supérieur. La stratigraphie est voisine de celle des alluvions qui colmatent les interdunes des rides transversales de Guezaoua (cf. p.524).

- Un petit bourrelet latéral situé aux pieds du versant, éolien, à sols ferrugineux peu lessivés peu évolués.

En rive ouest du Dallol Maouri, le niveau supérieur (cote 191) décoloré d'un affluent est recreusé par les niveaux T.2 et T.1 du Dallol et paraît s'être anciennement raccordé au niveau T.3 (cote 188). Le niveau inférieur pourrait être l'homologue de T.1a.

La petite vallée de Damarké (14° 55' 30" N., 3° 42' 30" E., pluviosité de 400 mm) est un affluent de rive est de l'Azaouak tout entière sur argilites ensablées du Ct.2. Déprimée de 10 à 15 m et large de 0,5 à 4 km, elle est emplie de sables granuloclassés analogues à ceux du niveau T.2 de l'Azaouak, à relief ondulé (+ 2 m) mais à sols ferrugineux peu lessivés évolués à horizon B brun ocre et épipédon peu coloré très épais avec raies.

Le Goulbi de Maradi, rivière active alimentée par le sud, drainant le socle et les grès crétacés, possède une terrasse à sols ferrugineux peu lessivés bien évolués et pouvant être rubéfiés (5 YR) en bordure des alluvions finement sablo-argileuses actuelles. Les sables reposent sur des graviers de quartz et sont analogues à ceux du niveau T.2 des Goulbis. La toposéquence y compte des types à concrétionnement de nappe encore actuel (pluviosité de 625 mm) et des types décolorés à raies. Les sols des affluents, sur alluvions anciennes à galets ou couverture sableuse éolisée, ne se distinguent pas des sols de bas de pente de cette dernière (série de Gayakoli, à épipédon épais et décoloré, horizon B brun ocre, base jaunie et raies). Un bourrelet à sols ferrugineux peu lessivés peu différenciés existe ponctuellement en bordure est de la

terrasse qui associe la granulométrie des sables des Goulbis, le concrétionnement de nappe et la rubéfaction du niveau T.3, au degré d'évolution des sols des remblais supérieurs du socle. Elle est l'équivalent, pour les vallées du Niger central, de la "terrasse" supérieure du Niger pour les Dallols.

1.3224 Comparaisons avec la cuvette tchadienne
.....

Les sols rubéfiés sur sables du Manga entre les cotes 390 et 320 m ne diffèrent de ceux du niveau T.3 des Dallols que parce que l'action de nappe n'y a pas été jusqu'au concrétionnement. Les sols du cordon de Tal sont voisins de ceux du bourrelet latéral de l'Azaouak. Les alluvions argileuses du Kadzel (cotes 300 à 287 m) sont assimilables aux argiles de lit majeur, à T.1a. Il n'existe pas d'équivalent à la fois topographique et pédologique de T.2 dans la cuvette. Des sols analogues à sables plus grossiers que sur les sommets peuvent être observés dans les dépressions situées à la base de l'erg de Gouré mais sur des pentes en continuité topographique avec les rides. Des replats à aspect de terrasse existent dans les fayas mais leurs sols sont gris et hydromorphes sans l'amorce de rubéfaction de T.2. La cuvette et les Dallols sont identiques quant aux sols et ne diffèrent que par des modalités de la mise en place des matériaux.

1.3225 Résumé
.....

Dans les vallées calibrées incisant le bas modelé M.3, des alluvions se sont mises en place qui ne sont pas autrement connues que comme source vraisemblable de quelques massifs de dunes basses ou par des cailloutis à sables déjà éolisés de la vallée du Niger et d'affluents du Gorouol

La grossièreté et la richesse en quartz de ces sédiments existaient dans tous les bassins à couverture de sols ferrugineux lessivés mais devaient être accentuées sur les grès. Les grands massifs de dunes hautes se sont formés dans un second temps aux dépens des sables alluviaux. Dans les vallées un écoulement ralenti pouvait prendre place entre les périodes dunaires dans le nord, pendant toute leur durée dans le sud; il remblayait les lits de sables arrachés aux dunes ou aux restes des sols autochtones. Le niveau T.3 se mit ainsi en place et acquit son modelé éolien lors des dernières retouches des

formes dunaires hautes. Il est postérieur aux formes dunaires émoussées dans le nord alors que son équivalent méridional, le remblai supérieur, peut leur être contemporain. La rubéfaction des sols de T.3, leur concrétionnement, le creusement et la mise en place des sables de T.2 indiquent une période humide où un écoulement de nappe phréatique de type Korama a pu envahir une partie des Dallols et la totalité des Goulbis. Le niveau T.2 a été éolisé, les sols de T.3 et des formes dunaires hautes ont pu être rajeunis (profils AC) pendant une récurrence sèche où nous situons le second erg du Mali. Une dernière période plus humide voyait le creusement de T.1b, le dépôt de T.1a. un début de rubéfaction de T.2. Dans le haut Bosso les argiles de l'Irhazer parcouraient plus de 500 km vers le sud avant de se déposer. Dans la dépression de Dosso des populations ont probablement vu la transformation progressive des lits en marais, la disparition de la nappe et la fossilisation des sols organiques à gley par des sables. Le cordon de l'Azaouak prouve la disparition de la rubéfaction des sols sableux bien drainés récents. Il ne peut malheureusement être situé que par cette propriété, par référence au cordon de Tal ou au niveau T.2. On admet alors qu'il s'est formé pendant l'éolisation de ce dernier ou un plus tard. Il est possible également qu'il y ait plusieurs périodes de formations de bourrelets en un même lieu déterminé par un relief sous le vent d'une vaste surface d'eau libre et par la fragilité des dépôts éoliens antérieurs.

La nappe, jadis présente au delà de la limite septentrionale des cartes (350 mm) ne réapparaît que vers 500 mm et s'évapore dans toutes les dépressions T.1 à plus de 750 mm en en salant les sols. Ses concrétions ferrugineuses, également observées à 350 mm de pluies au Niger central, se forment actuellement à 625 mm. L'écoulement des bassins de l'Afr, actuellement à moins de 100 mm, fut plus important que celui des massifs de collines sahéliennes. La longueur active de l'Azaouak était alors comparable à celle de rivières méridionales à bassin situé à plus de 650 mm (Goulbi de Maradi). C'est donc par plusieurs centaines de millimètres, 300 à 400, que se chiffre la différence minimum de pluviosité entre la période actuelle et les périodes humides antérieures pendant lesquelles ont pu se former les sols des Dallols.

Leur succession : rubéfiés, peu rubéfiés ou bruns, hydromorphes et halomorphes, mime celle d'une chaîne. Cette convergence est due à l'abaissement des niveaux de base, à l'acquisition rapide de caractères hydromorphes,

à leur conservation en climat plus sec. Cette évolution est indépendante de celle de la couverture sableuse des versants sauf à son contact où le lessivage oblique prend place, cet effet n'ayant d'importance relative que dans les plus petites vallées. Elle est parallèle à celle de la cuvette tchadienne, sur un matériel analogue, dans le même milieu pédoclimatique dominé par la présence de nappes à faible profondeur.

1.33 Recouvrements et remblais à sols sablo-argileux

Des textures moins légères, un modelé superficiel plan, un engorgement de profondeur fréquent mais dû à des nappes très localisées et temporaires, une érosion essentiellement hydrique, caractérisent les formations qui se substituent à la couverture éolisée dans les régions méridionales, dans les dépressions du socle ou des sédiments marins. Leurs sols mêlent des caractères de sols ferrugineux lessivés, principalement la variation texturale, et de sols peu lessivés : transitions graduelles, structures massives, concentrations laminaires, concrétionnement tubulaire ou stalagniforme, dominance des termes rubéfiés dans la toposéquence d'où les sols cuirassés ou riches en volumes nodulaires ferritisés sont absents.

1.331 Les recouvrements

Les lacunes de la couverture éolienne montrent parfois des sables plus argileux en profondeur, à litage colluvial ou proluvial, plus sableux et homogènes en surface, que l'étude du Djermaganda (cf. p.268) nous a amené à tenir pour les racines des dunes qui se sont nourries progressivement des différents horizons de cette couverture ancienne. Une telle transformation se déduit également du passage graduel des plaines sableuses éolisées (cf. p.523) des vallées du Moyen Niger au manteau sablo-argileux recouvrant les glacis méridionaux (800 à 900 mm) sur grès du Ct.3. Homologues du "bas-versant" (M.2 + M.3) ces derniers étendent leurs pentes longues et faibles (moins de 2%) sous les cuirasses ferrugineuses du haut versant (M.1). Les toposéquences y ont toujours comme terme sommital un sol rubéfié de morphologie intermédiaire

entre celle des sols lessivés et celle des sols peu lessivés. Associés à des sols ferrugineux lessivés à concrétions, les sols rouges ont pu recouvrir jadis tous les versants sur grès Ct.3 (cf. p.274). Mieux conservés au sud, ils voisinent avec les sols indurés du bassin de la Tapoa (cf. p.218) ou les sols faiblement ferrallitiques de Gaya (cf. p.215). Ils peuvent également se développer seuls sur les versants des cours inférieurs des Dallols Fogha et Maouri (Série de Diargou) ou en des points isolés au sud de la région de Samberra (versants du plateau de Gourou Bassounga, sur la haute terrasse du Niger M.la). Ces variations de la toposéquence paraissent dues à des facteurs locaux lithologiques : les sols ferrallitiques se forment sur des grès très riches en sesquioxides de fer, le glacis cuirassé de la Tapoa est établi près du front des grès-quartzites voltaïens, la Série de Diargou est liée à un grès à grain très fin. Le matériau de cette dernière apparaît comme un produit d'altération légèrement remanié :

- il n'est actuellement pas visible: tout est transformé en sol rouge à structure polyédrique jusqu'au contact des grès bariolés de toutes les nuances d'ocre, situés à une profondeur médiocre n'excédant que rarement 2 m. Cependant les propriétés analytiques sont celles de grès délapidifiés.

- des sédireliques (1) : litage, fragments de roche à plat, sont parfois visibles à la base du profil où existe toujours un niveau de fragments grossiers autochtones : morceaux de grès altérés à cortex ferritisé, à formes anguleuses ou légèrement émoussées, de la taille des graviers, ou bien gravillons ferrugineux si le sommet des grès a été ferritisé en une cuirasse feuilletée, ce qui s'observe sur quelques décimètres près des thalwegs. L'emballage des éléments grossiers est de sables argileux rouges.

L'étude des sols de la Tapoa (cf. p.228) avait montré qu'une telle disposition ne pouvait provenir que de mouvements très modérés de la masse du sol en cours d'évolution, conservant la répartition des concrétions, n'usant ni ne transportant à longue distance des lithoreliques fragiles. Plus au nord ces mouvements se sont

(1) sédirelique : trait pédologique dû au mode de mise en place du matériau; traduction de "sedimentary relict" de R. BREWER par J.LARUELLE (1968).

accentués en processus d'érosion et de sédimentation puisque le niveau grossier a été transformé en reg sous-dunaire et que de véritables proluvions se sont mises en place sur les versants du Djermaganda. Mince et lacunaire, cette couverture est actuellement soumise à une forte érosion par nappe et ravineaux dont les cultures sont l'agent accélérateur.

Les sols rouges des dépressions circulaires (cf. p.130 des chanfreins des plateaux gréseux et du pied de l'Ader Douchi (cf. p.131)) sont assimilables à cet ensemble à des latitudes plus élevées (450 à 600 mm).

A l'est des Maggia, dans l'angle formé par les Goulbis N'Kaba et de Tarka à leur confluent, à 450 mm de pluies, des glacis M.3 sur sables argileux et grès fins crétacés (Cr 9-7 Sénonien-Danien) divergent d'un môle central formé par des restes du sidérolithique (Ct.1). A cette particularité ils doivent des pentes relativement appréciables (2%) pour ce type de roche très tendre, alors que l'existence locale de buttes éoliennes anciennes est le fait d'une latitude élevée. La base des sols, mal drainée et tachée, et à aspect d'horizon BC de sols ferrugineux lessivé, est le produit de la délapidification des grès; la partie supérieure, siège de la rubéfaction, peut en différer par une nuance de la granulométrie des sables. Une érosion aréolaire très forte que ne peut limiter un couvert végétal clairsemé réduit à quelques centimètres l'épipédon décoloré, produisant une apparence de sol ferrugineux non lessivé. En fait, les analyses apparentent ces sols rouges aux précédents; ils se rapprochent d'autant plus du type lessivé que le matériau a été davantage éolisé.

Des sols rubéfiés variablement lessivés n'ont été observés qu'en quelques points du socle, sur granites et schistes, au niveau des lithomarges rouges des vieilles cuirasses (cf. p.253). Les matériaux d'altération ne se prêtent donc pas à cette différenciation qui apparaîtra très largement au contraire sur les alluvions anciennes du remblai supérieur.

Une rubéfaction partiellement héritée est encore vraisemblable pour les sables argileux qui recouvrent les alluvions à galets de Maradi (cf. p.185); très prononcée, elle ne disparaît que dans les vallées. On les suppose rapportés parce que le niveau grossier situé à leur base est formé de galets plus petits, cassés, anguleux que ceux de la roche mère. Leur différenciation est fort

proche de celle des sols ferrugineux peu lessivés du-naires locaux (Série de Maradi) notamment par la présence fréquente de raies, si bien qu'il est moins certain que leur mise en place et leur évolution soit plus ancienne. Ils se sont mieux conservés au nord et en limite de la formation à galets ancienne qu'au sud et sur les interfluves où affleurent ces cailloutis. Ils recouvrent des panneaux de glacis à pentes très faibles cloisonnés de dunes dans le Gober, au nord-ouest de Maradi (500 mm). La Série très rouge de Kouroungoussa est à la limite nord des alluvions anciennes. La Série de Gidan Roungi chevauche le contact avec les grès créta-cés continentaux; elle est très fortement ravinée.

Sur les glacis du Niger oriental, les sables argileux à sols rubéfiés ne sont connus qu'en un point de l'aurole cuirassée du bassin de la Korama vers la cote 415 m, près de Dogo (560mm) au sud de Zinder. Epais de 1 mètre, sans variation texturale, mêlé de grains de quartz éolisés, ce matériau de sol est distinct de celui de la cuirasse au contact de laquelle il a nourri un concrétionnement secondaire tubulaire. En Nigeria, au Cameroun, cette bordure est faite de toposéquences à sols ferrugineux lessivés indurés où les termes rubéfiés sont très bien représentés, même sur socle (GAVAUD, 1968). Les sables argileux de Dogo pourraient être issus de la destruction d'une couverture comparable pendant la mise en place des dunes.

1.332

Les remblais

Ce sont des alluvions fluviatiles meubles, anciennes, plus ou moins bien dégagées en banquettes latérales étagées ou en fausses levées. Elles sont homologues des niveaux topographiques des Dallols dans les bassins où la sédimentation ne fut pas exclusivement sableuse. Comme ces derniers, les remblais peuvent être regroupés par similitude pédologique et morphologique :

- le remblai supérieur recouvre des cailloutis à matrice hydromorphe tapissant l'entaille de la basse terrasse (cf. p.192); il est formé de sables fins argileux où dominant des sols rubéfiés, sauf en amont du Gorouol où ils sont remplacés par des argiles sableuses verticales (cf. p. 337). Il est très constant et homologue de T.3.

- le remblai inférieur s'emboîte dans le précédent; il

est formé de sables fins argileux hydromorphes, plus souvent disposés en fausse levée qu'en banquette; il est l'homologue de T.2.

- des alluvions plus récentes à actuelles colmatent les fonds en débordant légèrement du lit majeur; elles sont très argileuses en région sahélienne et homologues du T.1a; des sables stratifiés hétérogènes les remplacent au sud sur le socle; elles disparaissent du cours aval des affluents actifs du Niger dont elles ont été déblayées par érosion régressive.

La nappe phréatique est absente des banquettes des remblais supérieurs et inférieurs, après y avoir laissé des traces manifestes; cet assèchement peut être parfait par ravinement. Elle existe encore au moins temporairement à la base des fausses levées.

Ces formations, nommées remblais par J.VOGT qui a précisément visité le bassin de la Mekrou (1960) paraissent s'étendre à tous les bassins d'Afrique occidentale jusqu'au Sénégal (P.MICHEL, 1959). L'homogénéité pédologique et texturale du remblai supérieur des vallées du Niger est un fait très étonnant à lui seul à cause de la diversité des roches et de l'extension en latitude. Les chapitres précédents en font pressentir les raisons, d'essence climatique. Les couvertures de sols anciennes, ferrugineuses (M.1 à M.3) ou fersiallitiques (M.3, cf. p. 363) peuvent être l'origine de ces matériaux généralement peu argileux, à capacité d'échange faible ou modérée. Le dessèchement contemporain des invasions dunaires a pu porter l'érosion des sols à un niveau supérieur à la capacité de transport des cours d'eau; localement les dunes ont pu elles-mêmes faire office de barrage. La rubéfaction de flats qui pouvaient n'être pas aussi bien drainés qu'ils ne le sont, est plus difficile à comprendre, mais elle est générale de tous les matériaux non argileux dont la mise en place peut être reliée à cette période d'érosion intense, ce qui suggère qu'elle a été suivie d'un climat suffisamment humide pour que le gradient pluviométrique n'ait qu'une faible influence sur cette pédogenèse.

1.3321 La Mekrou et la Tapoa
.....

Les remblais des vallées de la Tapoa et de la Mekrou, entre 750 et 850 mm de pluies, ont pour origine une couverture de sols ferrugineux lessivés sur Voltaïen en amont, sur grès continentaux Ct.3 en aval. Les sols du remblai

supérieur sont analogues à ceux des sables argileux qui recouvrent encore les versants gréseux (Série de Diargou) mais différents des sols ferrugineux lessivés actuels en place sur les grès-quartzites voltaïens (cf. p.305). Des micas montrent cependant qu'en tous points des apports issus du socle sont entrés dans ces alluvions. D'autre part le rougissement du remblai supérieur apparaît encore sur granites dont la couverture de sols a été pauvre en sols rubéfiés. Il faut en conclure que la couleur dominante de ce dernier n'est pas un héritage mais résulte d'une évolution propre qui, dans le cas des grès continentaux, converge vers celle des sols de glacis. Le long de ces deux rivières, les alluvions anciennes se disposent en banquettes de largeur médiocre (100 à 1.000 m) en voie de déblaiement par ravinement. Sur la Mekrou, on a relevé les cotes suivantes :

Amont; frontière du Dahomey 211 m	Aval; coude de Mekrou 204	lit mineur; restes cimentés par des oxydes de manganèse des "graviers sous berge"; pas d'alluvions fines.
214	208	levée de débordement; sables fins argileux beiges; sols peu évolués ou sols minéraux.
215	absent	remblai inférieur; flat de quelques hectares à sables fins argileux hydromorphes gris ou bruns.
227	227	sommet du remblai supérieur; légère pente transversale.
227-229 229-237	227-240	talus chanfrein d'érosion sur le conglomérat de basse terrasse (M.2) et les schistes altérés du Buem. glacis gravillonnaire dont la pente (0,7%) se raccorde à celle du remblai supérieur.
240	240-251	sommet de la corniche de basse terrasse. décrochement entaillant les grès de base du Continental Terminal et situé à l'aval d'un glacis bowalisé.

Les dépôts du remblai supérieur croissent en finesse et homogénéité vers le sommet où affleurent les sables fins argileux rubéfiés caractéristiques. La partie moyenne est formée de sables graveleux lités bariolés, légèrement concrétionnés et consolidés, la base de cailloutis hétérogènes à emballage de même nature que ci-dessus avec traces de circulation oblique. Le contact avec les schistes altérés du Buem se fait par un pavage de gros blocs (10-15 cm). L'épaisseur totale dépasse cinq mètres. La surface, doucement inclinée vers la Mekrou, est déformée de petites dépressions à sols plus foncés brun ocre représentant d'anciens axes de drainage. Nous n'avons pas retrouvé les "limons jaunes se chargeant de nodules calcaires" mentionnés par J.VOGT (1960) et qui indiqueraient une action de nappe carbonatée à la base de tout ou partie de la toposéquence analogue à celle qui existe dans certains remblais à sols rubéfiés de la cuvette tchadienne (cf. infra).

Des restes d'habitat (fonds de cabane, poteries, mortiers) témoignent d'une ancienne occupation agricole du remblai supérieur qui portait les seules terres faciles à cultiver de ces bassins. Leurs auteurs ont du être témoins de la désastreuse érosion de cette formation. Minutieusement décrite par J.VOGT, elle débute par des incisions de la berge écoulant les eaux d'un réseau digité de ravines régressives. Favorisé par les différences de cohésion des divers niveaux, un mécanisme analogue à celui des nappes ravinantes élargit les incisions dont la coalescence engendre des cirques évidés qui fusionnent eux-mêmes en un front continu régressif. A ce stade on observe :

- en amont une zone de ruissellement diffus à surface décapée et durcie; les eaux se concentrent au niveau du talus en rigoles larges de quelques mètres et profondes de quelques décimètres qui à leur débouché affouillent la base de l'escarpement;
- le talus, haut de plusieurs mètres, à paroi verticale;
- en aval une seconde zone de ruissellement; plutôt diffus au contact du talus, il finit par se concentrer en ravines qui suffisent à déblayer tous les produits d'érosion; le plancher de la partie évidée, net et raboté, n'est jamais établi sur les sables rubéfiés, mais sur des niveaux inférieurs plus cohérents du fait de leur texture plus argileuse, ou d'une

forte proportion de graviers, ou d'une compaction plus élevée, ou de la présence de taches et concrétions ferrugineuses.

Sans être original, puisqu'on le retrouvera dans les Maggia (cf. p. 570) le mode d'érosion du remblai, de la Mekrou et de la Tapoa est surprenant par son ampleur. Cet excès n'est pas dû à des propriétés physiques spécialement mauvaises; la battance des horizons A, le durcissement des horizons B mis à nu sont des propriétés qui favorisent le ruissellement dans tous les sols ferrugineux, sablo-argileux. Il n'est pas provoqué non plus par une végétation extraordinairement dégradée. La mise en réserve intégrale n'y est pas étendue, il est vrai, le développement de la seule formation climacique qui puisse limiter sérieusement le ruissellement, à savoir la forêt claire, mais les formations plus lâches de savane qui la remplacent y sont plutôt plus denses que dans les lieux habités. Deux circonstances favorisent actuellement l'érosion :

- les bassins ne possèdent pratiquement plus de sols à forte capacité de rétention d'eau mais au contraire des sols moins régiques, sur gravillons et cuirasses, dont les couleurs ternes et la compacité dénoncent l'imperméabilité. Or l'afflux des eaux amont est nécessaire aux premiers stades à ravines du déblaiement.

- Le niveau de base est si bas que le remblai le domine de plusieurs mètres même pendant la crue d'hivernage. Le thalweg de la Mekrou est plus enfoncé par rapport aux alluvions que ceux de la Sirba, du Gorouol dont seuls les remblais inférieurs ont été déblayés sur les vingt derniers kilomètres.

Elles existent depuis vraisemblablement plus de temps que l'érosion ne progresse à cette allure. Le remblai supérieur est né du décapage des glacis. Le creusement du lit a suivi nécessairement celui du Niger, situé entre le dépôt des sables du Dallol Bosso, perchés à 9 m au-dessus du lit majeur, et celui des argiles T.la. Il est donc vieux de plusieurs millénaires. Il a donc fallu qu'un accident, par exemple les défrichements, déclenche le ravinement que l'enfoncement du niveau de base avait préparé mais que la densité de la végétation empêchait. Une fois formés, ces bad-lands se sont entretenus, même après le départ des populations agricoles; la recolonisation par la forêt claire est en effet limitée par un drainage excessif, par l'imperméabilisation et la compaction superficielles des horizons mis à nu, accessoirement par les troupeaux d'éléphants,

grands devastateurs d'arbustes et démolisseurs de berges.

1.3322 Goroubi, Dyamangou
.....

Leur cours supérieur draine les glacis à sols ferrugineux lessivés du socle cristallin, entre 600 et 700 mm de pluies. Le remblai supérieur, rubéfié, n'a été que très peu entaillé si bien que sa base est au contact de la zone d'inondation et que son érosion ne dépasse pas le stade aréolaire habituel en dépit d'un peuplement assez dense. Le cours inférieur s'enfonce plus profondément dans les grès Ct.3 et ne montre plus que des alluvions sableuses récentes.

1.3323 La Sirba
.....

Entre 550 et 600 mm son cours draine des granites et schistes birrimiens dont les apports se mêlent à ceux de grès continentaux en aval. Près de la frontière voltaïque, à Curo-Sawabé, l'homologue topographique du remblai supérieur est formé de colluvions argilo-sableuses brun-jaune à lits de gravillons, plaquées à la base de glacis cuirassés (M.2). Son évolution, passablement indécise, tient de celle des sols ferrugineux à profil bruni par mauvais drainage interne. Le remblai inférieur forme un beau flat hydromorphe partiellement recouvert par la crue. En aval les sables argileux rubéfiés font leur apparition non seulement dans l'entaille de la basse terrasse indurée (cote 210 m, près de Boulkagou) mais aussi sur cette dernière (cote 214). Ils y montrent des traces d'orientation éolienne dans les motifs dessinés par la végétation. Une origine locale pourrait en être l'argile d'altération ferritisée sous-jacente aux conglomérats. Le remblai inférieur est très réduit et en voie de déblaiement.

1.3324 Le Gorouol
.....

Son bassin, sur granites et schistes birrimiens, diffère par l'extension des glacis non concrétionnés (M.3) et par un ensablement copieux dû à sa situation sahélienne (400 à 500 mm). Des sables rubéfiés plus ou moins argileux longent son cours jusqu'à une cote qui n'excède pas de dix mètres celle du lit majeur. Ils sont épais de moins de deux mètres, soumis à un décapage superficiel important. Le plus souvent ils forment des placages à la base même des glacis nus M.3. Ils reposent alors sur une

variante plus grossière et émoussée de l'horizon de fragments de roche et de cuirasse qui recouvre ces derniers dans laquelle des nappes très temporaires déposent des oxydes de manganèse et du carbonate de calcium. Ils ont été également observés en un point sur les cailloutis ferritisés de basse terrasse (M.2 ?) au sud de Dolbel et plus largement au confluent du Niger sur une nappe de galets de quartz assimilés aux graviers sous berge. Par sa granulométrie, par la présence de sables éoliens, ce matériel s'apparente aux sables proluviaux situés à la base des dunes émoussées à sols évolués d'un bassin sur schistes situé à l'est de Ouangerbé, ce qui situerait sa mise en place au début de l'invasion dunnaire. La finesse et l'homogénéité supérieures des horizons de surface, le passage latéral aux sables de dunes basses (cf. fig. 51) corroborent cette interprétation. Le remblai supérieur paraît au contraire fossilisé par les sables très pauvres en argile et limon des dunes hautes qui bordent la branche ouest-est du Gorouol, vers Alkongui; cette apparence est produite par la disposition topographique et l'inversion de la toposéquence: sols rouges (haute crête dunnaire) sols gris à raies (pied de dune) sols rouges (remblai). Ce sont ces sables et non ceux du remblai supérieur, qui fossilisent la plaine de cailloutis (M.3 ?) situés au sud-ouest du confluent du Niger.

Des sols rubéfiés, mais plus sableux et à action de nappe plus prononcée, se sont également formés sur de minces bourrelets dominant de 2 à 3 mètres le lit majeur. Ils sont disposés latéralement ou groupés en faisceaux divergeant vers l'aval et ressemblent à d'anciens cônes d'épandage. A cause de leurs sables et de leur situation ils sont tenus pour des dépôts de rupture des barrages dunaires dont la réalité est confirmée par la disposition des cordons de part et d'autre du cours et par le dépôt d'argiles au niveau du remblai supérieur en amont de l'erg de Fatatako (cf. p. 367).

Le remblai inférieur est confondu avec la masse des alluvions de lit majeur lorsque ces dernières ne sont pas des argiles de décantation. Nous lui attribuons des levées plus basses et étroites à sols hydromorphes gris correspondant à des chenaux plats d'écoulement anciennement creusés dans les "levées" rubéfiées tout juste au-dessus du niveau actuel des hautes eaux. Ce sont ces sables gris et bruns qui ont formé le bouchon sableux qui a provoqué le dépôt des argiles du Beli (T.1a).

Donc en région actuellement sahélienne, le remblai à sols rouges paraît s'être mis en place pendant les périodes de forte érosion et d'écoulement plus ou moins difficile qui ont encadré la mise en place des dunes basses. Le matériel a d'abord été arraché principalement à la couverture pédologique du bas modelé (M.3) dont on a admis qu'elle pouvait différer quelque peu de son état actuel. Il a été étalé aux pieds des glacis puis variablement éolisé. Après qu'un retour de conditions plus humides ait mis en place des argiles, il s'est accru de dépôts de rupture de barrages dunaires dans le lit majeur. Le tout a évolué uniformément en sols rouges bien que la nappe fût partout présente en profondeur, au moins temporairement, sauf si le matériau était trop argileux. Les dunes hautes paraissent postérieures à cette évolution, qu'elles sépareraient de la mise en place des sables et des argiles à sols hydromorphes.

1.3325 La Maggia et les vallées de l'Ader Douchi

La plupart des sols de ces vallées, situées entre les isohyètes 350 et 600 mm, souffrent d'une grande sécheresse édaphique due à un ruissellement et une érosion importants et favorisés par des pentes relativement fortes. Elles sont creusées dans un ensemble monoclinal plongeant de 3% vers l'ouest-sud ouest jusqu'aux grès et argilites du Ct 2-3 dont les modelés subhorizontaux ont donné un niveau de base local stable dans le temps et l'espace. En aval le creusement n'a pu aller au delà de la chape très dure que formait la surface supérieure établie sur le sidérolithique (Ct.1); il n'a produit que des exutoires resserrés dont la profondeur ne dépasse pas quelques mètres et la largeur 200 m. En amont il atteint des couches plus tendres, marno-calcaires et shales de l'Eocène, sables, pélites, argilites du Maestrichtien qui ont été déblayées, surtout par recul de versants, sur plus de 10 km de largeur et 250 m de profondeur. Cette adaptation du réseau à la structure lui a donné un plan triangulaire fort visible sur les cartes (J.URVOY, 1942) et un profil où des escarpements de plus de 100 m s'abaissent jusqu'à moins de cinq mètres en aval.

C'est donc en amont que sont observés les dépôts les plus variés. Le plus ancien pave une entaille déjà largement évasée (fig. 29) de gros blocs du sidérolithique pris dans une matrice brun-rouge foncé de même origine, plus exactement à oolithes ferrugineux, grains de quartz et argiles ferritisés à basse capacité d'échange. Il conserve

cette composition où le creusement a été suffisant pour dégager largement l'Eocène de telle sorte qu'on peut attribuer à une période d'altération plus forte que l'actuelle la couverture de sols à l'origine de cette nappe détritique. Parce qu'elle ressemble quelque peu à une boue de solifluxion, qu'elle paraît se raccorder à des versants inactuels convexes, sa mise en place elle-même a pu également être attribuée à un climat humide (J.DRESCH, 1960). Sa disposition plus habituelle en pavage en fait cependant l'homologue des résidus d'altération et d'érosion qui recouvrent les glacis du reste du Niger. Pédologiquement homogène, il peut être subdivisé par corrélation avec des étapes du creusement (G.BOCQUIER, 1964, in M.GAVAUD, 1964, fig.5 p.XVI) et a subi in fine un cuirassement très partiel qui forme le niveau induré principal, sinon unique, des profils transversaux. C'est pour cette raison que nous l'avons assimilé aux formations similaires du modelé M.1 du socle.

Des sables argileux à sols rubéfiés lui succèdent. Ils colmatent une entaille disséquant irrégulièrement le glacis à pavage et recreusant le fonds des vallées, ce qui leur donne des pentes variant de 5% à quelques millièmes, sans que cela paraisse avoir influencé la pédogenèse autrement que par des nuances texturales : les dépôts de pente sont plus argileux, les remblais de fonds sont plus sableux, surtout vers l'aval. Au glacis de piedmont qu'ils revêtent, on raccorde les versants structuraux, à corniches, gradins, etc..., qui actuellement limitent les vallées. Cet indice de période plus sèche est confirmé par la nature des sables argileux : aux quartz, oolithes, argiles à basse capacité d'échange se mêlent des lentilles d'argiles plus gonflantes en même temps que le passage latéral à une couverture de sols bruns tirsifiés ou calcimorphes sur des supports géologiques adéquats, a été observé. La très grande extension de ces sables jusqu'aux exutoires a permis d'identifier le collecteur principal de l'Ader Douchi, le Dallol Rafi, qui sinue dans les bas glacis du Ct.2 jusqu'au nord de Dogondouchi où il rejoint le Dallol Maouri. Ils ont subi une action de nappe prononcée aux curieux effets : concrétionnement ferrugineux à faciès stalagmiforme ou spongieux géants (on connaît des aiguilles ferritisées de 30 cm de hauteur) encroûtement à grès calcaires de profondeur et travertins de surface à la base des versants éocènes. Ces dépôts de sources carbonatées sont d'autant plus remarquables qu'actuellement celles qui subsistent ne sont même pas incrustantes et que plus généralement les concentrations calcaires se

limitent aux nodules des alluvions récentes. Des causes possibles de cette différence l'une d'elles, des températures plus basses, suggère que les climats humides anciens n'ont pas nécessairement de modèle actuel dans cette partie de l'Afrique. Par ses sols où les types ferrugineux se mêlent aux types smectitiques selon la nature du substrat et par la situation topographique, cet ensemble est l'équivalent tout à la fois de la couverture pédologique du bas modelé M.3 et du remblai supérieur.

Son éolisation y a produit les mêmes formes que dans le reste du Niger. Nulle en amont, elle est plus prononcée en aval où la sédimentation fut plus sableuse ainsi que sur les versants ouest et sud. Un réseau en écailles juxtaposant des buttes transversales sud-sud ouest (100 x 50 x 1 m) représente les dunes basses, un erg de rides transversales (cf. p. 525) et des dunes d'obstacles escadant le plateau figure les dunes hautes. A Toudouni, un cordon fossilisé des vertisols du glacis de piedmont et les sables éolisés ne sont jamais aussi fortement concrétionnés que les sables argileux; aussi suppose-t-on que l'évolution pédologique de ces derniers a pu commencer avant la formation des ergs.

Des flats d'argile de décantation (Adouna, Keita) ont recouvert localement les sables argileux et les formes éoliennes les plus basses derrière les barrages dus aux grands massifs dunaires. Le relèvement corrélatif de la nappe a produit des sols spéciaux, tout spécialement observés près de Birni N'Konni (R. BOULET, 1964, p. 209) où la rubéfaction s'est maintenue en surface mais a été remplacée par le barolage et le jaunissement du pseudogley en profondeur. La rupture des seuils sableux a amorcé une modeste reprise de l'érosion linéaire suivie de la mise en place de cônes d'épandage dans cette nouvelle entaille et de colluvions sur des parties rajeunies des glacis et versants. Ces matériaux n'ont en commun que leur faible évolution pédologique. Leur très grande hétérogénéité texturale et minéralogique héritée de la multiplicité des sols anciens et des roches empêche qu'on y recherche un ensemble ayant l'homogénéité du remblai inférieur.

Actuellement les sables argileux des glacis amont sont découpés en buttes résiduelles par un réseau convergent où des faisceaux parallèles de profondes ravines écoulent les eaux de ruissellement des versants rocheux. Comme leur surface est de surcroît décapée par l'érosion en nappe, ils sont privés d'eau, morts et abandonnés par les

agriculteurs. Le niveau de base de ces écoulements discontinus étant purement local, la cause de cette érosion spectaculaire est encore l'inadaptation des pentes primitives à la couverture végétale sahélienne actuelle. Elle existe également dans les fonds des hautes vallées où elle peut être compliquée par le rattrapage longitudinal des inégalités topographiques dues aux apports latéraux d'alluvions plus récentes. En aval ils peuvent être mieux conservés et fossilisés par les cônes d'épandage. La nappe sous-alluviale peut encore les y atteindre. Son niveau, largement fluctuant selon la pluviosité, peut encore être relevé par des barrages pour l'irrigation. On constate alors que la rubéfaction peut n'être pratiquement pas affectée en une dizaine d'années pour des durées d'engorgement atteignant trois mois par an et qu'elle ne disparaît qu'en profondeur et sur le trajet des racines lorsque ce régime se prolonge pendant plusieurs décades et s'accompagne de décantation argileuse.

Les ressemblances entre la succession des sols des alluvions de ces vallées isolées à la lithologie variée et les précédentes fait apparaître ce qu'il y a de purement climatique dans leur déroulement. Une première époque est définie par la plus grande stabilité des sols kaoliniques, par des horizons résiduels ou des nappes détritiques grossières siège d'un certain cuirassement. Une seconde commence par une sédimentation plus fine où l'héritage pédologique ne suffit pas à masquer une diversification des sols selon le substrat; les sols ferrugineux, ici largement rubéfiés, se cantonnent aux matériaux perméables et/ou à basse capacité d'échange. L'humidité des périodes de formation des sols y est plus faible qu'antérieurement mais plus forte que de nos jours. Les températures pouvaient également y être plus basses. Cette tendance à l'assèchement a été suffisante pour que les fluctuations arides, vraisemblablement érosives, soient de type désertique. La troisième époque est définie par la disparition de la rubéfaction des alluvions post-dunaires où les argiles de décantation sont bien représentées. Les sols rouges s'y révèlent très stables vis-à-vis des conditions actuelles de drainage, naturelles ou artificielles, mais en déséquilibre avec leur couverture végétale qui ne suffit plus à les protéger de l'érosion sur les parties déclives de leur ancienne topographie.

Il s'étend sur une aire triangulaire limitée au sud-est et au nord-est par les alluvions inactuelles de la Komadougou, au nord-ouest par les plages périlacustres anciennes de Sayam (fig.60). En rive gauche du fleuve, de Boudoum à Geskerou, il forme une vaste plaine, sans traces nettes de morphologie fluviale ou éolienne qui lui soit propre. Les vieux méandres qui le recoupent, les buttes éoliennes qui le parsèment sont en effet à sols plus juvéniles, bruns ou hydromorphes. Il domine de quelques mètres les alluvions hydromorphes sous lesquels il finit par disparaître en aval vers la cote 295. Il s'abaisse vers la terrasse périlacustre dans un sillon lui-même colmaté par une série fluviale différant légèrement de la précédente par des vertisols plus étendus et évolués et des cotes plus élevées. Il en émerge en buttes irrégulières dont les sommets paraissent se raccorder au pied de la terrasse lacustre dont la nature sédimentologique et pédologique est toute différente (sables très pauvres en argile à sols bruns). Ses caractères pédologiques les plus frappants sont :

- une rubéfaction prononcée, superficielle, largement étendue sur la toposéquence;

- une variation texturale très appréciable de sols lessivés;

- des actions de nappe en profondeur, pseudogley et carbonatation, inactuelles. La nappe est en effet à plus de 15 m de profondeur pour peu qu'on s'éloigne des berges du fleuve.

Ce sont ceux de sols bien plus évolués qu'aucun situé au Niger (pluviosité : 350 mm) à l'intérieur de la limite lacustre de 320 m ou, plus précisément, dont la mise en place est contemporaine ou postérieure à cette marge. On les retrouve dans des formations similaires par leur topographie et leurs caractères sédimentologiques de Nigeria et du Cameroun (M. GAVAUD, 1968) :

- symétriquement sur la rive nigériane de la Komadougou (cf. fig. 41)

- près de Maiduguri (lat. 12° N., pluviosité de 600 mm) de part et d'autre du cordon de 320 m; des traces de direction longitudinale sud-ouest y sont visibles; la

carbonatation est très prononcée et va jusqu'à la formation de sols à encroûtement et croûte calcaire.

- près de Gumel (sud de Magaria, pluviosité de 700 mm) dans des interdunes des "sables du Manga" (cf p. 539).

- au Cameroun près de Yagoua (1.000 m) en amont du cordon de 320 m. Des nodules calcaires truffent la base des sables argileux qui sont découpés par des lignes de rivage et recouverts de dunes longitudinales (cf. p. 542). Ce matériau s'est mis en place dans une entaille aux pieds du bas modelé M.3 sur socle à toposéquence de sols ferrugineux lessivés et de sols vertiques et/ou halomorphes.

Les sables argileux rubéfiés du Kadzel seraient donc des vestiges d'une formation ancienne ayant largement occupé la cuvette avant qu'elle ne soit encombrée des dunes et des alluvions à sols hydromorphes. Sa rubéfaction, acquise antérieurement au lac de 320 m, implique que les périodes de pédogenèse ne coïncident pas nécessairement avec de hauts niveaux lacustres généralisés ou encore que ces derniers n'ont été que locaux. Elle a pu résister à l'inondation, déduction également faite à propos des sols de l'Ader Douchi. Cette formation est homologue du remblai supérieur des rivières du Niger occidental par la nature et l'uniformité latitudinale de ses caractères pédologiques et sédimentologiques, par sa situation présumée par rapport aux grands ensembles de sols.

L'histoire récente en a été marquée par l'édification des buttes à sols bruns et par une érosion superficielle extraordinairement généralisée qui a affecté toute la toposéquence. Le contact de l'épipédon sur les horizons rouges est en effet planique, souligné par un durcissement superficiel des horizons B ou par un encroûtement pluvial fossilisé ou par un lit de débris où abondent les tessons de poteries. Les horizons de surface ainsi remaniés ne diffèrent cependant pas de ceux des quelques profils apparemment non perturbés. Ils existent aussi bien dans les aires cultivées que dans les surfaces actuellement inhabitées. Dans les premières le niveau travaillé à la houe est distinct des horizons surmontant le contact planique et n'en occupe que la partie supérieure. Cette érosion est donc ancienne, plus prononcée qu'actuellement et associée à des traces anthropiques. Sur ce terroir, favorisé par la nature

des sols et la proximité de la Komadougou, la cause en fut vraisemblablement un excès cultural dont l'origine fut soit une surpopulation, soit une suite d'années à pluies déficitaires qui limitèrent la reconstitution des jachères.

Plusieurs phases sont donc discernables dans l'histoire des sols rubéfiés du Kadzel :

- mise en place fluviatile et éolienne coupée de périodes d'évolution rubéfiante;
- inondation par le lac de "320 m";
- haut niveau phréatique correspondant au palier lacustre de 300 m et au dépôt des alluvions du sillon central;
- formation de buttes éoliennes pendant le retrait du lac à la cote 287 m, puis à la cote actuelle (282 m, + ou - 2 m) sur les sables à sols rouges et sur une deuxième série d'alluvions inactuelles de la Komadougou;
- forte érosion anthropique.

1.3327

Résumé

.....

Par la nature de leurs sols si proche de celle des sols sableux, les recouvrements sablo-argileux les plus anciens montrent à l'évidence que la mise en place des dunes et leur évolution a été préparée par une transformation progressive et liée des types de pédogenèse et d'érosion, chaque génération de sols fournissant le matériel le plus apte à être déplacé par la crise érosive suivante. A cette époque l'évolution en sol ferrugineux rubéfié eut une grande extension latitudinale, ce qui suggère que la pluviosité fut assez élevée pour effacer l'effet du gradient pluviométrique. Cette continuité pousserait à rechercher les climats correspondants dans la gamme actuelle si les **concentrations** calcaires de l'Ader Douchi n'indiquaient au contraire un milieu exotique. Schématiquement le remblai supérieur peut être divisé en un matériau plus grossier précurseur des dunes et une phase plus fine à morphoscopie ou morphologie éolisée qui coïncide avec le matériau du solium. Sa mise en place a pu s'étaler sur une plus longue durée dans le sud où elle est due à un déséquilibre entre la capacité de transport et l'érosion des sols de glaciés.

Dans le nord elle a encadré la période dunaire qui a vu le tarissement des plus grands fleuves. La seconde phase y a revêtu des aspects particuliers : argiles de décantation , fausses levées de rupture de barrages dunaire. Les degrés d'évolution sont cependant fort proches, ce qui suggère que la durée de la pédogenèse est longue par rapport aux décalages chronologiques, l'effet de ces derniers étant de surcroît diminué par l'inefficacité probable des climats de transition à pluviosité encore basse, tels ceux des régions actuellement à 250 mm et moins. Les sols du remblai supérieur sont morphologiquement moins variés que ceux des glacis. Comme il n'y a pas de raisons pour que les relations entre ces deux ensembles diffèrent, il faut que les sols de glacis soient tous équivalents comme source de matériau. Ils ne peuvent l'être par leur morphologie, puisque les sols rouges sont de beaucoup plus fréquents sur les grès, mais par leur constitution riche en sables et à argiles à basse capacité d'échange. Cette équivalence est d'ailleurs exprimée par une classification commune en sols ferrugineux sinon voisine en sols fersiallitiques. Les ressemblances morphologiques entre glacis et remblai ne sont donc pas dues à un héritage direct mais à une convergence qui peut être localement accentuée par une singularité constitutionnelle, telle la richesse en hydroxydes de fer. La rubéfaction appartient ainsi en propre au pédoclimat du remblai. Qu'elle se soit manifestée en topographie plane avec un niveau phréatique élevé est un fait énigmatique que nous avons déjà noté sur le T.3 des Dallols. Elle est également et singulièrement stable lorsque le sol vient à être engorgé par nappe ou inondation. Cette stabilité s'accompagne malheureusement d'une très forte érodibilité. La végétation qui, indemne, parvenait à contenir un déséquilibre topographique latent, est incapable de se réinstaller dans les conditions climatiques présentes lorsque le déblaiement est commencé. Un régime agronomique aux moyens techniques peu puissants a ainsi suffi à créer des aires d'érosion grave et irréversible.

1.34

S t r a t i g r a p h i e

Les coupes sont rares et d'interprétation difficile parce que les horizons sont transformés par l'érosion et des modifications du pédoclimat lors de leur

fossilisation. Aussi la stratigraphie ne joue-t-elle qu'un rôle limité et tout de vérification dans les interprétations des ensembles de sols et peut-elle être présentée dans cet unique et court paragraphe.

La disposition des dunes émoussées montre qu'elles recouvrent toutes les formes en se développant surtout sur la plus récente et la plus étendue, le bas modelé M.3. C'est donc ce contact qui a été le plus souvent noté :

- sur horizon B concrétionné de sols ferrugineux lessivés sur argile gréseuse du Ct.2 (profil NI 41, pluviosité de 400 mm)
- sur proluvions de grès ayant subi une première évolution pédologique (cf. p. 295)
- sur horizon vertique (p. 332)
- sur arène de granites calco-alcalins (NE 61, 625 mm)
- sur graviers de quartz de la basse terrasse sur Ct.2 (NL 12, 400 mm)
- le plus souvent sur l'horizon grossier caractéristique des sols de M.3, transformé en reg à sommet parfaitement plan par élimination de la matrice ou par substitution de sables éoliens à cette dernière.

Il a permis de constater que l'invasion dunaire était le paroxysme d'une période d'érosion des sols constituant un hiatus important dans l'évolution pédologique des bas glaciaires.

Dans le bassin du Gorouol, la base des dunes émoussées peut être formée de sables proluviaux concrétionnés et bariolés par action de nappe :

site de Ouanzerbé (GB 45)

Lat. : 14° 42' 50" N.
Long. : 0° 23' 10" E.

Petit bassin clos de collines schisteuses cuirassées, disposition excluant tout apport allogène; fort ravinement; pluviosité de 440 mm.

Surface : la surface des sables proluviaux, concrétionnés,

est exhumée de sous les sables dunaires et découpée en buttes tronconiques à sommet remarquablement plan

- 0-0,45 m : concrétions ferrugineuses stalagmiformes (de nappe) verticales (10 x 3 cm) localement coalescentes; squelette de grains de quartz et de fragments de schistes
- 0,45-1,2 m : sables rubéfiés (2,5 YR 5/6) à lits de quartz; peuvent être considérés comme horizon IIBC du profil de sol ferrugineux peu lessivé à horizon B rouge 2,5 YR des sables dunaires sus-jacents
- 1,2-3,7 m : lits de quartz anguleux (2 cm) de fragments de schistes (à plat) dans une matrice de sables de taille moyenne (médiane de 0,22 mm) renfermant 5% de grains éolisés (ronds et mats); nombreuses taches rouges
- 3,7-5 m : ces mêmes sables bariolés de blanc, jaune (10 YR 6/8) rouge (2,5 YR 4/6) compacts et durcis
- base : à 50 m de là, à la cote 6-3 m, ces sables ravinent des schistes non altérés.

Le mélange de sables éolisés et de fragments de roche sains, la continuité de la coupe et de l'évolution pédologique, suggèrent que ces sables proluviaux ne sont pas stratigraphiquement distincts des sables des dunes émoussées mais témoignent d'une phase où, sur le substratum déjà mis à nu, un certain écoulement persistait localement au milieu de formations dunaires déjà différenciées avant une aridification plus complète. Ces caractères composites ont été retrouvés dans le remblai supérieur du Gorouol et au sommet des graviers sous berges du Niger (fig. 46).

La superposition de plusieurs ensembles de sols dunaires apparaît sur les coupes topographiques de dunes longitudinales complexes du Liptako (fig. 62) où sur un "socle" à sols évolués s'élève un cordon à sols peu structurés lui-même coiffé de nebkas à sols peu évolués. Cette succession est parallèle à celle qui a été observée sur des dunes du Sahara (H. ALIMEN, 1957) : un socle dissymétrique à matériel conservant les caractères de sables ruisselés porte les pentes symétriques d'un "étage moyen"

à sables mieux triés unimodaux et d'un "étage supérieur" à sables "gaussiens". Elle est alors attribuée à la seule dynamique dunaire. Comme, au Liptako, il est certain que la coiffe sommitale, au moins, est un remaniement plus récent, parfois actuel, on peut en déduire que la localisation des atteintes éoliennes successives a été guidée par la structure primitive des dunes.

Les inversions de toposéquence, où les sols gris à raies du front des dunes hautes dominant les sols rouges des dunes basses (fig. 50) ou du remblai supérieur (fig. 52) sont également interprétées par la superposition de deux ensembles successifs de sols.

L'emboîtement des deux remblais a été clairement observé le long de la Mekrou. Celui du niveau T.2 par le niveau T.3 n'est apparent que sur des coupes topographiques de la vallée du Niger (fig. 45). Les sables du premier peuvent au contraire être identiques à ceux de la base du second lorsque ce dernier est granuloclassé (cf. p. 555, Goulbi de Maradi). T.2 est plutôt un niveau topographique et pédologique devant ses caractères du fait d'avoir été tardivement exhumé et soustrait aux actions de nappe qu'un horizon stratigraphique très distinct de T.3.

1.35

C o n c l u s i o n s

L'invasion sableuse confirme la tendance générale à l'assèchement enregistrée par la succession des sols de glacis ainsi que la coïncidence des fluctuations sèches et des périodes d'érosion. Cette sélection texturale, dont l'accumulation éolienne est le facteur principal, a restreint l'éventail morphologique des sols autant que l'homogénéité pédogénétique de la couverture antérieure. L'élimination du plasma minéral par des reprises éoliennes et hydriques a produit des générations successives de sols de moins en moins évolués dont le caractère juvénile a été accentué par la diminution de pluviosité des périodes pédogénétiques également attestées par les baisses de niveaux phréatiques et lacustres. Les sols bruns et peu évolués des plages du lac Tchad démontrent cette atténuation dans le temps dont nous pensons retrouver des étapes dans les différences qui séparent les sols des recouvrements, des dunes émoussées, des dunes hautes. L'analyse des retouches éoliennes s'exerçant actuellement

sur les champs dunaires a montré qu'elles tendaient à se localiser sur les mêmes sites topographiques, sur les mêmes aires à sols fragiles, dans la zone séparant le sahel du désert. Il est donc vraisemblable que les péjorations pluviométriques ont entraîné des crises érosives qui ont maintenu ou accru les décalages d'évolution dont les causes premières pouvaient être, a priori, des différences de matériau et d'âge. L'existence de paysages en petit nombre et homologues sur les remblais et les dunes est l'argument principal qui fait subordonner les premières aux secondes. Cette solution est la plus simple pour n'être jamais contredite et pour n'admettre qu'un petit nombre de faits résiduels interprétables par des hypothèses supplémentaires : l'angle des deux systèmes dunaires est fonction de la direction du vent efficace, les sables des Dallols et de la cuvette doivent aux grès continentaux leur pauvreté en argile et corrélativement le fait qu'ils ont essentiellement enregistré les événements les plus récents, des types texturaux plus légers ont pu exister parmi les sols des dunes émoussées (cf. p. 526).

La suite des événements de chaque oscillation climatique nous paraît la suivante :

- par dessèchement, les sols subissent l'érosion mixte hydrique et éolienne de la zone de transition (100 à 250 mm); les plus évolués, les moins exposés échappent partiellement à cette réjuvenation qui ne déplace pas les grandes masses sableuses. La limite méridionale de l'érosion s'irradie vers le sud sur les formes les plus sensibles, tels les cordons. Au delà une frange d'érosion hydrique accélérée touche jusqu'aux sols sablo-argileux des recouvrements.

- les aires rajeunies sont remodelées en dunes vives; les surfaces mieux conservées, plus basses, fonctionnent comme aires de déflation ou sont fossilisées.

- l'accroissement de la pluviosité amène le retour des conditions subdésertiques; les modelés vifs sont détruits.

- la pédogenèse s'exerce ensuite sur des pentes modérées et des matériaux homogénéisés dont l'acquis pédologique est d'autant plus important que la couverture antérieure était plus évoluée.

Leur répétition a produit des générations de sols :

- les sols ferrugineux lessivés des glacis M.3, outre quelques sols fersiallitiques, ont été progressivement réduits à leurs horizons grossiers et à des proluvions atteintes par les premières actions éoliennes. Cette transformation a pu être suffisamment ménagée, dans le sud, dans l'Ader Douchi, pour qu'elle n'entraîne pas de discontinuité pédologique.

- un premier système dunaire, E.1, organise la plus grande partie du manteau sableux jusqu'à 1.000 mm actuel (Cameroun). Le tarissement des cours d'eau dépose un premier remblai pendant toute cette période ou seulement à ses limites comme dans le nord.

- la génération S.1 se forme sur cet ensemble de matériaux éoliens et fluviatiles dans des conditions de grande humidité dont les traces sont encore visibles jusqu'à l'isohyète actuelle 100 mm. Elle est formée de sols ferrugineux peu lessivés typiques et de quelques sols ferrugineux lessivés à concrétions de nappe dans les sites les moins bien drainés. Elle est peu discernable de l'acquis pédologique des aires M.3 peu transformées par l'érosion.

- un second système dunaire, E.2, remodèle jusqu'à 600 mm les points hauts de E.1 jusqu'à 600 mm actuels ainsi que les sables de la cuvette tchadienne et des Dallols.

- la récurrence humide suivante est moins prononcée que celle de S.1; où l'acquis pédologique du matériau était faible, elle a produit la génération S.2 dont des variations de couleur font tous les profils.

- à l'oscillation suivante, on attribue d'une part des édifices de type nebka, d'autre part le remblai inférieur et des sols douteusement ferruginisés en site bien drainé, sinon hydromorphes; sa phase humide est la dernière à être quelque peu rubéfiante au Niger.

- les fluctuations ultérieures, mineures et très rapprochées, produiront des cordons de rivage ou de berge, quantité d'alluvions argileuses (T.1a) la génération S.3 de sols bruns et peu évolués étudiés au chapitre suivant.

- actuellement, les épipédons se diversifient en latitude, le faciès subaride apparaissant à moins de 450 mm. Le brassage éolien et biologique des sols S.2 les maintient à un faible niveau d'évolution; le décapage et le ravinement assèchent et détruisent les sols S.1.

Les sables argileux des recouvrements et des remblais, les sables ondulés E.1, les sables à fort modelé dunai- re E.2 dominent successivement dans le paysage vers le nord ou vers l'époque actuelle. Cette zonation de sols de moins en moins différenciés est conforme au sens du gradient pluviométrique mais est paléoclimatique et paléogéographique car elle exprime la croissance des influences désertiques cumulées dans le temps et dans l'espace.

Il est possible de raccrocher cette chronologie relative aux datations des dépôts limniques et des rivages du lac Tchad (fig. 42 et 63) en assimilant les lacustres à des périodes de pédogenèse et les interlacustres à des périodes d'éolisation plus ou moins prononcées. Cette méthode ne peut être contrôlée par les quelques indications stratigraphiques données avec les datations car ces dernières portent sur la base des formations sableuses, non évoluées ou hydromorphes. Elle n'est vérifiée que par la cohérence des résultats et par une corrélation moyenne avec la chronologie des géologues du Sénégal et de Mauritanie dont l'Ogolien correspond à l'ensemble E.1 + E.2. Elle donne une estimation des limites supérieure et inférieure de l'âge des toposéquences à sols ferrugineux peu lessivés à terres rubéfiées. La première est l'âge des dépôts lacustres les plus anciens, soit de 20.000 à 30.000 BP. La seconde, plus sûre, est la date du retrait du lac de la cote 315 m, soit 5.000 ans env. chiffre fort proche de l'âge des cordons littoraux à sols "jeunes" les plus vieux du Sénégal : 4.000 ans. De 12.000 à 7.000 BP, s'étend la période humide la plus constante. Les sols ferrugineux peu lessivés ont donc tous plus de 5.000 ans, les plus évolués (S.1) ont au moins 10.000 ans sinon 20.000 ou 30.000.

L'identification des paléoclimats est gênée par l'absence de modèles pédogénétiques actuels et par l'existence, peut-être corrélée avec le fait précédent, d'éléments exotiques anciens tels les travertins. Il n'est pas certain que l'on puisse négliger le facteur thermique dans les comparaisons zonales pour ne tenir compte que de la pluviosité comme il est actuellement rationnel de le faire. Même en négligeant ces difficultés, on n'obtient que des résultats peu précis :

- E.1 a produit une chute de 900 mm au minimum sur l'isohyète actuel 1.000 mm et une chute de 500 mm sur l'isohyète 600 mm.

- le concrétionnement du niveau T.3 des Dallols à sols S.2 a demandé un excès minimum de 400 mm.

- puisqu'il existe des sols ferrugineux peu lessivés d'aspect très semblable de 1.000 mm à 100 mm et vraisemblablement moins un excès de 900 mm n'est pas impossible.

- en Nigeria sur le cordon de Tal (localement, Bama ridge) les sols bruns sont remplacés à 600 mm par des sols ferrugineux à raies douteusement rubéfiées. Donc 600 mm pendant 5.000 ans sont le minimum nécessaire pour atteindre un stade immédiatement inférieur à celui de S.2.

On obtient ainsi les approximations très grossières suivantes : la pluviosité a chuté d'au moins 500 mm en tous points du Niger pendant les périodes dunaires; elle a crû d'au moins 400 mm, sinon du double, pendant les périodes de formation des sols ferrugineux, cela durant plus de 5.000 ans sur les isohyètes anciens de 600 mm actuellement situés en zone désertique ou subdésertique (200 mm).

Des pluviosités soudano-guinéennes s'exerçant pendant des périodes de l'ordre de la dizaine de millénaires sur un matériel déjà modifié par une évolution ferrugineuse antérieure ont été nécessaires à la formation de sols dont on aurait pu sous-estimer l'âge ou le milieu climatique au vu de leur médiocre différenciation. Nous avons vu que cette impression minorisante était renforcée parce que les transformations des horizons les plus profonds échappaient à l'observation et aux analyses par manque de sensibilité des techniques employées. L'étude d'ensemble de ce qu'on tient ordinairement pour matériaux révèle quelques unes de ces modifications pédologiques profondes qui échappent à l'étude du seul profil.

1.4 CONSTITUTION DES MATERIAUX

1.41 Classification

Les taux de plasma minéral limitent les niveaux moyens de différenciation morphologique qui de ce fait coïncident dans cette unité avec des classes texturales. Les matériaux

les plus récents étant les plus pauvres et inversement le plasma minéral s'étant accumulé à la base des profils les plus anciens, il existe une corrélation positive entre la texture des horizons C et BC et celle du solum, donc entre la texture des matériaux et le degré d'évolution des sols.

Trois familles principales regroupent des sols dont le degré de différenciation est comparable. La première, F.1, réunit les sols à structure très peu développée des sables pauvres en plasma des dunes hautes E.2, des niveaux T des Goulbis et Dallols, de la cuvette tchadienne, tous modelés récents et/ou à matériel excessivement sableux. Elle correspond à l'ensemble chronologique S.2. La seconde, F.2, est celle des sols ferrugineux peu lessivés typiques de la génération S.1, sur dunes basses E.1, sur les remblais des rivières septentrionales, sur la formation analogue de Difa au centre de la cuvette tchadienne. La troisième, F.3, fait transition vers les sols ferrugineux lessivés (cf. p.517) développés sur des sables argileux d'altération n'ayant subi que des processus de remaniement hydriques modérés (colluvions, proluvions) ou sur le remblai supérieur de ces rivières méridionales dont le bassin ne renfermait pas de formations très sableuses éoliennes. Les sols sont d'âge S.1 avec un acquis plus ancien dans certains cas.

Il existe des écarts : des cordons et dunes rondes E.1 portent des sols à peine plus évolués que ceux de F.1; inversement des sols F.2 existent sur le niveau T.3 dans le sud du Dallol Bosso (Baleyara). On les explique en admettant que la corrélation entre texture et degré d'évolution joue au sein de chaque famille entre les diverses parties non parfaitement identiques de chaque ensemble morphologique : les aires les plus sableuses des dunes et niveaux fluviatiles ont produit des sols moins différenciés et plus sensibles aux reprises éoliennes (cf. p. 526).

Des nuances morphologiques du profil ou de la chaîne, plus encore des variations chimiques d'importance agronomique, font subdiviser ces familles selon le substrat géologique et le modelé. Le premier critère tient compte de l'origine le plus souvent locale des matériaux ainsi que des conditions générales de drainage s'exprimant par la dominance des terres bien ou mal drainées de la toposéquence et dues au style du paysage et à la perméabilité moyenne du substratum. Le second revient à distinguer de grands types de circulation de l'eau du sol : parfaitement

libre dans les dunes, ralentie et modifiée chimiquement sur les glacis, inversée dans les grandes dépressions où s'évapore une nappe.

Les diverses familles et leurs subdivisions régionales sont brièvement présentées ci-dessous :

F.3

Matériaux des glacis et versants (colluvions ...)

Sur grès Ct.1 - sols très riches en fer, rouges, acides et désaturés; enrichis en bases et brunis par apports de l'Eocène sous-jacent dans les vallées de l'Ader Douchi.

Sur grès Ct.3 - sols rouges, très acides, très pauvres en bases.

Sur Quaternaire ancien de Maradi - sols très proches des précédents; moins pauvres en bases.

Remblais

Mekrou, Tapoa - sols rouges; taux de bases médiocres; parfois sols brunis et nodules calcaires.

Niger - sols ferrugineux à pseudogley très acides et désaturés (issus du Ct.3).

F.2

Dunes basses E.1

Sur socle - horizon B jaune-rouge et horizon A très brun si le modelé n'est pas trop accusé; souvent jaunissement de l'horizon BC; pseudomycelium calcaire; sur granites à altération smectitique.

Sur grès crétacé - pas de caractères saillants, sauf une légère accumulation de bases en BC et concrétionnement manganésifère abondant sur les ensablements minces de glacis.

Sur Ct.2 - sols très acides et désaturés.

Sur Ct.3 - sols très acides et désaturés à termes très rubéfiés dominants: plus argileux vers le sud.

Sables de Bandé - sur ces mêmes grès mais en bordure de la cuvette tchadienne sont uniformément rouges mais plus légers et moins pauvres en bases.

Quaternaire de Maradi - également sols rouges dominants mais plus riches en bases que sur Ct.3.

Cuvette tchadienne (sables de Difa) - rubéfaction uniforme mais modérée; ancienne nappe carbonatée en profondeur.

F.1

Dunes hautes E.2

Sur socle - grès crétacé, Ct.2, Ct.3 - plus uniformes, leurs sols présentent des nuances morphologiques qu'il est en général impossible de corréler avec des caractères chimiques.

Erg de bordure de la cuvette tchadienne - matériel encore plus léger que le précédent, presque neutre au nord dans la zone à brun-rouge (Gouré-Guidimouni) acide au sud (Korama).

Cuvette tchadienne (plaines du Manga).

textures aussi pauvres que les précédentes sauf au sud-ouest dans la région de Malwa; rubéfaction très modérée; traces d'engorgement anciennes en profondeur; pH proches de la neutralité, surtout au nord.

Niveaux T.3

textures comparables aux précédentes sauf en certains points méridionaux où elles sont de type F.2; rubéfaction franche; concrétionnement de nappe parfois très important; désaturation modérée.

Niveaux T.2

textures également très pauvres; sols les plus juvéniles non ou médiocrement rubéfiés; souvent accumulation de bases par évaporation de nappe.

1.42 Le plasma minéral

1.421 Texture

Selon la limite assignée à la fraction mobile, les taux moyens sont approximativement les suivants :

	F.1	F.2	F.3
Argile (0-2 μ)	2,2	7,0	15,5
Argile et limon (0-20 μ)	2,8	8,6	20,5
Argile et limon (0-50 μ)	5,0	14,5	40,0

La fraction 0-20 μ est celle qui correspond au plasma dans la plupart des cas (cf. p. 507). Également plus facile à mesurer que la fraction 0-2 μ dans la famille F.1, elle figure dans le tableau de références ci-joint. La fraction 0-50 μ , limite supérieure des particules déplaçables, donne également des populations distinctes (pl. 66 de l'annexe IV). L'étude granulométrique des formations éoliennes les plus récentes (pp. 55-56) suggère que les différences actuelles dans ce qu'on tenait pour matériau entre les dunes E.1 et E.2 est d'origine pédogénétique, le vannage étant très vite porté au niveau du matériel E.2. Dans les formations fluviatiles estimées synchrones, les taux des fines décroissent du socle aux grès et du sud au nord (p. 76) par modification des toposéquences anciennes autochtones et variation latitudinale des agents de transport. La très grande pauvreté des niveaux T et probablement des sables du Manga résulte des effets convergents de plusieurs causes : couverture autochtone des grès à sols lessivés dominants, recouvrement dunaire élevé, remaniements éoliens plus

faciles sur un matériel peu favorable à la pédogenèse.

1.422 Sesquioxides de fer

Les taux du "fer libre" sont égaux à environ 10% de la fraction texturale 0-20 et à 13% de la fraction 0-2 μ , sauf sur le sidérolithique (Ct.1) où ces valeurs sont doublées. Il n'y a pas de relations entre la rubéfaction moyenne et les taux de sesquioxides : les sols issus du Quaternaire ancien de Maradi, bien que très rouges, sont parmi les moins ferrugineux. Le rapport du fer "libre" au fer "total" est compris entre 70 et 85%, sauf dans les sables de la cuvette et dans ceux des niveaux T où il s'abaisse à 40-60%. Le fer attribuable à des minéraux (staurotide, épidote, tourmaline pour l'essentiel) étant de l'ordre de 0,01% au plus, il faut admettre que fer libre et fer total mesurent deux degrés de solubilité des mêmes oxydes.

1.423 Bases, pH

Les familles F.1 et F.2 ont hérité leurs caractères de la couverture autochtone. Succédant à des toposéquences à sols ferrugineux, elles sont désaturées et acides : Ct.2, Ct.3, formation de Maradi. Succédant à des toposéquences à sols ferrugineux et sols smectitiques ou carbonatés, elles ont des pH et des coefficients de saturation moins bas, surtout sur glacis à ensablement peu épais : socle, grès crétacé. Les dépôts du sidérolithique (Ct.1) des vallées de l'Ader ont bénéficié de quelques apports de bases des formations marines des versants. Les dépôts de Difa ont été saturés par une nappe carbonatée. Parmi les extrêmes nous citerons la famille F.3 sur Ct.3 (pH = 4,9, V = 41) et la famille F.2 sur socle (pH = 5,9, V = 75). Une carence relative en calcium ($Ca < Mg$) apparaît dans les matériaux acides issus des grès Ct.3 et de la formation de Maradi. C'est un caractère d'origine très lointaine pour les premiers, apparu dans les kaolins paléocènes, transmis aux grès, aux sols ferrugineux lessivés, finalement à la couverture dunaire. Il est corrélé avec une fertilité actuelle très basse; les terroirs correspondants sont soit épuisés (Maradi) soit cultivés très extensivement (Ct.3). Il est transmis à la famille F.1, moins désaturée dans son ensemble. On attribue à l'évaporation de la nappe, à des chutes de sels éoliens la quasi-saturation des sables du Manga, plus accentuée au nord qu'au sud. Cette propriété appartient également aux sables des niveaux T.2.

Un autre reflet des pédogenèses antérieures ou de la roche mère est la variation de la capacité d'échange de l'argile (T/A) qui est d'autant plus petite que le matériau est plus acide :

en méq/100 g d'argile	F.3	F.2	F.1 (°)
socle	17	21	14
Maradi	17,5	26	
Difa		62	
Ct.1	15-30		
Ct.2		18	28
Ct.3	11,5-13,5	11,5-12	48?
Crétacé		17-44	
Bandé		26	
cuvette (bordures et Manga)			50-140
(°) : valeurs incertaines			

Les valeurs élevées des sables de la cuvette ne sont pas dues à des sels solubles et suggèrent un effet possible du chimisme du sol sur la minéralogie de l'argile. Une conséquence de ces variations de T/A est que la somme des bases échangeables varie moins que la texture, les sols les plus sableux n'étant pas les plus désaturés et pouvant posséder une capacité d'échange relativement plus élevée. Les extrêmes sont de 0,1 (T.2) 0,22 (E.2, socle) 0,44 (E.1, Ct.3) d'une part et 1,7 (Manga) 2,0 (E.1, socle) 3,6 (F.3, Ct.1) d'autre part.

1.424 Propriétés physiques

Théoriquement la perméabilité est limitée par la finesse granulométrique, propriété s'exprimant par des formules telles que :

$$K_{cm/h} = 1.274 \phi^{2,17} \quad \phi = \text{taille, en mm, au taux cumulé à partir des fines de 20\%}$$

qui donne 2 cm/h ($\phi = 65 \mu$) pour les sables E.1 et 6 cm/h ($\phi = 95 \mu$) pour les sables E.2. Or les tests de perméabilité au laboratoire donnent presque toujours 1 à 2 cm/h pour toutes les familles, parfois 4 à 6 pour F.1. Pratiquement on constate que la perméabilité des sols est moins limitée par celle du matériau que par celle du substrat et par l'état de surface. Les actions de nappe en profondeur se manifestent sur les ensablements minces des glacis peu perméables du socle granitique; le

mauvais drainage interne se traduisant par des teintes ternes, des raies, des concrétions apparaissent sur les glacis argileux du Ct.2 (série de Koutoumbou). Le ruissellement est principalement l'effet de la destruction du couvert végétal.

Les réserves en eau sont proportionnelles aux taux d'éléments fins (cf. p. 509). Leur faiblesse et leur répartition sur une grande épaisseur est la cause du paysage végétal caractéristique des dunes E.2.

1.425 Constitution minéralogique

Elle a été évaluée sur les sables les plus communs, issus de formations très altérées (Ct.3, Maradi). C'est un mélange de kaolinite, de traces d'illite, de sesquioxides dont l'hydratation est de l'ordre de grandeur de celle de la goethite.

1.43 L e s q u e l e t t e (Annexes IV et V)

Il est essentiellement siliceux, d'origine locale, généralement homogène dans le profil et la toposéquence. Il s'est progressivement transformé dans le temps, plus dans sa granulométrie que sa morphoscopie, en conservant longtemps des caractères hérités de la roche mère.

1.431 Constitution

Il est formé de quartz et de moins de 5% de minéraux divers empruntés au substrat local : micas, feldspath, ferromagnésiens divers. On y observe également des reliques lithiques ou pédologiques telles que des agrégats de quartz à ciment ferrugineux ou siliceux, des oolithes ferrugineuses, des concrétions. Les reliques ferrugineuses rondes se sont concentrées dans les dunes E.1 et plus encore dans les dunes E.2, indiquant alors un transit du matériel sur plusieurs dizaines de kilomètres qui n'existait pas pour les formations plus anciennes. Les niveaux T du Niger doivent également leur hétérogénéité granulométrique à des transports longitudinaux qui se sont affaiblis lors de la mise en place de T.3.

Les réserves en bases représentées par ces minéraux sont vraisemblablement peu mobilisables pour avoir résisté très longtemps à l'altération. Elles ont été

évaluées sur les substrats les plus étendus :

Fraction échangeable des bases totales	Ca	Mg	K	Na
Ct.1	42	100	9,3	0,3
Ct.3	2-17	100	100	0,2-0,5
Maradi	2-5	100	3-10	0,5-0,3

Il n'y a pas de réserves en magnésium et le potassium n'existe en quantités appréciables qu'ou des phyllites illitiques ont été décelées. Le calcium et le sodium sont dans des rapports constants dans les profils et leurs taux sont indépendants du total solubilisé par l'attaque triacide. Ils ne sont donc pas localisés dans le plasma mais dans le squelette et calculés en feldspath virtuel (andésine le plus souvent).

1.432 Granulométrie

Certaines classes dimensionnelles sont plus facilement sélectionnées, les unes par le ruissellement (120 à 200 μ) d'autres par le vent (200 à 400 μ) ou encore par les grands cours d'eaux (50 à 120 μ et 400 à 800 μ). Ces stocks virtuels sont tous présents dans les matériaux les plus anciens mais dans des rapports différents qui tendront à se conserver au cours des transformations ultérieures ou qui modifieront l'évolution granulométrique, toujours dans un sens spécifique. Celle-là peut aboutir à des classements caractéristiques de l'agent physique en cause, mais le plus souvent régionalisés par des caractères hérités persistants. Des courbes de fréquence bimodales à assymétrie positive sont ainsi très fréquentes parmi les sables dunaires, des courbes unimodales à assymétrie négative caractérisent les dépôts fluviatiles, la distribution rectangulaire est propre aux colluvions, on observe de courbes unimodales peu dispersées et leptokurtiques qu'en des sites particuliers : crêtes dunaires, certains lits alluviaux.

La famille 3 n'est pas homogène à cet égard pour réunir des alluvions fluviatiles et des colluvions, ces dernières réalisant une sorte de moyenne, par brassage des caractéristiques granulométriques de la roche mère. La famille 2 est moins diverse car formée surtout de sables éoliens dont les distributions se ramènent à deux types principaux. Profils et toposéquences sont uniformes, la variation décelable étant une homogénéisation éolienne du sommet des

sols et des pentes, indépendamment de l'organisation en horizons. Nous n'avons retrouvé ni la diversité souvent mentionnée dans les formes vives, ni la sélection des sables grossiers par le ruissellement en surface ou dans les bas de pente, ce qui appuie l'hypothèse d'une évolution pédologique succédant à une destruction des formes vives (p. 532). Les sables de Difa ont une distribution de remblai.

Dans la famille F.1 les sables des dunes E.2 ont des courbes de fréquence encore moins diverses qu'en E.1 et légèrement mieux centrées, ce qui réduit fortement l'héritage du substrat qui était encore sensible dans ces dernières. La corrélation observée entre l'évolution du modelé éolien et celle de la granulométrie montre que les formes nigériennes étaient dès l'origine, avant toute érosion, moins développées que les dunes vives sahariennes actuelles ou que les dunes fixées de la bordure atlantique. Les sables T.2 ont une répartition plutôt fluviatile éolisée ou complétée de sables éoliens en T.3 dont ils paraissent former généralement la base, ce qui conduit à admettre une réincision ou un remaniement postérieur pour expliquer que leurs sols soient plus juvéniles ou qu'ils s'emboîtent parfois dans T.3. Les sables de la cuvette tchadienne sont plus fins et mieux triés vers le centre, reflet d'une mise en place fluviatile oblitéré fortement par le vent sur les bordures.

1.433

Morphoscopie

L'usure des sables a été, au cours de leur histoire, subordonnée à la corrosion chimique puis à l'éolisation, ce qui se traduit par une corrélation forte et positive entre le dépoli et l'émoussé, à une seule exception près, celle des sables du niveau T.2 de Sya (Niger) où l'usure a été acquise par polissage fluviatile. La résistance des quartz explique que l'héritage lithologique soit encore plus grand que pour la granulométrie, redémontrant encore l'origine locale de ces derniers. Des grains anguleux et luisants sont caractéristiques des matériaux issus du socle, des grains subanguleux et luisants le sont pour le Crétacé, des grains émoussés et picotés les remplacent dans les sables issus des grès tertiaires. On peut mettre en évidence les transformations progressives de la roche aux sables argileux F.3, puis aux sables des dunes E.1 où l'éolisation a nettement augmenté les taux de grains mats et de grains ronds sans effacer

complètement les différences lithologiques. Les sables des dunes E.2 sont encore plus transformés au Niger central, ce qui est compatible avec l'hypothèse d'une reprise d'un matériel dunaire plus ancien. Les sables des remblais et des niveaux T sont un mélange de divers stocks de chaque bassin, celui des dunes compris, mélange qui a pu se former très tôt puisqu'on l'observe à la base d'un massif E.1 du Gorouol. On n'a pu mettre en évidence d'autre variation associée à l'organisation actuelle des profils que l'accroissement de l'aspect mat dans les horizons ferritisés.

1.434

Conclusions

La conservation de particularités minéralogiques, sédimentologiques, chimiques, assigne une origine locale aux matériaux, confirmée par la répartition régionale de caractères pédologiques. De ce fait une propriété très commune, la désaturation, peut être attribuée à la présence de fortes proportions de sols ferrugineux lessivés dans les toposéquences plus anciennes. Sous réserve d'un inventaire plus complet, il en irait de même de la kaolinite saturée en sesquioxydes de fer comme constituant plasmique principal. Sur les grès possédant déjà ces caractères, le rôle de la pédogenèse a été de conservation et de sélection des textures; sur le socle les constituants ont été élaborés par les altérations associées.

Le vent a été l'agent principal de la concentration des quartz amorcée dans les épipédons ferrugineux, d'où une répartition zonale et par site des textures. L'eau a eu une action plus effacée aussi bien pour la sélection texturale que pour l'évolution morphoscopique qui dépend davantage de la corrosion et de l'éolisation. Ainsi les sables du Manga n'ont conservé d'une formation alluviale antérieure qu'un reflet granulométrique sans incidence pédologique alors que leurs sols se sont fortement ressentis de l'appauvrissement éolien en fines. Inversement dans les bassins dépourvus d'accumulations dunaire les sols des remblais sont très proches de ceux des versants et glacis affectés par le seul ruissellement.

Nous avons déjà admis (cf. p. 517) que l'évolution en sol ferrugineux était due au maintien d'une perméabilité suffisante par la texture et à la constitution du plasma minéral. Ses divers niveaux sont attribués à des âges

distincts (S.1, S.2) et/ou à des textures différentes (F.1, F.2, F.3). Les conditions générales de drainage, définies par l'épaisseur de la couverture meuble, son modelé, par la topographie et la perméabilité du substrat, par la présence éventuelle d'une nappe phréatique, déterminent la répartition des différents termes de la toposéquence. Les particularités locales du matériau n'interviennent qu'ensuite à un niveau génétiquement bas (Série) mais de grande importance pratique. Si une rubéfaction prononcée n'a été corrélée qu'une fois avec des taux de fer particulièrement élevés, sur le sidérolithique, le niveau des bases échangeables et leur équilibre conditionnent le développement des horizons humifères et les possibilités d'utilisation. Les sols sur les matériaux les moins désaturés sont relativement mieux pourvus en calcium, plus bruns et supportent mieux des périodes prolongées de cultures sans restitutions.

1.5 LES FACTEURS BIOTIQUES

1.51 La végétation

1.511 Règles générales de répartition

L'effet du gradient pluviométrique sur la zonation de la végétation est le plus direct sur ces matériaux étendus en latitude, à hétérogénéité minimum, à différenciation pédologique médiocre, où plus que sur aucun autre support l'eau disponible pour les plantes approche de la pluviosité. Il est amplifié par la situation du Niger méridional dans une aire de transition rapide dont le total pluviométrique est divisé par trois en cinq cent kilomètres entre les dernières forêts claires et les premières steppes désertiques. Il est modulé par les niveaux de différenciation des sols eux-mêmes corrélés avec la texture moyenne, l'épaisseur du matériel meuble, la topographie : les formations les plus couvertes sont celles des sols les plus légers des crêtes dunaires, des vallées sèches et de la cuvette tchadienne. Cet effet s'ajoutant au gradient pluviométrique situe au nord les prairies et steppes herbueses, au sud les savanes boisées et les forêts

claires. Une influence floristique du chimisme des sols est suggérée par la concentration préférentielle ou exclusive d'espèces pour la plupart ligneuses sur des substrats géologiques bien définis. Il n'existe pas de lieu dont la végétation n'ait été atteinte par l'homme qui tient les sables pour ses meilleurs terrains de culture et de pâturage. Entre 400 et 800 mm de pluies, tout n'est que champs et jachères; à plus de 800 mm, des réserves ont régénéré en quelques décennies des îlots forestiers; à moins de 400 mm, les pâturages ont également une physionomie plus "naturelle" mais ils sont périodiquement détruits par les cultures des pasteurs et par les incursions des agriculteurs méridionaux pendant les périodes de pluviosité favorable.

Les espèces ligneuses diminuent de volume vers le nord par réduction du gabarit et de la densité. Les essences de première grandeur disparaissent les premières laissant certaines espèces du sous-bois envahir le paysage; ces dernières sont à leur tour remplacées par des arbustes sahéliens. Les variations floristiques ne sont pas les meilleures pour définir des aires pédo-climatiques, dont tous les sols sont au même niveau dans la Classification en relation avec la pluviosité. Elles sont très progressives, compliquées par une sorte d'endémisme régional, trop durablement modifiées par les défrichements. Aussi avons-nous adopté la classification d'AUBREVILLE (1950) où elles sont subordonnées à des critères physiologiques.

La strate herbacée, essentiellement graminéenne, est ici toujours fournie et continue lors de son plein développement sauf aux approches du désert et sur les aires de rajeunissement éolien. Elle varie régionalement peu, se régénère plus vite, par là montre une zonation à la fois floristique et physiologique plus simple et régulière. Elle réagit de façon constante aux variations de texture. Ses limites approchent de celles de grandes unités pédologiques. Vers 800 mm et au delà elle est constituée d'une savane au sens propre de grandes (2 m et plus) Andropogonées vivaces, érigées, jointives. Jusqu'à 400 mm; elle est remplacée progressivement par extension d'une sous-strate de prairie sahélo-soudanaise de graminées annuelles, érigées, jointives, hautes de moins d'un mètre le plus souvent. A moins de 400 mm une prairie sahélienne de graminées annuelles plus basses (50 cm et moins) semi-prostrées, s'étend jusqu'aux aires de remaniement hydrique et éolien péri-désertiques (250 à 100 mm) où elle est remplacée par une steppe herbeuse lâche de

graminées vivaces xérophiles. La plupart des sols très sableux de la famille F.1 sont également couverts d'une steppe herbeuse différente dont les touffes vivaces sont séparées, selon la latitude, par l'une ou l'autre des prairies sahéliennes ou sahélo-soudanaises.

Du sud au nord, on note une coïncidence schématique entre la forêt claire, la savane d'Andropogonées, les sols approchant du type lessivé, puis entre les "savanes" arborées, la prairie sahélo-soudanaise, les sols ferrugineux peu lessivés, la ceinture à mil et arachide, enfin entre les steppes arbustives, la prairie sahélienne, les sols brun-rouge, les pâturages.

- 1.512 Les principales formations
- 1.5121 Province boréale occidentale des formations
 steppiques et désertiques
- 1.51211 Steppe herbeuse à Panicum turgidum

Il est nécessaire de mentionner ici cette formation mieux située dans l'étude des sols juvéniles bruns (S.3) car elle permet de préciser la signification des steppes psammophiles caractéristiques de la famille F.3. Elle est constituée de grosses touffes pérennes ($\varnothing = 1$ m, $h = 120$ cm, recouvrement de 10%) séparées par des surfaces de sables meubles, vifs, conservant longtemps en saison sèche une humidité appréciable sous 1 à 2 décimètres de matériel complètement desséché. Liée à des sols éoliens, elle apparaît par taches dans la formation lâchement arborée à *Acacia raddiana* des sols bruns des cordons péri-lacustres; les arbres et la sous-strate de prairie sahélienne disparaissent, le *Panicum* se substitue à une strate steppique psammophile (*Aristida longiflora*, *Cymbopogon giganteus*). Elle se généralise sur la partie la plus haute, la plus sèche (moins de 250 mm), la plus ravivée du cordon de Tal. Selon Ch. ROSSETTI (1962) qui l'a cartographiée à 100 km environ au nord de la frontière malienne le long du Niger, cette steppe désertique s'étend à tous les ensablements majeurs à moins de 150 à 200 mm de pluies sur lesquels elle succède à des "prairies éphémères" identiques à nos prairies sahéliennes. Elle pénètre d'autant plus vers le sud que les modelés sableux sont plus accusés (op.cit.). L'aspect de steppe herbeuse est donc une adaptation à des réserves hydriques très accessibles, très protégées

de l'évaporation mais aussi extrêmement diluées dans la masse du sol. Elle se généralise aux confins sahariens à la suite du vannage accompagnant l'érosion complexe propre à cette région (cf. p.530) en s'irradiant vers le sud sur les sites les plus exposés. La variation floristique qu'elle connaît vers 200 mm est une conséquence à la fois de la diminution de pluviosité et de l'accroissement du vannage par cumul des reprises éoliennes.

1.51212 Peuplements à *Acacia raddiana*

Ce petit arbre saharien croît ordinairement à moins de 350 mm sur des sols bruns et brun-rouge. Il donne une strate relativement dense sur les marges péri-lacustres : "savane" boisée de l'erg de Gouré, savanes arborées de la terrasse de Sayam, du cordon récent. Il se répartit plus diffusément dans tout le Manga (jusqu'à 575 mm) dans les niveaux T.2 des Goulbi et de l'Azaouak, dans les niveaux T.3 des petits affluents de ce dernier. On lui doit également sur dunes E.1 la strate arborée des plaines ondulées du Liptako granitique (jusqu'à 450 mm) ainsi que quelques peuplements clairsemés à l'intérieur et à la périphérie du massif du Damergou. Les remblais du Gorouol et de l'Ader Douchi en ont conservé quelques vestiges. Plusieurs arbustes lui sont communément associés : le Balanites partout, le gommier sur les replats et dans les fonds, le *Salvadora persica* sur les sables F.1 des cordons et de quelques vallées sèches. La prairie sahélienne, avec *Aristida mutabilis* et *Cenchrus biflorus*, est le tapis herbacé le plus commun. La strate steppique est toujours présente sur les sables pauvres F.1; elle peut dominer lorsque le couvert arborescent est clairsemé (*Aristida longiflora*, *Cymbopogon Schoenanthus*). A plus de 400 mm la prairie sahélo-soudanaise apparaît avec *Ctenium elegans*, *Heteropogon hagerupii*, en même temps que *Cymbopogon giganteus* domine dans la strate steppique.

Cette essence préfère donc les sols très légers et/ou possédant des pH relativement élevés; elle se cantonne où des bases, des sels peuvent lui être apportés par l'eau ou les vents : à proximité des ceintures évaporatoires, sur des roches ou altérites riches en bases. Si elle est capable d'utiliser des sols relativement compacts, des sols bruns tirsifiés par exemple, elle se développe au mieux sur les gros bourrelets sableux à sols très meubles et relativement peu différenciés (S.2 et S.3). Les observations faites au Niger sont confirmées au Sénégal où cet acacia forme de véritables forêts claires à tapis prairial sahélien sur les cordons ogoliens,

à proximité des alluvions fluvio-marines. L'arbre étant très sensible à l'élagage pratiqué par les pasteurs, ses peuplements denses doivent pour survivre être protégés par l'administration ou par leur isolement. Il est donc possible que certaines des steppes herbeuses qui recouvrent le plus souvent les grandes dunes E.2 n'en soient pas le climax mais une formation de substitution, les graminées vivaces remplaçant les arbres dans l'exploitation de l'eau des couches profondes.

1.51213 Steppes arbustives à *Commiphora africana*

L'espèce croît à-peu-près partout dans le Sahel car elle s'accommode de toutes les textures et de toutes les réactions. Ses peuplements les plus denses, presque monospécifiques dans leur strate, sont situés sur les ensablements très aplanis de la famille F.2 sur grès continentaux, à sols brun-rouge plus différenciés, plus compacts, plus acides que ceux qu'affectionne l'*Acacia raddiana*. La limite méridionale des peuplements où il domine oscille entre un minimum de 350 mm sur grès crétaqué et un premier maximum de 450 mm sur le socle. Ils atteignent 700 mm sur les sols ferrugineux très acides, très décapés, de la Série de Koutoumbou (grès Ct.2). Le *Commiphora* est associé au *Merua crassifolia*, à l'*Euphorbia balsamifera* (sites de village). Le *Boscia senegalensis*, en nombre, est un indice d'érosion anthropique. Diverses saxicoles dénoncent la proximité du substrat rocheux : *Grewia flavescens*, *Combretum micranthum*, *Cordia rothii*. Le tapis herbacé est typiquement prairial, sahélien. La strate steppique est réduite à des plages de *Cymbopogon schoenanthus* dans les fonds où la concentration relative de la strate ligneuse produit souvent un aspect "réticulé" caractéristique. Les espèces de la prairie sahélo-soudanaise (*Ctenium*, *Heteropogon*) apparaissent très tôt en mosaïques. Le *Cassia mimosoides*, petite herbacée, est spécifique des jachères récentes; le *Blepharis linariaefolia* est favorisé par le piétinement du bétail.

1.51214 Steppes d'épineux

C'est une formation de sols imperméables exceptionnelle sur ces matériaux. On l'observe néanmoins en amont des vallées de K'Adér Douchi sur des sols brun-rouge sablo-argileux très décapés et fortement asséchés par des ravines nombreuses et profondes. Elle est constituée d'acacias petits (2 m) et clairsemés (*A. raddiana*, seyal, senegal) et d'une prairie sahélienne discontinue.

1.5122 Province boréale des forêts claires et des
.....
savanes boisées
.....

Il est commode de subdiviser ce vaste ensemble qui s'étend du sahel jusqu'au delà de la frontière méridionale du Niger.

Au nord croissent des savanes arborées à Combrétacées et *Sclerocarya*, espèces pouvant pénétrer à la fois dans le sahel et dans les sous-bois méridionaux. Le tapis prairial est de type soudano-sahélien, à la limite sahé-lienne. Les cultures sont suffisamment nombreuses pour qu'il n'y ait pas des faciès dégradés. Le *Guiera* domine dans les jachères. Les familles 1 et 2 sont les plus représentées.

Suit une frange de transition où apparaissent des essences qui ne s'avancent pas jusqu'au domaine sahélien : *Bombax*, *Karité*, *Prosopis*, *Boswellia*. Une meilleure régénération permet le maintien de savanes boisées dans des secteurs protégés. Le tapis prairial est sahélo-soudanien; la savane à *Andropogonées* y domine localement. Le *Bauhinia reticulata* apparaît dans les jachères.

Au sud la savane à *Andropogonées* s'étend uniformément dans les jachères, à recrûs de *Combretum*, sous des restes de savanes boisées et de forêts claires.

1.51221 Les savanes arborées à Combrétacées

Le *Combretum glutinosum* en est l'espèce la plus commune. Il domine entre les isohyètes 450 et 600 mm au delà desquels il peut apparaître en nombre aussi bien au nord qu'au sud sur les sols très légers de la famille F.1, soit sur cordons, soit dans les niveaux T.3 des Dallols (800 mm dans le Dallol Maouri). Sa densité décroît de la famille 2 à la famille 1 où l'aspect est plutôt celui d'une steppe herbeuse piquetée d'arbres. Il est fréquent sur toute l'étendue du Niger occidental, sur les alluvions anciennes de Maradi, sur les grès bordant le bassin de la Korama, sur la partie sud-ouest de la cuvette à plus de 520 mm (région de Malwa) sur les niveaux T.3 des Dallols Bosso et Maouri. Les grès du Continental Terminal sont le substrat d'élection. Le *Terminalia avicennoides* lui est ordinairement associé mais, légèrement plus psammophile, forme des peuplement purs sur des cordons E.2. Le *Combretum nigricans* est présent sur les alluvions

anciennes de Maradi et domine sur les ensablements des plateaux de la surface ancienne sur grès Ct.3 (E.1) ainsi que dans les vallées peu ensablées et érodées de la même formation (E.1 et colluvions). Il paraît rayonner à partir de ce foyer sur les sables recouvrant les parties adjacentes du socle (remblais de la Sirba, du Goroubi). Il est donc spécifique des sols les plus acides et les moins profonds de cet ensemble.

La strate arbustive est intéressante car elle donne les recrûs de jachères : le *Guiera senegalensis* est le plus commun; l'*Annona senegalensis* apparaît au sud, vers 600 mm, et le *Bauhinia reticulata* à plus de 575 mm sur E.1 et T.3. Le *Combretum micranthum* et l'*Acacia macrostachya* sont spécifiquement associés au *Combretum nigricans* car ils sont également adaptés aux sols minces.

Le tapis herbacé sur dunes est de type sahélo-soudanais pur à plus de 475 mm, avec *Ctenium elegans*, *Heteropogon hagerupii*, *Eragrostis* sp., *Loudetia hordeiformis*. La strate steppique à *Aristida longiflora* et *Hypparhenia dissoluta* n'apparaît que sur dunes E.2 ou sur des cordons E.1 très dégradés, à épipédon éolisé (nord-est de d'Ayorou). Sur les niveaux T.3 et dans la cuvette tchadienne, les espèces sahéliennes (*Aristida mutabilis*) descendent plus loin au sud, jusque vers 600 mm, ce qui leur permet de rencontrer les premières grandes *Andropogonées* (*Cymbopogon giganteus*, *Andropogon gayanus*); il est possible que les pH superficiels plus élevés que dans les dunes soient responsables de cette avancée méridionale.

Quelques parcs à *Faidherbia albida* existent dans cette unité, à plus de 450 mm: dans la cuvette tchadienne, sur le niveau T.3 du Dallol Maouri, sur les cordons E.1 recouvrant le socle. Ils sont très rares sur les grès du Ct.3 : à plus de 650 mm ils ne sont présents que dans un relevé sur dix.

1.51222 Les savanes arborées à *Sclerocarya* (*Poupartia*) *birrea*

Cette espèce s'introduit et domine dans la savane à *Combretum glutinosum* sur des substrats dans leur ensemble moins désaturés (dunes E.1 sur grès crétacés, sur Birrimien) ou jouxtant les précédents (Série de Kouroungousa, sur sables argileux issus des alluvions de Maradi). Elle abonde spécialement entre 550 et 675 mm mais peut

remonter jusqu'à moins de 300 mm en peuplements très clairsemés à l'ouest de l'Ader Douchi. Sur les dunes E.2 de ces régions, elle est dominée par *Combretum glutinosum* et *Terminalia avicennoïdes*. Quelques arbres peu abondants lui sont particulièrement associés : *Sterculia setigera*, *Boscia salicifolia*, *Albizia chevalieri* (dunes E.2). Les espèces les plus fréquentes sont cependant communes avec celles des savanes à *Combretacées*; outre les deux arbres précités, on retrouve *Guiera senegalensis*, *Bauhinia reticulata*, toutes les graminées.

1.51223

Les savanes arborées à *Prosopis africana* et *Butyrospermum parkii*

La première espèce apparaît dans les jachères dès 450 mm, la seconde, ainsi que son compagnon habituel le Néré (*Parkia biglobosa*) dès 600 mm. Les unes sont protégées à cause de leurs fruits, l'autre est préservée par la dureté de son bois. Elles deviennent spécialement abondantes à plus de 600-700 mm dans les terroirs densément cultivés : Série de Maradi (E.1, plus de 600 mm) sud des Dallols (T.3, plus de 700 mm) sud des sables de Bandé (E.1, plus de 620 mm). Selon le lieu, elles s'associent aux espèces des savanes à *Combretum glutinosum*, *Terminalia avicennoïdes*, *Sclerocarya*. Les recrûs arbus-tifs sont à *Guiera*, *Bauhinia reticulata*, *Annoma senegalensis* (Dallols). Le tapis herbacé est complexe, mêlant la savane à *Andropogonées* et la prairie sahélo-soudanaise sur les dunes, ajoutant à ces deux composantes quelques représentants de prairie sahélienne ainsi que la strate steppique psammophile dans les Dallols. Par exemple sur le niveau T.3 du Dallol Bosso à 800 mm on trouve : *Andropogon gayanus*, *Cymbopogon giganteus*, *Aristida longiflora*, *Ctenium elegans*, *Pennisetum sp.*, *Aristida stipoides* (annuelle) *Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*, *Schoenefeldia gracilis*.

1.51224

Les savanes boisées à *Bombax buonense*

Cet arbre n'apparaît que sur les ensablements très aplanis méridionaux (E.1) et les matériaux sablo-argileux des remblais et colluvions, à quelques individus isolés près, notés sur le niveau T.3 du Dallol Maouri. Les sites les plus septentrionaux sont à 500 mm sur les alluvions de Maradi, à 600 mm sur les grès Ct.3. Il peut former une strate arborée dominante dès 650 ou 675 mm, jusqu'à 850 mm au plus où il est surcimé par les *Anogeissus*, *Azelia*, etc... Il est encore nécessaire que

le lieu soit très peu cultivé, soit faute de puits (biseau sec de Kirtachi, sur grès Ct.3) soit faute de populations (confins voltaïques, sur Birrimien). La formation est en effet toujours dense, dépourvue d'espèces fruitières (Karité, Néré). Le sous-bois contient les espèces principales des savanes à Combrétacées et à Sclerocarya, plus quelques arbustes méridionaux (Ferrethia canthioides). Le tapis herbacé est de type sahélo-soudanais variablement envahi par la savane à Andropogonées.

1.51225 La savane boisée à *Boswellia dalzielli*

Il n'existe qu'un foyer connu au Niger pour cette curieuse espèce, située sur les sols ferrugineux peu lessivés de la Série de Madaroumfa, la plus méridionale (500 à 700 mm) qui se soit développée sur les sables dunaires E.1 recouvrant les alluvions anciennes de Maradi. Elle est inculte pour des raisons qui ne paraissent pas dues aux propriétés intrinsèques des sols, analogues à celles de la série voisine de Maradi, surcultivée, mais à l'absence de puits. De ce centre, le *Boswellia* paraît se propager vers les grès crétacés voisins ou vers les autres sols sableux et sablo-argileux issus des alluvions anciennes. Le sous-bois renferme de nombreuses espèces de sols compacts ou à bilan hydrique défavorable : *Commiphora pedunculata*, *Combretum nigricans*, *Combretum micranthum*, *Acacia macrostachya*. La strate buissonnante est à Guiera, le tapis herbacé est de type sahélo-soudanien (*Heteropogon*). Les arbres associés en font un équivalent des savanes à *Bombax* (*Bombax*, *Sclerocarya*, *Sterculia*, *Prosopis*).

1.51226 Les forêts claires soudaniennes

Il n'y en a plus au Niger que quelques îlots situés à plus de 750 mm sur des sols ferrugineux sablo-argileux, les uns sur le remblai de la Mekrou, les autres sur grès continentaux au nord de la Tapoa et près de Gaya (Gourou-Bassounga). Les savanes boisées de la région de Kirtachi, les jachères arborées de la Série de Diargou, à l'est de Gaya, à la même latitude, peuvent en être tenues pour des faciès de dégradation.

La haute strate est formée d'*Anogeissus*, de *Prosopis*, de *Daniella*, *Isoberlinia*, *Azelia*, etc... Elle disparaît entièrement des jachères à l'exception du *Prosopis*. Audessous croissent des espèces de savane arborée : *Combretum glutinosum* et *nigricans*, *Lannea*, *Sclerocarya*,

Sterculia, *Terminalia*. Les arbustes sont caractéristiques de la pluviosité (*Bauhinia thonningii*, *Gardenia* sp., *Crossopteryx*, *Ferethia*) ou d'extension plus large (*Bauhinia reticulata*, *Guiera*). La savane à *Andropogon gayanus* est très fournie et se maintient dans les jachères à *Prosopis*, *Karité*, recrûs à *Combretum glutinosum* et *Gymnosporia*.

1.5123 Formations spécialisées
.....

1.51231 Les steppes herbeuses psammophiles

L'absence plus ou moins complète de la strate ligneuse dont la densité s'abaisse à 0,2 - 0,5 individu à l'hectare dans le Manga, de très nombreuses touffes pérennes dans le tapis herbacé sont les deux caractéristiques de formations liées spécifiquement aux textures les plus sableuses, celles de la famille 1 et celles des horizons rajeunis par le vent. La steppe herbeuse s'étend aux sols peu évolués, bruns, brun-rouge, ferrugineux sur toute l'étendue du Niger méridional, de 250 à 800 mm de pluies. Elle se prolonge vers le nord par la steppe désertique au prix d'un changement floristique et à la faveur d'un remodelage généralisé. La strate arborée devient quelque peu moins lâche à partir de 620 mm (Manga) ou 700 mm (T.3 des Dallols) vers le sud.

L'*Aristida longiflora* partout, l'*Hyparrhenia dissoluta* en quelques points précis des bassins du Gorouol, de l'Azaouak, ou du Manga, en sont caractéristiques. Le *Cymbopogon giganteus* s'avance vers le nord au moins jusqu'à 350 mm en dépit de son apparence d'herbe de savane. Il ne forme cependant de peuplements denses qu'à plus de 450 mm (Manga, vallée sèche de Siwili). L'*Andropogon gayanus* et sa variété laniger sont sporadiques. Le *Cymbopogon schoenanthus* caractérise davantage les points bas que ce type de texture. La strate prairiale ne diffère que dans le détail de celle des sols moins sableux voisins : *Aristida stipoides* et *Cenchrus biflorus* plus abondants dans le sahel, *Loudetia hordeiformis* plus rare au sud. Les quelques arbres et arbustes sont de préférence l'*Acacia raddiana*, le *Combretum glutinosum*, le *Terminalia avicennoides*, l'*Albizzia chevalieri*. Inversement le *Commiphora africana*, le *Combretum nigricans* y sont rares ou absents. Les plus beaux peuplements de gommiers sont situés dans les dépressions de cette grande famille : sillons de l'erg de dunes transversales de Toufafiram (Zinder) cuvettes du Manga.

Il semble que la strate steppique se soit développée après élimination de la strate arborée et qu'actuellement sa densité soit contrôlée par la charge en bétail. Le premier point est déduit de l'existence de formations relativement denses à *Acacia raddiana* et à tapis herbacé essentiellement prairial. L'existence d'une savane arborée à *Terminalia*, *Sclerocarya* sur l'erg E.2 de Kor-naka au Niger central (500 mm) permet de généraliser et d'admettre que les arbres furent plus denses qu'ils ne le sont. D'autre part la strate prairiale, pour une pluviosité donnée, est indépendante de la famille, de la texture moyenne du sol, cela parce que davantage dépendante de l'épipédon, physiquement peu variable d'une famille à l'autre. La strate steppique au contraire est surtout sensible à la texture moyenne, ce qui nous fait admettre qu'elle pouvait atteindre des couches plus profondes grâce à un enracinement visiblement plus puissant. Elle peut donc être concurrencée par les espèces ligneuses et inversement s'étendre lorsque ces dernières ont disparu. Elle tend à disparaître par surpécoration aux voisinages des points d'eau permanents (Gorouol) autour des arbres, et nous avons constaté qu'elle était plus fournie dans une parcelle en défens située près de Myria (Zinder). Il existe donc de sérieuses présomptions pour que ce paysage végétal doive beaucoup à l'homme bien que l'exploitation surtout pastorale qu'il en fait paraisse a priori plus bénigne dans ses effets que dans les zones de culture.

1.51232 Palmeraies, végétation des sites à nappe peu profonde

Le *Borassus flabelliformis* jusqu'à 700 mm environ, l'*Hyphaene thebaica* jusqu'à 350 mm apparaissent dans les Dallols et dans la cuvette tchadienne où le niveau phréatique est relativement peu profond (de l'ordre de dix mètres). Ils sont de ce fait cantonnés aux prairies, steppes et savanes arborées de la famille 1 qui montrent en ces sites quelques autres originalités : présence de *Vitex*, *Ficus*, *Parinari*, tapis herbacé très complexe. Dans ce dernier la composante sahélienne descend plus loin vers le sud qu'il n'est habituel, alors que la tendance est inverse pour la strate ligneuse. Vraisemblablement cette différence tient encore à la nature des horizons exploités par les racines de ces diverses espèces.

1.5124 Variations dans les toposéquences
.....

Les exigences écologiques différentes à l'origine des groupements végétaux zonaux ou stationnels entraînent des modifications floristiques ou structurales à l'échelle de la toposéquence. La plupart expriment un meilleur approvisionnement en eau, une compacité plus élevée, une texture plus argileuse dans les sols des points bas. En milieu sahélien nombre d'espèces pérennes, ligneuses ou herbacées, tendent à se concentrer vers les dépressions, dessinant les figurés contractés fort visibles sur les photographies aériennes. Les *Commiphora*, gommiers, le *Cymbopogon schoenanthus* et l'*Andropogon gayanus* sont typiques de ce comportement. Inversement les sommets sont physiologiquement plus ouverts et accueillent préférentiellement les espèces xérophiiles ou psammophiles : *Aristida stipoides* et *longiflora*, *Leptadenia* sp.. Cette hétérogénéité s'atténue sans disparaître lorsque la pluviosité augmente; elle tend à se limiter de plus en plus strictement au thalweg où par exemple les premiers *Bauhinia reticulata* apparaîtront en fourrés dès 450 mm. Cette persistance est plutôt le fait de la différenciation pédologique, le modelé étant alors très fortement aplani. On lui doit l'identification des dernières orientations dunaires, vers 620 mm (région de Dungass-Malwa dans la cuvette tchadienne, ouest de Lamorde-Torodi dans le Liptako). L'homogénéité des savanes boisées et forêts claires nous a paru plus grande, leur différenciation n'apparaissant qu'à la faveur de quelque accident, telle une variation d'épaisseur du matériel meuble. Là encore les espèces les plus méridionales occupent le site le plus favorable :

NL 42 Kiba, 805 mm, sur grès Ct.3

- haut de versant; sol épais de 50 cm : savane arbustive à *Combretum nigricans*, *glutinosum*, *Sclerocarya*
- bas de versant ; sol épais de deux mètres : savane boisée à *Anogeissus*, *Prosopis*, *Butyrospermum*.

1.5125 Comparaisons avec la végétation des sols sableux de
.....
l'Afrique de l'ouest, définie par des phytogéographes
.....

1.51251 Niger

Notre classification du tapis herbacé a été inspirée par celle que J.KOECHLIN (non daté) avait établi à des fins agrostologiques dans le bassin de l'Azaouak et dans les régions voisines :

Végétation Sahélienne à tapis herbacé continu

- à *Andropogon amplexans* (1) ou *Hypparhenia dissoluta*
- à *Aristida mutabilis* au nord de la zone

Végétation Sahélo-Saharienne à tapis herbacé discontinu

- touffes séparées par un tapis annuel continu (sud)
- touffes non séparées par un tapis annuel (nord):
Panicum turgidum, *Aristida pallida* ...

Nous avons retenu la zonalité, la distinction implicite entre strates biologiquement distinctes. Nous avons ajouté la spécialisation édaphique et modifiée, à cause de la nature des sols et celle de la strate ligneuse, le découpage zonal : la strate à *Hypparhenia* croît sur un support différent et déborde en latitude la strate à *Andropogon* (*Heteropogon*) *amplexans*; la disparition de la strate prairiale entre les touradons pluri-annuels est pour nous un fait majeur et significatif de la généralisation des sols éoliens et subdésertiques.

1.51252 Carte des tapis graminéens d'Afrique (RATTRAY, 1960)

Dans l'association A.13 sur sables :

Aristida mutabilis, *Panicum turgidum*, *Cymbopogon giganteus*, *Eragrostis tremula*, *Cenchrus biflorus*

nous reconnaissons un mélange de nos strates steppiques

(1) ici ce binome désigne une espèce annuelle que nous avons désignée comme *Heteropogon hagerupii*, réservant le nom d'*Andropogon amplexans* à une graminée de savane vivace très voisine d'aspect, apparaissant vers 620 mm.

xérophiles, steppiques psammophiles, prairiales sahéliennes. Elle caractérise donc l'ensemble des sols subarides et de leur frange nord éolisée indépendamment de la texture.

De même l'association CE.6 :

Cenchrus biflorus, *Eragrostis tremula*, *Penisetum pedicellatum*, *Diectomis fastigiata*, *Ctenium elegans*, *Aristida longiflora*, *Andropogon gayanus*

mêle les strates de savane, de prairie sahélo-soudanaise, de steppe psammophile; située à moins de 750 mm elle correspond à l'ensemble des sols ferrugineux peu lessivés, compte tenu de leur niveau de différenciation. Elle est également donnée comme faciès de dégradation de la savane à *Andropogon gayanus* régénérable en six années sur la foi d'expériences faites en Nigeria.

1.51253 Carte de la végétation de l'Afrique tropicale occidentale
(G.ROBERTY, 1964)

Quelques unes des Séries phytogéographiques ont, en dépit de leur généralité, une certaine ressemblance avec nos associations des sols sableux :

- la définition de la Série saharienne B, du Talha (*Acacia tortilis* : *raddiana*) avec *Panicum turgidum* et *Aristida plumosa* peut s'appliquer à la végétation de l'ensemble du nord du cordon de Tal. L'auteur la tient pour strictement cantonnée au Sahara, très rare au sud du 16^e parallèle, mais indique une dissémination sahélienne de l'acacia par l'homme sous forme de steppe ou "lande" boisée. L'implantation dans le sahel de cet arbre paraît plus naturelle au Niger et compromise par des excès pastoraux. Comme le *Maerua crassifolia*, le *Boscia salicifolia*, espèces ligneuses de la Série s'étendent au sud de l'aire normale. Il apparaît que la localisation strictement saharienne de ce groupement végétal est plutôt le fait de la strate herbacée.

- la Série sahélienne F, du palmier Doum (*Hyphaene thebaica*) sur sables alluviaux, avec ses *Callotropis procera*, *Leptadenia pyrotechnica*, englobe nos palmeraies plus ou moins lâches des niveaux T.2 des Goulbis et du nord des Dallols.

- la Série soudano-sahélienne I, du Baobab, "liée aux

sols sableux, détritiques ou éoliens, et s'étendant sur des dunes mortes, parfois loin au nord de son aire normale" compte pour caractéristiques le *Faidherbia*, un *Cordyla*, le *Sclerocarya*, le *Combretum glutinosum*, le *Terminalia avicennoides*, le *Guiera senegalensis*, le *Cymbopogon proximus*, des *Eragrostis* et *Chloris*. Elle réunit nos savanes arborées à Combretacées et à *Sclerocarya* des sols ferrugineux peu lessivés de la Famille 2 et sans doute, la structure physionomique n'étant pas prise en considération, les formations dérivées plus ouvertes de la Famille 1.

- la forêt claire à *Anogeissus* se rattache à la Série du Guediane (*Anogeissus*) soudanienne, où l'on retrouve les *Prosopis*, *Crossopteryx*, bien que sa définition soit plus large (*Sterculia*, *Borassus*) et que la nature du tapis graminéen la situe plus au sud qu'au Niger (*Hyparrhenia rufa*). Il est plus hasardeux de rapprocher nos savanes boisées à *Bombax* de la Série du Ven (*Pterocarpus erinaceus*) dont les autres espèces montrent qu'elle est "liée aux latérites septentrionales cuirassées ou peu désagrégées". Reste que le *Bombax* croît sur des accumulations sableuses relativement minces.

La succession des peuplements à *Acacia*, à Combretacées, à *Anogeissus* s'étend donc à l'ensemble des sols sableux ou friables de l'Afrique de l'ouest. Si on n'y retrouve pas les steppes à *Commiphora*, c'est que cette espèce et ses compagnes (*Euphorbia balsamifera*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Schoenefeldia*) sont incluses dans la série sahélienne D, du Seyal, "liée aux sols compacts". Au Niger cependant les distributions du seyal et du *Commiphora* peuvent être séparées puisque le premier tend à être exclusif sur les sols bruns tirsifiés et qu'il n'accompagne plus le second sur les sols ferrugineux lessivés les plus septentrionaux. Leur réunion ne s'opère qu'où les caractères de sols lessivés et de sols smectitiques sont rassemblés soit fortuitement (interdunes sur socle) soit du fait de la pédogenèse (toposéquences sur granites; cf. p. 427). Nous placerions plus volontiers le seyal dans la série sahélienne E, du Sount, dont l'espèce caractéristique, l'*Acacia nilotica*, croît sur les vertisols hydromorphes. Mais dans la définition originale le Sount est accompagné d'espèces de sols mal drainés à texture plus grossière : *Bauhinia rufescens*, Dattier, juxtaposition qui reflète la disposition la plus fréquente en levées sableuses et cuvettes argileuses des alluvions du Sénégal et du delta central du Niger que l'auteur de la carte connaissait fort bien. Il apparaît ainsi que le

contenu des Séries sahéliennes n'est pas homogène quant aux exigences édaphiques et se ressent beaucoup du hasard de la distribution des sols dans les régions où elles furent définies.

1.51254 Mauritanie (P.AUDRY, Ch.ROSSETTI, 1962)

L'association dans cette étude d'écologie acridienne des relevés botaniques et pédologiques garantit la précision de cette zonation établie sur les sols sableux du sud-est mauritanien :

- 400 à 500 mm - sols brun-rouge et bruns; physionomie de notre prairie annuelle sahélienne (Cenchrus) avec strate lâche arbustive ou arborée à *Combretum glutinosum* et *Sclerocarya*; il subsiste des îlots de "savane" à *Hypparhenia dissoluta* dominante (1 touffe au m²) à *Andropogon gayanus* (0,04 touffe) sous-strate à Cenchrus, sur des "massifs dunaires très aplanis"; cette savane est tenue pour résiduelle parce qu'après défrichage, elle est remplacée par la prairie éphémère où la graminée vivace se réinstalle avec lenteur; corrélativement la prairie est supposée paraclimacique. Notons que la savane est notre steppe psammophile.

- zone intermédiaire - sols gris subdésertiques, terme désignant un épipédon plus mince, remanié, moins brun et organique que celui qui définit les sols brun-rouge; cette subtile nuance est justifiée par une dégradation plus rapide en Mauritanie qu'au Niger des horizons superficiels vers le désert; prairie éphémère (Cenchrus, *Aristida mutabilis*) à strate arbustive lâche (*Commiphora*, *Balanites*, gommier); apparition vers le nord de taches ou mosaïques de steppes herbeuses vivaces (*Aristida pallida*) (1).

(1) ROBERTY (1964, p.64) place cette aristidée dans l'espèce vernaculaire élargie du Holou, qui renferme également des espèces annuelles (*Aristida funiculata*); KOECHLIN (non daté) mentionne que la pallida où nous n'avons vu que la longiflora; cette dernière réapparaît dans l'unité CE.6 de RATTRAY (1960); ROSSETTI (1963, p. 38) cite une espèce indécise entre *A. Pallida* et *A. Longiflora* parmi les vivaces parsemant la prairie éphémère; notre détermination de *A. longiflora* suit la tradition des botanistes et agronomes groupés autour du centre d'élevage de Hamm (Dakar); d'une façon générale on constate que les deux espèces s'excluent des relevés; nous supposons que ce sont deux formes très voisines d'une aristidée à adaptation

.../...

- zone steppique, à moins de 100 mm en plaine, de 200 mm sur dune - sols minéraux bruts éoliens; steppe herbueuse vivace à *Aristida pallida*, puis à *Panicum turgidum*, enfin à *Aristida pungens* à moins de 80 mm; chaque variation floristique débute sur les aires les plus éolisées; quelques arbustes (*Acacia raddiana*, *Maerua*) qui finissent par disparaître aux approches de la steppe à *Aristida pungens*; ils sont ceux de la Série B de ROBERTY qui avait antérieurement parcouru les mêmes régions.

Les dernières formations à *Sclerocarya* et *Combrétacées*, les steppes arbustives à tapis prairial sahélien, les steppes herbueuses xérophiles se succèdent aux mêmes pluviosités en Mauritanie et au Niger. Le rôle des aires éolisées comme support d'invasions septentrionales y est identique. La steppe psammophile est floristiquement l'équivalent de la savane à *Hypparhenia*; l'identification s'étend vraisemblablement à la famille (F.1) car le taux d'argile et limon du site correspondant (61/88) est de 4,5% au plus, alors qu'il atteint 10,5% dans un sol brun-rouge voisin (61/87) à tapis prairial. Le second exemple de formation similaire à notre steppe psammophile (61/78) correspond également à un sol brun à 3,2% seulement de fraction fine.

Des hypothèses émises par ces auteurs quant à la signification et à l'extension naturelle de ces savanes herbueuses, la plus restrictive est la plus proche des faits observés au Niger et en Mauritanie. Ce seraient des "irradiations d'une physionomie soudanaise sur des substrats à bilan hydrique particulièrement favorable" (ROSSETTI, 1963, p.35). L'identification complète avec une formation méridionale est en effet impossible. L'aspect de savane tient uniquement au port de l'*Hypparhenia* et disparaît avec elle lorsque son équivalent écologique, l'*Aristida longiflora*, s'y substitue. L'habitat normal des espèces qui produisent la masse végétale est sahélien, jamais franchement soudanien. L'*Andropogon gayanus*, méridional, est minoritaire, même des sites de référence mauritaniens (Korera, Guberni). La disparition plus ou moins complète de la strate ligneuse est aussi inhabituelle en milieu soudanien, où abondent les formations arborées et boisées, qu'en milieu sahélien; elle est spécifique du continuum

xérophytique (limbe enroulé) l'une peut-être plus septentrionale (*A.pallida*) et occasionnellement annuelle.

écologique qui s'achève par les steppes xérophiles. En prenant ce caractère en considération on pourrait tout aussi bien, selon la latitude, parler d'irradiation sub-désertique en milieu sahélien, ou sahélienne en milieu soudanien (cf. niveaux T.3 du Dallol Maouri). Soudanaise ni par l'essentiel de sa flore ni par sa structure, mais seulement par la physionomie occasionnelle d'une strate, la savane herbeuse ne peut être tenue pour l'équivalent ni, a fortiori, les restes du tapis graminéen des formations arborées méridionales. On ne peut même pas être assuré qu'elle est le climax des sables pauvres en fines puisqu'il existe parfois un autre équilibre à régénération assurément plus lente, la forêt claire d'Acacia raddiana avec tapis prairial. Elle pourrait n'être qu'un faciès de dégradation où la densité de la strate herbacée pérenne serait fonction du régime actuel pastoral et agricole. On ne peut y voir les "vestiges d'un type physionomique de savane précédemment plus étendu" qu'en se limitant dans l'espace à ce matériel très particulier et dans le temps à la période d'utilisation actuelle.

Cependant les expériences et observations de dégradation et de régénération (AUDRY et ROSSETTI, 1962, p. 235) recoupant celles de Nigeria, aboutissent à une conclusion générale valable pour tous les substrats et des pluviosités inférieures à 750 mm : la strate vivace est très sensible au feu et de régénération lente (6 ans en Nigeria, plus de 9 ans au Sénégal). La conséquence en est vraisemblablement une réduction des surfaces occupées par les savanes au profit des prairies éphémères dans les zones cultivées.

1.513

Données quantitatives

L'adaptation sur ces matériaux de la végétation à la pluviométrie que met qualitativement en évidence la transformation progressive des steppes herbeuses en savanes boisées peut être estimée par le taux de couverture du sol et la production de matière sèche. Des mesures faites en Mauritanie (BOUDET G., DUVERGER, 1961) ou au Sénégal (ADAM J.G., 1953) à moins de 500 mm de pluies en donnent des ordres de grandeur. De la steppe xérophile à la prairie sahélienne, le taux de couverture passe de 20 à 40% en même temps que la production de matière sèche peut être multipliée par cinq. La surface exposée en saison sèche est toujours très forte, de plus de 90% à 70%. AUDRY et ROSSETTI (1962, p.200) admettent une utilisation des réserves hydriques moins bonnes pour expliquer l'infériorité de la production de matière sèche d'une prairie

(1.800 kg/ha) par rapport à celle d'une "savane" à Hypparhenia (2.300 kg/ha) le "potentiel édaphique (étant) pratiquement identique" ou, plutôt, jouant contre la graminée vivace. Cela, qui paraît évident d'une pluri-annuelle, tient pourtant aux aptitudes propres de l'Hypparhenia car, d'après le tableau ci-contre et notre sentiment personnel, cette supériorité n'existe pas pour la steppe psammophile à Aristida dont la vigueur ne parvient pas à compenser la médiocrité du sol.

1.514

Répartition des racines dans les profils

Les racines des graminées divergent des touffes en se ramifiant fortement sur les premiers décimètres, où elles forment un chevelu, puis descendent verticalement jusqu'à une profondeur de l'ordre du mètre pour l'essentiel mais excédant partout deux mètres pour les dernières radicules. La décroissance vers la profondeur n'apparaissant pas uniforme, on observe des zones successives d'enracinement coïncidant approximativement avec des horizons ou groupes d'horizons, soit qu'effectivement la quantité de racines varie par paliers, soit que leur adaptation à la structure provoque une telle impression. Moins de trois limites de zones d'enracinement sur dix diffèrent de celles d'horizons. La coïncidence de l'organisation de l'enracinement et du profil indique plutôt une dépendance du premier par rapport au second que l'inverse : dans des sols aussi vieux, l'aspect statique de cette relation est probablement le seul perceptible et les exceptions indiquent une régression de l'enracinement par rapport au sol. Selon le sens de la différence la variation entre A.1 et A.2 peut être mise au compte d'un meilleur approvisionnement en eau, en éléments assimilables (A.1) ou d'une porosité plus élevée (A.2). Ce dernier caractère joue encore, parfois très évidemment, entre A.2 et B et un peu moins nettement entre B et BC, c'est-à-dire au niveau où réapparaît la porosité du matériau. Les différences ressortant aux divers graminées tiennent également aux sols puisque les uns et les autres sont spécifiquement associés. Elles sont plus faibles que ne le laissait supposer la physionomie aérienne, où les hauteurs sont dans le rapport de 1 à 6, en partie à cause de l'interpénétration constante des diverses strates.

L'enracinement le plus faible est celui de la prairie sahélienne, sur son support habituel F.2, auquel il arrive, dans deux cas sur dix, de ne plus être visible

au delà de 15 à 35 cm. Plus ordinairement tous les horizons sont prospectés jusqu'à une profondeur exactement notée à 160 cm dans un cas (360 mm de pluies) et pouvant excéder 180 cm. La densité radiculaire maximum est le plus souvent située dans l'épipédon, plus spécialement en A.1. Quelques exemples sur sables très pauvres F.1 montrent que la pénétration dense, plus profonde (75 cm) atteint l'horizon B et ne disparaît pas totalement à 200 cm (420 mm de pluies).

Sous la prairie sahélo-soudanaise, sur le même support F.2, toutes les limites sont abaissées. L'horizon A.1 tend à être remplacé par l'ensemble de l'épipédon comme zone à enrachement de densité maximum. Quelques profondeurs maxima de 180-190 cm ont été relevées entre 430 mm et 535 mm de pluies; elles dépassent en général 200 cm. Sur sables F.1 un cas d'enracinement dense jusqu'à 87 cm (580 mm de pluies) a été relevé, valeur élevée sans être exceptionnelle.

Les mêmes tendances s'accroissent sous la savane à Andropogon. La totalité du profil est prospectée, à des profondeurs légèrement plus grandes. Les densités maxima tendent à se localiser en A.2 où les porosités sont les plus élevées.

Les racines de la steppe psammophile atteignent des cotes intermédiaires entre celles de la prairie et celles de la savane. La zone de densité radiculaire maximum est plus fréquemment dans l'horizon B que pour tout autre tapis herbacé et tout autre support (F.1). La faiblesse de l'organisation pédologique est associée à un enrachement plus homogène et moins lié à cette dernière, la proportion des limites distinctes de celles d'horizon atteignant le maximum de 2,5 cas sur dix. On a relevé comme profondeurs maxima 125 cm (500 mm) 130 cm (390 mm) 165 cm (550 mm); quelle que soit la pluviosité les 200 cm peuvent être atteints.

La tranche exploitée par les racines des arbres dépasse de beaucoup l'épaisseur des sols, aussi sont-elles communément observées dans le matériau, parfois dans l'horizon B. Quelques espèces dont l'*Albizzia chevalieri* envoient de très longues racines traçantes dans l'épipédon.

Dans les limites pluviométriques du Niger méridional la totalité du solum (A-B) des sols sableux est pénétré de racines nombreuses et donc participe aux successions

d'humectation et de dessiccation qui sont la première condition de leur évolution, à l'exception occasionnelle de quelques sols brun-rouge parmi les moins légers. Même aux pluviosités les plus faibles envisagées (350 mm) le matériau est lui-même prospecté jusqu'à une profondeur dépassant toujours 130 cm et atteignant communément 200 cm. L'emprise plus étendue des strates herbacées pérennes tient autant à la texture et à la pluviométrie qu'à leurs aptitudes. Cette supériorité est trop faible pour qu'on puisse en inférer quelque chose touchant à l'évolution pédologique. Elle est un élément explicatif partiel de la compétitivité meilleure que celle des prairies, de leur possibilité de se substituer à la strate ligneuse.

PRINCIPALES ESPECES VEGETALES DES TOPOSEQUENCES A SOLS
BRUN-ROUGE ET A SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES SUR
MATERIAUX SABLEUX ET SABLO-ARGILEUX

Province boréale occidentale des formations steppiques
et désertiques

1. steppe herbeuse xérophile (pour mémoire)
2. peuplements à *Acacia raddiana*
3. steppes arbustives à *Commiphora*

Province boréale occidentale des forêts claires et des
savanes boisées

- strate prairiale de type sahélien ou sahélo-soudanais

4. savanes arborées à Combrétacées et leur faciès psammophile (+)
5. savanes arborées à *Sclerocarya birrea* et leur faciès psammophile (+)

- strate prairiale de type sahélo-soudanais

6. savanes arborées à *Prosopis africana* et à *Butyrospermum parkii*
7. savanes boisées à *Bombax buononense*
8. savanes boisées à *Boswellia dalzielii*

- palmeraies, formations à phréatophiles

9.

- strate de savane à *Andropogon*

10. forêts claires soudaniennes.

Arbres

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Azelia africana									D
Daniella oliveri									D
Pterocarpus erinaceus						P			P
Ischerlinia doka									P
Lonchocarpus sericeus									P
Ostryoderris chevalieri						P			P
Tamarindus indica								P	P
Ceiba pentandra									P
Vitex sp.								D	
Detarium microcarpum			P						P
Lannea sp.			P	P	P		P		P
Ficus sp.								D	P
Butyrospermum parkii					D			P	P
Parkia biglobosa					P				P
Anogeissus leiocarpus						P			D
Diospyros mespiliformis					P				P
Bombax buononense			P			D	P		P
Sterculia setifera				P			P		P
Prosopis africana			P		D	P	P		P
Borassus flabelliformis								D	
Hyphaene thebaica								D	
Boswellia dalzielii							D		
Zizyphus mucronata			P						
Combretum glutinosum			D	P	P	P		P	P
Combretum nigricans			D			P	P		P
Terminalia avicemoides			D ⁺	P ⁺	P			P	P
Albizzia chevalieri			P ⁺	P ⁺					
Sclerocarya birrea			P	D	P	P	P	P	P
Commiphora pedunculata				P		P	P		
Faidherbia albida			P	P	P			P	
Boscia salicifolia				P					
Balanites aegyptiaca	P	P	P	P	-			P	
Acacia pubescens	P							P	
Acacia raddiana	D								
Parinari macrophylla								P	

Arbustes

Bauhinia thonningii									P
Bauhinia reticulata			P		P			P	P
Bauhinia rufescens		P						P	
Cadaba farinosa				P					
Commiphora africana	P	D							
Maerua crassifolia	P	P							
Acacia senegal, laeta	P	P							
Acacia seyal	P								
Zizyphus mauritania	P								
Salvadora persica	P								

Arbrisseaux

Crossopteryx febrifuga
 Ferethia canthioides
 Gardenia sp.
 Annona senegalensis
 Gymnosporia senegalensis
 Strychnos sp.
 Ximania americana
 Guiera senegalensis
 Boscia senegalensis
 Acacia macrostachya
 Combretum micranthum
 Lettadenia spartium
 Callotropis procera
 Euphorbia balsamifera

Herbacées

strate de savane
 Andropogon gayanus
 Andropogon amplexans
 Cochlospermum tinctorium
 (compagne)

strate de graminées vivaces
 psammophiles et ses compagnes

Cymbopogon giganteus
 Cymbopogon schoenanthus
 Hyparrhenia dissoluta
 Aristida longiflora
 Panicum turgidum
 Chrozophora brochiana
 Requena obcordata
 Cyperus sp.

strate prairiale sahelo-
 soudanaise

Ctenium elegans
 Heteropogon hagerupii
 Loudetia hordeiformis
 Eragrostis tremula
 Pennisetum pedicellatum

strate prairiale et ses
 compagnes
 Aristida mutabilis

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Crossopteryx febrifuga						P			P
Ferethia canthioides									P
Gardenia sp.						P			P
Annona senegalensis			P					P	
Gymnosporia senegalensis					P				
Strychnos sp.						P			P
Ximania americana				P				P	P
Guiera senegalensis			P	P	P		P	P	P
Boscia senegalensis	P	P	P	P					
Acacia macrostachya						P	P		
Combretum micranthum		P	P			P	P		
Lettadenia spartium	P+	P+	P+	P+				P	
Callotropis procera		P	P	P				P	
Euphorbia balsamifera		P							
<u>Herbacées</u>									
strate de savane									
Andropogon gayanus	P	P	P	P	P	P	P	P	D
Andropogon amplexans			P	P					
Cochlospermum tinctorium (compagne)						P	P		P
strate de graminées vivaces psammophiles et ses compagnes									
Cymbopogon giganteus			P+	P+					
Cymbopogon schoenanthus	P	P	P	P					
Hyparrhenia dissoluta			P+	P+					
Aristida longiflora	P+	P+	P+	P+					
Panicum turgidum	P+								
Chrozophora brochiana	P	P	P	P					
Requena obcordata	P	P	P	P					
Cyperus sp.	P+	P+	P+	P+					
strate prairiale sahelo- soudanaise									
Ctenium elegans		P	D	D	D	D	P	P	P
Heteropogon hagerupii		P	P	P	P	P	D	P	
Loudetia hordeiformis		P	P	P	P	P	P	P	
Eragrostis tremula	P	P	P	P	P	P	P	P	
Pennisetum pedicellatum		P	P	P	P	P	P	P	
strate prairiale et ses compagnes									
Aristida mutabilis	D	D	P	P				P	

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schoenefeldia gracilis	P	P	P					P	
Cenchrus biflorus	P	P	P	P				P	
Cenchrus ciliaris	P	P						P	
Aristida stipoides	P ⁺	P ⁺	P ⁺	P ⁺					
Andropogon pulchellum	P	P							
Blepharis linariaefolia	P	P	P	P					
Cassia mimosioides	P	P	P	P					
Notes : P = espèce présente, D = espèce dominante.									

1.515 Conclusions

La végétation des sols sableux doit aux qualités d'extension latitudinale, de relative homogénéité du matériau ainsi qu'aux types de différenciation qu'il autorise par ses propriétés physiques et sa constitution d'être normative des zones soudanienne et sahélienne, entre les forêts claires et le désert. Ce caractère exemplaire apparaît dans la succession régulière et assez complète des principales physionomies et dans les affinités avec la flore des deux ensembles de sols les plus importants. La plupart des espèces, depuis la forêt à Anogeissus jusqu'aux steppes à Commiphora en passant par les diverses savanes arborées, forment également le fond du couvert des sols ferrugineux lessivés. Les acacias (*A. radiana*, *senegal*) le *salvadora*, peut-être le *schoenefeldia*, sont également caractéristiques de sols smectitiques, saturés, sans variations texturales importantes. L'effet de la texture sablaeuse est de raréfier les physionomies contractées et densément arbustives, de les limiter au milieu subaride où elles sont moins liées à une succession pédologique comme le sont les brousses tigrées, annelées, qu'à un motif topographiquement indéfiniment répété. Inversement les faciès très ouverts sont plus étendus sous les effets conjugués de la dilution des réserves hydriques et des destructions dues à l'homme. Les principales différences floristiques sont parallèles puisque sont éliminées des sables des espèces de buissonnaies (*Dichrostrachys*) et que la nouveauté y est l'extension des graminées de steppes.

La flore soudanienne est dans son ensemble régressive

par rapport aux flores sahéliennes. Son domaine climatique s'est rétréci et l'extension des argiles gonflantes, la transformation subaride des épipédons ont réduit son aire édaphique. Elle peut cependant être en situation de pionnière, surtout par ses strates à Combretacées, à *Sclerocarya*, par suite de hasards paléogéographiques. Ainsi des dunes E.1 du bassin du Gorouol (400 mm) portent des *Combretum glutinosum* alors qu'elles ont fossilisé des glacis M.3 à sols smectitiques et végétation d'épineux. Ces interprétations se rapportent toutes à une dynamique ancienne. Actuellement on ne connaît que des transformations entre faciès de dégradation dont on ne peut guère dégager de tendance longue. Par exemple les substitutions de steppes (ou savanes) psammophiles par des prairies ne sont guère que des accidents au sein des péniclimax et n'impliquent pas de mouvements relatifs des flores soudaniennes et sahéliennes.

De même seul l'aspect statique des relations avec les sols, celui des variations concomitantes, est à notre portée. La réduction d'épaisseur des épipédons et des taux de matière organique suit celle du couvert, de la production de matière sèche, de la profondeur de l'enracinement des strates herbacées. L'hypothèse de l'inactualité des horizons illuviaux des sols brun-rouge trouve un début de confirmation dans le fait que sur sables F.2 ils peuvent ne pas être prospectés par les racines des graminées. La répartition de ces dernières, adaptée à la macro-porosité, oppose moins les sols subarides aux sols ferrugineux qu'elle n'isole les sols les moins différenciés de la famille F.1. Les expressions morphologiques de plus en plus faibles notées sur cette dernière et correspondant à des vannages de plus en plus récents trouvent une équivalence dans la transformation des steppes psammophiles en steppes xérophiles dans l'aire de destruction des sols péri-désertiques. Dans toutes les familles, des nuances morphologiques ou chimiques ont leur correspondant dans des variations floristiques liées à un substrat lithologique déterminé, ou à la proximité d'une source de sels.

Il est possible d'esquisser l'histoire de cette végétation si l'on admet qu'elle fut parallèle à celle des sols. Les espèces de la forêt soudanienne appartiennent au fonds le plus ancien ubiquiste au Niger méridional lorsque évoluèrent les sols ferrugineux des modelés 1 et 2. Son appauvrissement zonal puis l'apparition septentrionale de steppes à *Commiphora* furent les premières

conséquences de la diminution de pluviosité. Son support se rétrécit par l'extension des sols smectitiques des glaciaires M.3 et leur colonisation par une flore d'acacias d'origine sahérienne. Après leur mise en place, les sables dunaires furent fixés en suivant les étapes encore observables à partir de la steppe xérophile. Les espèces ligneuses qui finirent par s'imposer furent empruntées au couvert des sols autochtones voisins, ceux des marges méridionales et des îlots relictuels d'abord, ceux des aires recolonisées ensuite, d'où cette coïncidence du foyer de quelques arbres avec une famille lithologique déterminée. La flore soudanienne progressivement simplifiée en latitude était l'unique source dans le sud. Elle était double au nord où aux espèces des sols acides (*Commiphora*) s'ajoutaient celles des sols saturés (*Acacia*). La simplicité de la succession des tapis herbacés, surtout prairiale, fut un reflet de la zonation des épipédons : la strate sahélienne est aussi celle des sols saturés, la strate sahélo-soudanaise est celle de sols acides. L'effet des récurrences éoliennes fut peut-être de favoriser les espèces les moins exigeantes (*Acacia raddiana*, *Aristida longiflora*). Intact, le couvert était probablement plus arboré partout; de même la strate de savane à *Andropogon* devait être mieux représentée au nord sur les familles 2 et 3 où toutefois le caractère "naturel" de la prairie ne peut être ni infirmé ni démontré. L'image étonnante pour qui les voit aujourd'hui au Niger d'une forêt d'épineux à tapis prairial sur certains sites de la famille 1 et d'une steppe arborée sur les autres paraît cependant la plus probable. Les atteintes primitives, c'est-à-dire liées à une population peu nombreuse et peu outillée, éclaircissent le couvert, étendent les prairies en F.2 et F.3 et la steppe psammophile en F.1. Actuellement les progrès démographiques et techniques aggravent le déboisement et favorisent les prairies en tous lieux.

La végétation des sols sableux a été sélectionnée parmi deux stocks floristiques adaptés à des ensembles pédologiques de constitutions fort différentes, l'une kaolinique, désaturée, à variations texturales importantes, l'autre smectitique, saturée, plus homogène et argileuse. La contribution de chacun a été en rapport direct de ses affinités pédologiques avec les sols ferrugineux peu lessivés puis avec leurs faciès subarides bruns et brun-rouge, le premier étant le plus largement mis à contribution. Par les subtilités de son adaptation aux nuances texturales et chimiques, la végétation révèle la maturité

des sols de ce nouveau support mais aussi des possibilités actuelles d'évolution qui ne paraissent compromises que sur les sols brun-rouge les moins perméables.

1.52

Les zoomorphoses

Les traits pédologiques attribuables à la faune (J. LARUELLE, 1968) abondent dans ces sols qui par leurs qualités physiques et par l'existence constante d'une couverture végétale, sont le meilleur habitat des animaux fouisseurs.

Partout quantités d'arthropodes laissent de multiples traces dans les profils : couche de rejets qui participe à la formation du lit de sables particulaires superficiels, nids et cavités, grano-tubules et agro-tubules formés par l'accumulation de grains du squelette et de boulettes fécales dans des pores et contribuant à cette forme spéciale de porosité composée dite semi-tubulaire. Tous les horizons peuvent en être affectés mais les plus habités sont au contact de l'épipédon et des horizons d'accumulation (A2, AB) ou immédiatement au-dessus d'un substrat imperméable

Horizons dans lesquels le matériel des rejets superficiels a été prélevé		A	AB,A2	B	C
Fréquences %		20	60	15	5
Profondeurs minimum (cm)					
de la zone d'emprunt du matériel des rejets	20 30 45 et moins	70			au delà
Fréquences %		20	30	25	15 10

85 profils répartis sur tout le Niger méridional

Les cavités, le type le plus souvent semi-tubulaire de la porosité s'ajoutent à l'enracinement pour situer dans l'horizon A₂ la couche écologiquement la plus favorable. Sa structure particulière doit probablement beaucoup à l'édafaune et serait ainsi une conséquence indirecte des limitations de tous ordres que rencontrent les petits animaux dans les premiers centimètres superficiels surchauffés, noyés puis tôt desséchés, ainsi que dans l'horizon B plus compact et éloigné des lieux de nourriture.

Les termitières sont toutefois plus rares que sur tout

autre support. Leur fréquence dans nos relevés n'est que de 12% alors qu'elle approche de 100 dans les sols les plus argileux, infériorité que leur répartition et leur constitution attribuent au manque d'eau et de liant minéral. En abondance à plus de 750 mm sur toutes les familles, elles se raréfient vers le nord sur les crêtes dunaires, sur les types les plus sableux, se maintenant mieux dans les points bas, sur les plaines à couverture sableuse mince et/ou plus argileuse. La disparition des sites les plus drainés n'est cependant jamais totale puisque des termitières ont été observées quinze fois à moins de 400 mm, cinq de ces cas concernant des sols rubéfiés aux taux d'argile de l'horizon B compris entre 4 et 5%. On en connaît ainsi quelques unes dépassant le mètre à 390 mm sur sols brun-rouge, ces grands édifices (Bellicositermes) étant cependant surtout abondants dans les savanes boisées et les forêts claires des sables argileux méridionaux. Leur couleur, rouge sur les pentes, brune dans les fonds, montre que la zone d'emprunt est l'horizon B. Dans un cas (NE 45 Koren) c'étaient des raies d'accumulations qui étaient ainsi minées, l'humidité due à la présence des insectes y favorisant en outre la croissance de moisissures. On pourrait attribuer à une sélection de ce genre, ou opérant à une échelle plus fine, ou portant sur des horizons d'accumulation très profonds, le net enrichissement en argile des parois des termitières par rapport à l'horizon B accessible (cf. p.497); cet effet s'ajoute à l'augmentation habituelle des bases et de la matière organique due aux excréments. Sur le tableau ci-joint on constatera un accroissement absolu et relatif de la fraction 0-20 μ , de C et N, de Ca, K, Na. Des traces de sels (carbonates) sont présentes. Les taux de fer, très élevés dans le profil à cause de la présence d'oolithes ferrugineuses, reprennent des valeurs normales dans le matériau de termitière, autre conséquence du tri opéré par ces insectes. Un deuxième type de termitière, en cône décimétrique, toujours brun, creusé d'alvéoles où sont emmagasinées des pailles, est plus répandu. Leurs habitants, qui contribuent largement à la disparition des pâturages en saison sèche, circulent surtout dans l'épipédon. A plus de 100 cm, on observe parfois des nids de termites endogées, qui deviennent très communs si un niveau imperméable apparaît à cette profondeur. Dans et au contact de leurs parois, très compactes, on a noté la présence d'un pseudogley local.

Les petits canidés sahéliens bouleversent complètement les profils des crêtes des hautes dunes E.2. Dans les mêmes régions, on a observé des concentrations très fortes

de terriers de rongeurs, de l'ordre de la dizaine au m², atteignant tous l'horizon B. Au sud des oryctéropes opèrent un brassage spectaculaire mais localisé des sols des forêts claires.

Localisée par la constitution et les propriétés physiques du sol, la faune endogée tend en retour à en adapter les dimensions à ses exigences écologiques et à en réduire l'anisotropie verticale. Elle compense l'érosion en approfondissant les horizons A2 et BC tout en lui fournissant partie des éléments transportés. En remontant les fines et les bases, elle réduit l'effet du lessivage. Les sols les moins différenciés étant aussi les plus meubles, les plus pénétrables, il est possible qu'elle contribue à maintenir leur évolution à un bas niveau. Comme il est exceptionnel qu'elle bouleverse l'organisation normale des profils, son efficacité est moindre que celle des processus de nature physico-chimique.

1.53 E f f e t s d e l' u t i l i s a t i o n

1.531 Répartition des cultures et des pâturages

Par leurs qualités physiques et leur extension, les sols sableux se sont imposés de telle sorte aux agriculteurs nigériens que ces derniers n'ont pas développé les techniques, telle la culture de décrue, adaptées à d'autres types texturaux même aussi riches et largement étendus que ceux des glaciais et alluvions smectitiques. Les exceptions à cette étroite spécialisation sont l'effet d'influences extérieures au Niger méridional: cultures irriguées au chadouf de tradition saharienne de l'Ader Douchi, des bords de la Komadougou, ou encore culture moderne du coton annuel sur les alluvions des Maggia. Si les sols sableux ont été recherchés de tous temps; ne serait-ce que comme habitat, le hasard des migrations ethniques a pu renforcer le caractère exclusif de leur utilisation. Dans les bassins du Gorouol et de la Sirba, les sites anciennement occupés par des populations "Gourmanché" actuellement refoulées vers le sud, étaient plus proches de terroirs argileux, glaciais, remblais, alluvions de décantation, que ne le sont ceux des Songhaï d'origine septentrionale qui les ont remplacés et qui ne cultivent que les dunes. La force des traditions qui conserverait le même outillage et les mêmes

procédés en dehors des régions où ils étaient suffisants pourrait être une des causes confinant les cultures aux sables.

Dépendant entièrement de la pluviosité, elles se disposent en zones latitudinales un peu comme la strate herbacée. Raréfiées dès 400 mm, elles disparaissent presque complètement à moins de 350 mm devant les pâturages. Au sud les premiers champs portent des millets et des niébés. A 450-500 mm, apparaissant le sorgho en intercalaire, l'arachide et le manioc doux dans les sites déprimés. A 600 mm, l'arachide tend à se substituer de plus en plus, actuellement, en toutes positions topographiques aux millets et sorghos. Vers 900 mm, s'annonce une zone qui ne sera caractéristique que vers 1.000 mm où les cultures en buttes du sorgho, du maïs, du coton sont possibles sans irrigations sur sables argileux. De par leur nature, ces limites peuvent se déplacer selon les fluctuations pluviométriques. Pendant les premières années 1960, très pluvieuses, les agriculteurs à la recherche de terres moins épuisées, défrichaient de vieilles steppes à *Commiphora* situées sur la limite méridionale des pâturages des bassins des Goulbi du Niger oriental et central. Dans le passé, des changements climatiques plus amples ont pu faire que la totalité du sahel inculte de nos jours ait pu être entièrement cultivé, ne serait-ce que lors de la descente vers le sud des populations agricoles jadis installées en bordure du Sahara, comme les anciens Haoussas dans l'Aïr.

Le choix du régime hydrique le plus favorable aboutit à une sélection des terrains de culture par la texture et le site. Les sols très légers et drainés des dunes E.2 sont le plus souvent dévolus aux pâturages. Nous n'avons relevé que 18% de défrichements à plus de 575 mm; à 400 mm, les réserves hydriques des sols ainsi dédaignés dans le bassin du Gorouol sont de 18 à 32 mm/m; à 350 mm, leur perméabilité supérieure leur donne au contraire une certaine supériorité sur les sols plus lourds (cf. p. 505) qui peut être mise à profit si les terrains sur dunes basses E.1 sont réellement en très mauvais état physique. Une situation de ce genre existe au Niger central où sur Ct.2, la Série de Chinielga (E.1) est inculte alors que la Série d'Eidir (E.2) peut être cultivée (R. BOULET, 1964). Les sols de la même famille, mais situés dans de vastes dépressions à nappe phréatique point trop profonde, ceux des Dallols et de la cuvette tchadienne, sont au contraire fort recherchés. La limite des pâturages s'y

situé entre 350 et 425 mm. jusqu'à 475-525 mm, 25 à 50% des surfaces sont défrichés pour la culture du mil; ce taux atteint 100% vers 600 mm où la culture de l'arachide peut être largement développée (cuvette tchadienne). Les sols de la famille 2, essentiellement ceux des dunes basses E.1, donnent à la fois les meilleurs pâturages et la plus grande partie des terrains de culture auxquels peut être appliquée la zonation indiquée au début de ce paragraphe. On leur doit les terroirs les plus arachidières du Niger, correspondant toujours à un modèle extrêmement aplani, et/ou à des sols montrant des effets d'un ralentissement du drainage : régions de Bandé, de Matameye, du sud de Tessaoua, de Maradi. Un site analogue mais sahélien est celui des plaines à mil de Difa sur le remblai ancien rubéfié de la Komadougou. A plus de 800 mm de pluies, les sols sablo-argileux F.3 sont régulièrement utilisés, la proportion annuellement cultivée variant de 25% (Série de Diargou, sur Ct.3) à 100% (région de Tenda). Les habitats anciens concentrés le long des remblais de la Mekrou et de la Tapoa dans le parc du W montrent qu'il en fut ainsi naguère. Dès cette latitude cependant de grandes surfaces, à végétation dégradée et à épipédon décapé, paraissent délaissées sinon cultivées avec une très longue périodicité. Elles se généralisent à toute la famille dès 600 mm où les Séries de Kouroungoussa et de Gidam Roumji, sur alluvions anciennes de Maradi, contrastent par leur abandon avec les sols F.2 sur le même substrat. Vers 400 mm les remblais du Gorouol ne sont très cultivés que s'ils sont très sableux. Dans les Maggia, les dépôts sablo-argileux sont d'autant plus incultes en amont des vallées qu'ils sont ravinés; en aval une nappe phréatique peu profonde permet au contraire des rotations à courte jachère. On vérifie ainsi que l'aridité climatique désavantage les sols les moins sableux.

Des disparités dans la densité des cultures pour chaque zone et chaque famille relèvent de facteurs moins connus. On ignore la raison pour laquelle à pluviosité égale, les sols brunis des Goulbi (niveau T.2) sont moins cultivés que leurs homologues des Dallols. Parmi les Séries F.2 très désaturées et pauvres en calcium, certaines sont si incultes depuis fort longtemps, à en juger par leur végétation. On attribuerait ainsi à quelque carence l'abandon de la Série de Koutoumbou, qui, entre 475 et 720 mm, forme une vaste auréole entre le sidérolithique et les plateaux gréseux du Ct.3, puisqu'elle est toujours inculte, même en enclavée dans des Séries cultivées. Le chimisme n'est plus entièrement

responsable lorsque des sols chimiquement et morphologiquement proches sont cultivés mais peut s'ajouter à diverses circonstances défavorables : pas de puits dans le biseau sec de Kirtachi à sols analogues à ceux de Diargou, sur les plateaux ensablés de la surface supérieure sur grès Ct.3, alors que les sols des vallées (Série de Tanchia) sont cultivés, sur les interfluves à alluvions anciennes supportant la Série de Madaroumfa pourtant semblable à la Série surexploitée de Maradi, d'autre part dépeuplement récent des vallées sur grès Ct.3 de la région de Samberra. Inversement les sols plus saturés ne sont jamais totalement désertés et sont complètement défrichés même si la pluviosité est marginale. Tel est le cas de la Série d'Alékoria, sur les grès crétacés du Niger central (400 à 425 mm). C'est un équivalent topographique et morphologique de la Série précitée, inculte, de Koutoumbou : couverture mince voilant des glacis à pente très faible, horizon B peu coloré de teinte 7,5 YR, concrétions. Les différences sont dans des taux doublés de bases et de Ca, un pH proche de la neutralité en surface, une légère accumulation de carbonate de calcium en bas de pente. La ressemblance morphologique éliminant les propriétés physiques, il reste que les pertes en éléments fertilisants majeurs et mineurs dont sont coutumiers les sols acides pourraient être à l'origine de leur vacance partielle.

Le choix d'un terroir est déterminé au Niger successivement par l'appartenance à cet ensemble pédologique de sols perméables et meubles, par la latitude, par des nuances texturales, par diverses circonstances d'ordre hydrogéologique, historique, économique, par le chimisme enfin. Il n'est jamais définitif car la pluviosité, la fertilité actuelle, la répartition des ethnies et actuellement l'état des techniques ne sont pas stables. La conséquence en est que la totalité des sols sableux et sablo-argileux a pu être défrichée à un moment ou à un autre, quelle que soit l'apparence actuelle de son couvert végétal, les exceptions éventuelles ne se situant pas dans une certaine zone pluviométrique mais sur les substrats désaturés. La fréquence des cultures a été plus élevée dans les régions de pluviosité moyenne (500-700 mm) sur les textures sableuses moyennes (F.2) sur les modelés les plus aplanis et sur les substrats les plus riches en bases.

1.532

Incidences sur les sols

Les cultures et, dans une moindre mesure, les pâturages,

accélèrent le brassage éolien des sols les plus légers (cf. p. 529) le décapage aréolaire et le ravinement des sols plus consistants (cf. pp. 523 et 565). Des sols anthropiques, des débris de poteries et des charbons parsemant de petits fronts d'érosion (Kadzel, cf. p. 575) des restes d'habitats attestent de l'ancienneté de ce processus dont la cause est plus l'amenuisement du couvert végétal aux périodes critiques de la saison sèche et du début de la saison des pluies que le travail du sol, toujours superficiel. L'effet des sarclages à la houe est nuisible sur les sols très sableux dont la structure motteuse "nuciforme" due au développement des racines est aussitôt détruite, accroissant la couche superficielle de sables particulières que le vent pourra déplacer sur toute la surface cultivée. L'ameublissement peut au contraire améliorer la perméabilité de sols plus argileux des familles 2 et 3 qui dans leur état "naturel" ruissellent fortement sous les effets conjugués d'une concentration des eaux issues de surfaces imperméables, par exemple des affleurements de glaciés argileux ou cuirassés, et d'une structure de surface compacte. C'est le cas de Séries "vierges" (sols brun-rouge de Chinielga, ferrugineux de Koutoumbou sur grès Ct.2, sols ferrugineux de Kouroungoussa sur alluvions de Maradi) ou abandonnées depuis longtemps (remblai supérieur de la Mekrou) qui étendent aux sables cette observation que le couvert végétal apparemment le moins dégradé n'assure pas une bonne conservation des sols au Niger (cf. p. 340). Le sommet de l'épipédon paraît "encroûté" de lits millimétriques organo-minéraux, peu perméables, et de couches de sables ruisselés compact; le ruissellement y est immédiat et important. Sous cultures la croûte ne se reforme plus que dans les petits creux séparant buttes ou billons, eux-mêmes constitués d'une masse meuble et poreuse de mottes et de sables particulières. La dénudation et l'accroissement du matériel immédiatement détachable et transportable permettent toutefois la poursuite de l'érosion qui aboutit à la longue à faire disparaître la terre cultivable. En dehors de ces terroirs, malheureusement en majorité, qui perdent de leur substance quel que soit leur régime d'utilisation, il en existe de plus stables, toujours densément peuplés, sans apparence d'érosion généralisée ou spectaculaire. Leurs textures sont celles de la famille 2 et leur modelé superficiel est très aplani; ce sont les secteurs arachidières de Maradi, Bandé, du sud de Zinder. La contre-partie est qu'ils subissent plus qu'aucun autre l'appauvrissement en matière organique et en bases qui est le lot des terrains cultivés sans restitutions

suffisantes. On verra sur le tableau 83 que ces derniers sont globalement appauvris en matière organique. Les différences avec les sols sous végétation naturelle sont petites et peu significatives, sauf pour la famille 2 dans la tranche 600-820 mm de pluies (taux de probabilité de 35%) du fait de la dispersion entraînée par l'appréciation approximative de l'état de jachère et de la durée variable de cette dernière. Cette infériorité se retrouve au niveau de la Série :

Taux à 5 cm de la matière organique (M, %) et de la somme des bases échangeables (S, méq/100 g)

<u>Sol inculte</u>	<u>Sol analogue, cultivé</u>
Série de Diargou (ferrugineux, F.3, Ct.3)	
Forêt claire	culture
M = 0,62	M = 0,37 et 0,42
S = 1,97	S = 1,18 et 0,59
	jachère abandonnée
	M = 0,49
	S = 1,44
Série sur alluvions anciennes de Maradi	
(F.2 ferrugineux)	
savane boisée (Madaroumfa)	culture (Maradi)
M = 0,33	M = 0,24
S = 0,95	S = 0,85
Série sur Crétacé (brun-rouge, F.2)	
steppe à Commiphora	culture
M = 0,32	M = 0,17
S = 1,69	S = 0,91

Prisonnier de terrains que leurs qualités physiques lui avaient fait préférer, l'agriculteur nigérien en a opéré une sélection empirique sur des critères de pluviosité, de site, de texture et de fertilité chimique. Les sols les plus désaturés, les plus secs parce que trop légers ou imperméables ou septentrionaux sont abandonnés aux pâturages. L'occupation très inégale qui en résulte a cependant pu s'étendre à l'ensemble des sols sableux parce qu'elle est itinérante à diverses échelles de temps et d'espace. Les cultures, pluviales et de médiocre niveau technique, ne font que se substituer à la strate herbacée dont elles reproduisent la zonation. Bien que le travail du sol puisse être bénéfique pour certains types évolués, l'effet sur la conservation physique et chimique est finalement négatif, probablement parce que la dénudation trop prolongée accélère les processus normaux d'érosion et que les restitutions sont insuffisantes. Le pâturage excessif des sols les plus fragiles (F.1) est également nocif.

A ce niveau d'études la correspondance entre caractères pédologiques et biocénotiques est l'aspect le mieux connu de l'adaptation réciproque des sols, de leur végétation et de leur faune. Les variables ainsi corrélées sont d'une part le type de développement, incluant celui qui caractérise la famille et celui de l'épipédon, quelques particularités chimiques et hydriques liées aux sites, d'autre part la physionomie et les espèces essentielles des associations végétales, la localisation de l'enracinement et de la faune endogée, quelque peu la nature de cette dernière, enfin l'utilisation possible sinon actuelle.

L'extension des sols sableux ainsi que l'incidence floristique de leurs affinités avec les deux ensembles pédologiques les plus importants, l'un saturé, l'autre désaturé, donne aux associations végétales (p. 608-610) une répartition zonale très accusée et caractéristique. Leur interprétation historique calquée sur celle des sols les fait se succéder dans le temps à-peu-près dans le même ordre qu'elles le font vers le désert : forêts claires, "savanes" à Combrétacées, steppes arbustives,

formations à Acacia, steppes herbeuses psammophiles et xérophiles.

Les taux de matière organique et le volume végétal, les profondeurs de l'enracinement et des épipédons varient parallèlement selon la pluviosité. Les racines se répartissent qualitativement de la même façon dans les sols subarides et les sols ferrugineux à ceci près que la base de certains sols brun-rouge peut n'être pas prospectée, indice d'obsolescence, et que l'enracinement est moins dépendant de l'organisation pédologique dans la famille 1 où elle est plus faible.

L'horizon A₂ devrait beaucoup, quant à sa porosité et à ses cotes à l'édafaune dont l'effet de brassage est à la fois antagoniste et subordonné, aux mécanismes de lessivage et d'appauvrissement. L'érosion anthropique, accentuation de la forme de destruction prédominante, a également cette propriété d'être compatible avec une certaine conservation de l'épipédon dont la formation apparaît ainsi comme plus rapide que celle des horizons B. Elle est donc un facteur de disharmonie des profils.

Ce qu'on sait du régime hydrique éclaire la répartition de la bio-masse (cf. pp 513 et suiv.). La fréquence avec laquelle les pluies atteignent les horizons profonds diminue vers la zone subaride sans s'amplifier. Le contact A/B concentre l'eau dans l'épipédon. La consommation d'eau tend à être égale à la totalité des réserves sous le couvert naturel : la végétation adapte son développement à la pluviosité. L'effet néfaste de l'érosion anthropique est d'autre part balancé par l'économie d'eau due à la culture qui est facteur d'approfondissement des horizons A. Le fait que le sommet de ces derniers soit toujours dans la zone de "lessivage potentiel" pourrait être une cause de leur reconstitution rapide.

1.6 CONCLUSIONS

1.61 Nature et genèse des toposequences à sols ferrugineux et brun-rouge sur matériaux sableux

L'organisation de base est celle des sols ferrugineux bien drainés, où l'horizon B du profil ABC est rougi de façon homogène. L'épaisseur du solum est de l'ordre de un à deux mètres, l'épaisseur totale peut être plus de deux fois plus grande. Le départ et/ou l'état du plasma minéral individualisent l'épipédon au moins autant qu'une matière organique très incorporée, peu colorée à l'état sec. L'accumulation et/ou l'état du plasma minéral situent dans les horizons B les structures les plus développées et les couleurs les plus vives. Le développement pédique est ordinairement nul, les débits décelant seuls des hétérogénéités dans la distribution relative du plasma et du squelette. Lorsque le drainage est libre, la structure du matériau apparaît plus tôt que sa couleur propre dans une épaisse zone de transition (BC). Le matériau peut être diversement masqué par des accumulations discontinues, profondes, de fer et d'argile, par une ferritisation de nappe aux aspects spécifiques (halos glebulaires jaunes, nodules ou concrétions tubulaires et stalagmiformes).

La matière organique, très humifiée, est diminuée à proportion de la pluviosité, de l'humidité édaphique, du couvert végétal. Elle décroît continûment vers la base du profil, indépendamment de l'organisation en horizons, du type de végétation, de la pluviosité. Cette répartition n'est jamais isohumique, sauf par artifice graphique; elle ne donne pas non plus, à elle seule, les limites d'un horizon "humifère". Les acides humiques liés par Fe s'accumulent relativement dans les horizons B; les acides humiques liés par Ca sont abondants dans les sols des sites bas ou déprimés qui sont très variablement brunis et lessivés, ce qui montre qu'il n'y a pas de relation stricte entre le type de matière organique et le type de différenciation.

Le plasma minéral est insuffisamment connu dans sa minéralogie et dans son origine. Dans des cas typiques il est formé de kaolinite saturée d'hydroxydes de fer dont l'hydratation est de l'ordre de grandeur de la goethite. L'altération de très faibles quantités de minéraux labiles (feldspath) les poudres éoliennes, l'héritage de sols anciens en sont autant de sources possibles. On attribue aux variations qualitatives du plasma minéral les variations de couleur très ordonnées du profil et de la toposéquence : rougissement, brunissement, jaunissement en présence d'une nappe. La mobilité plus grande du fer n'apparaît que rarement, surtout à la base des profils où il migre plus profondément que l'argile. Le sol "lessivé en fer et non lessivé en argile" reste une entité théorique difficile à retrouver sur le terrain. Les courbes de répartition verticale des deux constituants sont grossièrement parallèles. Leurs formes diverses résultent du dosage variable entre un mécanisme constant, le lessivage, et des mécanismes dépendant plus strictement de conditions locales (épaisseur, perméabilité, modelé, site, histoire) tels que le vannage éolien, l'éluviation superficielle par l'eau, les apports ou l'entraînement par une nappe. On explique par cette dépendance multiple et par la faiblesse des taux l'existence, caractéristique des sols sableux, de types de répartition de l'argile et des hydroxydes de fer différents dans des profils à morphologie très voisine. Une autre particularité est que le plasma peut avoir une distribution relative discontinue, en raies, bandes, dans les horizons illuviaux, en stries et raies dans les épipédons.

Le squelette est entièrement siliceux à quelques pour cent près; le diamètre des grains est resserré en moyenne entre 0,4 et 0,06 mm; leur longue histoire révèle la dépendance constante de l'usure à l'égard de la corrosion. Cette dernière ne s'est guère modifiée après la mise en place des sables, pendant l'évolution en sols ferrugineux, sauf dans quelques concrétions.

Le lessivage des bases recyclées par la végétation diminue avec la pluviosité si bien qu'en deçà d'une quantité de précipitations variables avec la richesse du matériau, les épipédons sont neutres et saturés. Les horizons B sont normalement acides. Les apports de base, de carbonates par la nappe se superposent à des morphologies normales qu'ils ne modifient pas en dehors des horizons directement affectés.

Le profil varie le long de la pente dans sa couleur plus

que dans son organisation, dans la fréquence des accumulations discontinues, des dépôts de nappe. Les sols des cotes basses peuvent ne différer que par la disparition de la couleur rouge de l'horizon B : il s'agit alors d'une toposéquence au sens strict. Ils peuvent ajouter à ce brunissement un accroissement des taux d'argile et de fer, en accumulation continue ou discontinue; l'interprétation est celle d'une chaîne d'accumulation. Ils peuvent au contraire être plus lavés, décolorés, avec des épipédons épais et très souvent une distribution discontinue du plasma étendue à tout le profil; de leur dynamique on ne sait rien de plus qu'elle correspond à un flux plus important des solutions. On n'attribue au gradient pluviométrique actuel que la variation des épipédons; leur faciès "subaride" plus mince, plus saturé, moins organique, est l'indice d'un déséquilibre pédo-climatique en milieu sahélien. Le degré de différenciation moyen, défini par l'épaisseur, par le développement de la structure, par l'individualisation des horizons, varie par vastes ensembles aux caractéristiques physiographiques et écologiques différentes, produits d'une histoire complexe.

La stratigraphie de ces dépôts hydriques et éoliens situe leur mise en place pendant les mêmes fluctuations sèches qui ont raboté les sols des glacis inférieurs. Le caractère régional de particularités chimiques, minéralogiques, sédimentologiques, leur donne pour origine la couverture pédologique autochtone où l'on sait que déjà les sols ferrugineux abondaient. Le vannage éolien est le fait majeur puisqu'on lui doit, ainsi qu'à l'homogénéité constitutionnelle des sols antérieurs, le resserrement de l'éventail morphologique. Comme les matériaux correspondants sont en continuité ou connexité verticale et latérale avec des dépôts d'origine hydrique, on sait que la mise en place des dunes a été précédée, accompagnée, suivie de remaniements par l'eau. Les plus anciens produisaient ce colluvionnement de glacis dont l'évolution est suffisamment lente pour ne pas interrompre la pédogenèse. Les sols correspondants sont encore présents au sud de la zone d'invasion dunaire. Les matériaux ont ensuite acquis des caractères proluviaux plus nets et se sont localement accumulés en remblais fluviatiles. Leur sommet a été progressivement éolisé et fossilisé au fort de la période aride à partir de latitudes qui peuvent correspondre à des pluviosités actuelles aussi élevées que 1.000 mm. Le retour à un climat humide a été accompagné d'une reprise des remaniements hydriques, spécialement de ceux qui sont encore associés au brassage éolien à moins de 250 mm entre les dunes vives et les dunes

fixées. La pédogenèse a pu ainsi agir sur des topographies très émoussées et sur des matériaux homogénéisés. Elle a fixé la plupart des caractères actuellement observés, dont l'organisation en sols ferrugineux rouges, alors que la pluviosité était plus élevée de plusieurs centaines de millimètres; la preuve en est apportée par l'existence de sols fossiles à 100mm, de concrétions de nappe à 350 mm et moins, par l'insensibilité des horizons B, au gradient pluviométrique et par leur obsolescence partielle en milieu subaride. Ce type d'évolution a disparu depuis, du moins ses effets ne sont-ils plus évaluables depuis longtemps: il existe des sols AC bruns bien drainés depuis cinq millénaires dans la cuvette tchadienne jusqu'à 650 mm où ils sont remplacés par des sols non rubéfiés, à raies, assimilés à des sols ferrugineux juvéniles. De même les crêtes dunaires, très visiblement remaniées à plusieurs reprises jusqu'à l'époque actuelle, ne portent que des sols peu évolués. L'étude de ces derniers a fait apparaître des règles également applicables aux toposéquences à sols rubéfiés. Les sols des modelés éoliens sont d'autant plus différenciés que la topographie est plus émoussée; le remodelage éolien tend à fixer des aires où le brassage rajeunit les profils, où le vannage réduit fortement les possibilités d'évolution. Elles ont fait naître l'hypothèse de générations successives de toposéquences à sols rubéfiés, les moins différenciées étant tenues pour les plus jeunes pour avoir cumulé les atteintes éoliennes. Cette interprétation est renforcée et précisée par l'existence de deux biogéocénoses distinctes dont la disposition relative est celle de deux ergs; le plus récent, à modelé plus accusé et sols plus juvéniles, remanie la partie la plus septentrionale du plus ancien.

Le calcul montre que la fréquence avec laquelle la totalité du profil participe actuellement aux échanges hydriques diminue avec la pluviosité sans toutefois s'annuler jamais. Les régimes hydriques mesurés vers 600 mm de pluies sont adaptés au profil, maintenant ou accusant les conditions physiques propres à la genèse de chaque type d'horizon: quasi-saturation temporaire et forte percolation dans l'épipédon, imbibition plus lente et dessiccation complète des horizons B. Donc en milieu ferrugineux, c'est-à-dire où les horizons de surface paraissent en harmonie avec les horizons B, la pédogenèse peut encore affecter la totalité du solum mais sa vitesse ne peut être, la géographie des sols nous l'apprend, que très lente et sa nature, les sols juvéniles à raies nous le rappellent, peut différer de celle qui a donné les

toposéquences à sols rubéfiés. En milieu subaride, ces possibilités sont progressivement réduites, la base des profils étant de moins en moins souvent humectée. En même temps, des propriétés estimées peu compatibles avec la formation de sols ferrugineux et lessivés apparaissent dans les horizons de surface.

L'étude de la végétation amène à des conclusions semblables. Seule la base de sols brun-rouge parmi les moins sableux peut n'être pas prospectée par les racines qui atteignent ordinairement tout le profil. L'adaptation physiologique et floristique fait apparaître les divisions latitudinales, les grands ensembles biocénotiques, jusqu'à des nuances chimiques corrélées avec la lithologie, indice d'une évolution déjà vieille et parallèle à celle des sols. Les espèces ont été empruntées à la fois à celle des toposéquences à sols lessivés, acides, de climat soudanien ou sahélien, et à celle de sols saturés de climats sahéliens à subdésertiques : ces appartenances multiples donnent à la végétation des sols sableux une grande valeur phytogéographique. La variation des taux de matière organique est parallèle à celle du couvert végétal, selon la pluviosité ou les cultures. L'omniprésence d'une strate graminéenne très fournie pourrait être à l'origine du mode de répartition peu variable de la matière organique dans les sols sableux.

L'adaptation de la faune endogée fait apparaître des différences de texture, de pénétrabilité, de régime hydrique. Elle n'est pas absolument passive. Les animaux paraissent adapter les dimensions de l'épipédon à leurs exigences écologiques. Ils colonisent les horizons A₂ et contribuent à former leur porosité. Le brassage, l'homogénéisation dont ils sont responsables ne viennent pas à bout de la succession A/B. La raison en serait une reconstitution rapide des horizons A dont le régime hydrique provoquerait toujours le lessivage, la décoloration, aussi faible la pluviosité fût-elle, à cause de la relative constance des hauteurs d'averses.

L'effet des activités agricoles et pastorales est d'accélérer les processus d'érosion éolienne ou hydrique particuliers à chaque zone climatique, à chaque type de sol. Cette destruction est en moyenne suffisamment lente pour ne pas empêcher le maintien ou la reconstitution des horizons A. Elle s'ajoute à la baisse des taux de matière organique, de bases. Elle est due à la dénudation des terres, assez peu au travail du sol. Cette nuisance souffre quelques exceptions, sur des plaines très perméables sans

être éolisables. On lui a trouvé une contre-partie positive en ce que la destruction des strates vivaces économise l'eau qui devient disponible en plus grande quantité pour l'évolution profonde du sol, pour le drainage à la nappe. La mise en défens n'est pas un remède nécessairement efficace. Le décapage et le ruissellement peuvent en effet se maintenir indépendamment de toute culture, sous une végétation naturelle bien développée. L'érosion anthropique est inégale à cause de la sélection des terres mais étendue à la totalité des sols sableux à cause de la mobilité des aires cultivées. L'agriculteur nigérien recherche les sites plats, bien alimentés en eau, les sols riches en bases; il abandonne aux pâturages les terres trop sableuses, trop arides, trop acides. Les variations de la pluviosité, actuellement et dans le passé, de la fertilité, des événements historiques lui imposent des déplacements dont les sols conservent les traces.

Finalement les processus actuels d'évolution ne se manifestent qu'au niveau des horizons supérieurs et ne paraissent guère capables que de limiter les effets d'une destruction lente mais irréversible d'un capital de sols anciens.

1.62 Les grandes familles de
sols sableux

1.621 Les sols ferrugineux peu lessivés à lessivés (F.3)

Le profil

- de type fréquent A.1 - A.2 - B - BC - IIC; l'épaisseur peut dépasser 400 cm
- l'épipédon de type ferrugineux est épais, avec un horizon A.2 très individualisé; l'épipédon de type subaride est au contraire des plus minces parce que très sensible au ruissellement; valeurs limites du faciès "brun-rouge" : A.1 + A.2 < 11 cm, matière organique 0,39% et C/N 8,75
- l'horizon B possède un débit polyédrique ou une structure polyédrique en assemblage compact; les maxima des taux d'argile et de fer sont souvent situés plus profondément que l'horizon le plus structuré et le

plus coloré; ferritisation de volumes nodulaires en taches ou concrétions; pas de cuirassement

- horizon BC : texture souvent plus lourde; structure plus compacte; volumes nodulaires très fréquents; les taux des fines sont de 15,5, 20, 50% respectivement pour 2, 20, 50 /.
- horizon C : indéterminable en général; le solum déjà épais est lui-même relayé d'actions hydriques profondes (IICg) ou repose sur d'anciens horizons concrétionnés et remaniés (IIC en).

La toposéquence

- les profils rubéfiés dominent très largement, bien que le modelé soit très aplani et qu'une nappe ait existé à la base du solum le plus souvent; sur remblais des sols de bas de pente bruns sont connus tant au sud qu'au nord, avec des accumulations calcaires diverses; des sols très lavés à concrétionnement de nappe ont été décrits aux pieds de glaciers.

Facteurs de formation

- les matériaux sont des dépôts de pente ou des remblais fluviatiles; sur pentes il s'agit plus de sols anciens remaniés que de matériaux proprement dits
- le modelé est forme de plaines ou de pentes faibles
- cette famille est surtout étendue à plus de 750 mm, mais est connue à moins de 350 mm
- le freinage de l'écoulement sur le contact A/B, la quasi-saturation de l'épipédon, l'imperméabilisation superficielle en sol nu prennent beaucoup d'importance pour le régime hydrique; la dessiccation est complète en saison sèche; en milieu subaride, l'infiltration paraît difficile et l'aridité de cette famille rejoint celle de tous les sols de glaciers
- la végétation : des forêts claires et des savanes boisées au sud, des peuplements clairsemés d'épineux au nord
- la faune : des termites à toutes les latitudes.

Erosion

décapage aréolaire partout; ravinelements spectaculaires tant au sud qu'au nord dus à des déséquilibres entre les pentes et la végétation accentués par les défrichements.

Histoire

la mise en place des matériaux encadre celle des dunes au nord ou l'accompagne largement au sud; l'acquis pédologique peut être très important et apparente les sols de cette famille à ceux des glacis inférieurs (M.3) locaux; la pédogenèse des matériaux fluviatiles en est au contraire indépendante bien que souvent convergente (sols rouges); on la situe à la même période humide qui a vu évoluer les sols des dunes les plus anciennes (génération S.1); la rubéfaction a été compatible avec des nappes peu profondes et même a pu résister ultérieurement, jusqu'à notre époque, à un ennoyage.

Utilisation

sols assez peu cultivés au nord parce que trop secs, au sud parce que mal situés, en dépit de leurs bonnes capacités de production.

1.622 Les sols ferrugineux peu lessivés (F.2)

Le profil

- ordinairement de type A.1 - A.2 - B - BC - C; l'épaisseur peut atteindre 325 cm
- l'horizon A.2 est moins nettement individualisé mais sa porosité caractéristique existe toujours; les limites de l'épipédon de type subaride sont :
A.1 + A.2 < 36 cm, matière organique 0,22% et C/N 9,25
- l'horizon B possède un débit mamelonné; les maxima des taux de fer et d'argile coïncident avec la couleur la plus vive et la structure la plus développée; il existe des volumes polyédriques compacts, non ferritisés; raies et bandes sont fréquents
- horizon BC : apparition de la structure et de la texture du matériau, la couleur restant proche de celle du B

- horizon C : souvent observé, de sable particulière: peut être diversement transformé par des actions de nappe (jaunissement, concrétions en stalagmites) par des accumulations discontinues profondes; taux moyens des fines 7,0, 8,6, 14,5 pour 2; 20 et 50 μ.

Les toposéquences

de trois types : avec simple variation de couleur, avec profils d'accumulation, avec profils très levés.

Facteurs de formation

- les matériaux sont des sables de dunes basses, plus rarement de remblais
- le modelé est variablement ondulé, parfois aplani; la topographie fossilisée peut déterminer la répartition des termes de la toposéquence lorsque la couverture est mince en réglant le drainage local
- cette invasion dunaire, est, au Niger, visible jusqu'à 860 mm; elle occupe une grande partie du paysage à moins de 650 mm
- le régime hydrique doit être qualitativement analogue à celui de la famille 3, à ceci près que l'infiltration y est plus facile en milieu subaride; le "drainage à deux mètres" y est nul à 470 mm sous cultures et à 360 mm sous sol nu
- la végétation varie entre des savanes boisées au sud et des steppes arbustives au nord; la strate herbacée est annuelle au delà de la savane à Andropogonées
- dans la faune les termites se raréfient et les fouis-seurs sont plus apparents.

Erosion

le décapage superficiel par l'eau et des formes d'érosion éolienne mineures sont ordinairement observées.

Histoire

cette première génération de dunes (E.1) a succédé aux dépôts hydriques F.3; elle-même a alimenté quelques dépôts fluviatiles qui ont parfois conservé la même texture; l'ensemble a évolué simultanément (S.1); les

remaniements éoliens qui ont suivi, inégalement répartis, ont conservé une partie de cet acquis pédologique.

Utilisation

des pâturages à moins de 350 mm de pluies, des cultures au delà.

1.623

Les sols ferrugineux peu lessivés à non lessivés (F.1)

Les profils

- les sols rubéfiés sont de type A.1 - A.2 - B - BC - C ou A - (B) de couleur - BC - C; des sols brunis de bas de pente sont parfois du type A-C; la diagnose de l'horizon A.2 est toujours difficile; l'horizon B est toujours perçu comme un B de couleur, parfois de structure, exceptionnellement de texture; de façon générale, les variations de couleur et de porosité forment l'essentiel des caractéristiques distinctives des horizons, aux transitions très progressives; l'épaisseur peut atteindre 185 cm
- dans l'épipédon, la couche de sables particulières de surface prend une grande importance; les limites du faciès subaride sont les suivantes : A.1 + A.2 ou A < 31 cm, matière organique inférieure à 0,22%, C/N inférieur à 9,25; les pH sont relativement plus élevés dans cette famille
- le débit des horizons B est régulier ou légèrement mamelonné; il n'y a pas de volumes plus argileux et plus compacts perceptibles sur le terrain; les accumulations discontinues ne dépassent pas le stade de raie; les répartitions du plasma minéral de types homogènes ou enrichis sont moins fréquentes que les répartitions de types lessivés dans les dunes, aussi fréquentes dans la cuvette tchadienne; les maxima de couleur, structure, texture coïncident
- la couleur de l'horizon B s'affaiblit graduellement dans un horizon BC qui a déjà la structure du matériau
- l'horizon C est régulièrement observé; il n'est envahi par la nappe (décoloration, jaunissement, concrétions en stalagmites) que dans les vallées et dépressions, mais alors systématiquement; les taux moyens

des fines sont de 2,2%, 2,8%, 5,0%, respectivement pour 2, 20, 50^µ.

Les toposéquences

elles sont de même nature que dans la famille 2; les sols brunis de bas de pente sont plus communs, il leur arrive d'envahir tout un modelé (goulbi); les toposéquences sont fréquemment remplacées dans leurs parties hautes par des associations de sols diversement peu évolués (génération S.3).

Facteurs de formation

- les matériaux sont les sables de dunes hautes, des vallées sèches sur grès, de la cuvette tchadienne; l'influence pédologique des caractéristiques chimiques du substratum est minimum, le plus souvent nulle
- le modelé est fortement ondulé ou aplani; la topographie fossilisée n'agit pas sur la répartition des termes de la toposéquence; la nappe phréatique des dépressions a eu pour effet de concrétionner des sols rubéfiés ou de favoriser le brunissement
- vers 575 mm, les grandes dunes disparaissent; les sables des dallols atteignent 875 mm
- la dessiccation des profils les moins évolués est moins complète en profondeur que dans les autres familles; il est possible que l'humidité des épipédons soit moins forte à cause de la transition plus progressive entre horizons A et B
- les steppes herbeuses vivaces psammophiles sont caractéristiques de la famille qui ne porte plus que par exception des peuplements densément ligneux
- l'abondance des animaux fouisseurs et l'extrême rareté des termites sont les effets de la pénétrabilité et de la légèreté de ces sols.

Erosion

l'effet du ruissellement est minime mais l'érosion éolienne est très facilement déclanchée par le piétinement, le travail du sol; elle se produit par crises

dont la succession en des points de faiblesse permanents a été enregistrée par des sols jeunes.

Histoire

ces matériaux sont ceux d'une seconde période aride, succédant à la période de formation des sols S.1; les dunes hautes (E.2) se sont édifiées en des sites exposés des dunes anciennes E.1, ou aux dépens d'alluvions très sableuses identiques à celles qui actuellement colmatent les dallols et la cuvette tchadienne; ce vannage supplémentaire a eu pour effet de contribuer à la moindre évolution de cette seconde génération de sols rubéfiés (S.2) corrélée avec des dépôts très fins, chimiques, significatifs d'un couvert végétal plus dense qu'actuellement; cette pédogenèse ne se manifeste plus depuis cinq millénaires pendant lesquels plusieurs successions éolisation-fixation n'ont produit que des sols peu évolués bruns à moins de 650 mm.

Utilisation

les dunes ne donnent que de médiocres pâturages; elles ne prennent quelque valeur agricole qu'à la limite nord des cultures; les dallols et la cuvette sont assez régulièrement cultivés, à cause de la relative proximité de la nappe suppose-t-on.

2.

2.

C A R A C T E R I S A T I O N
M O R P H O L O G I Q U E E T A N A L Y T I Q U E

2.1

LES SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES A LESSIVES (F.3)

2.11

Les toposéquences
méridionales (ferrugineux au
sens strict

2.111

Les toposéquences des glacis

2.1111

Les types
.....

Les sols les plus caractéristiques de cette grande famille sont situés sur les bas versants (M 2-3) des vallées entaillant les grès continentaux du Moyen Niger (Ct.3) à 800 mm de pluviosité et plus. La Série de Diargou correspond au profil en position topographique moyenne :

site de Dole (NJ 83)

Lat. : 11° 48' 40" N.
Long. : 3° 39' 50" E.
Cote : 175 m

versant est du Dallol Maouri; pente inférieure à 1%; deuxième tiers supérieur du versant; jachère à Combretum glutinosum; pluviosité : 875 mm.

Surface : couche de 1 cm de sables grossiers (ruissellement); des termitières "cathédrales".

- 0-3/6 cm : 7,5 YR 4,5/4, brun rougeâtre foncé; grossièrement sableux (Sg = 57%, Sf = 28%) avec quelques graviers de quartz (1 cm); billons de sarclage arasés par le ruissellement; sous les billons structure motteuse nuciforme (5-10 mm) de cohésion faible, les mottes adhérant aux racines, séparées par des sables particulaires; entre les billons structure massive, compacte (tassement) à débit horizontal facile dû au tassement et à un litage de sables particulaires grossiers identiques aux sables ruisselés superficiels
- A.11 p
- 3/6-21 cm : 10 YR 4,5/2, brun gris foncé: même texture; structure massive, débit mamelonné; cohésion faible à moyenne; porosité semi-tubulaire ($\emptyset = 0,25$ mm) développée par des plages couvrant les 3/4 de l'horizon, séparées par des zones à porosité intersticielle plus fine, également très développée; des cavités emplies du matériel rougeâtre des horizons inférieurs
- A.12
- Transition progressive (10 cm) ou brève (2 cm)
- 21-37 cm : 5 YR 4,5/5, brun-rouge foncé; texture très légèrement moins sableuse; un lit de graviers de quartz et de grès épais de 5 cm; massif, débit polyédrique très facile (2-3 cm); cohésion moyenne, avec des volumes de 1-2 mm nettement plus cohérents; porosité semi-tubulaire plus fortement développée et plus grossière; horizon plus dur que le précédent; des fissures verticales (1 mm) emplies d'agrégats; des trous de racines emplies du matériel de l'horizon sus-jacent
- A.2
- 37-60 cm : rouge-jaune foncé, des volumes (2mm) légèrement plus colorés; même texture, mêmes débris grossiers; structure polyédrique (2 cm) en assemblage compact ou massive à débit polyédrique de même taille; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire encore bien développée
- A-B ou B.1
- 60-125 cm : 5 YR 5/6, rouge jaunâtre, avec un reticulum épais (2-3 cm) ternissant rapidement à l'air; texture sablo-argileuse; des fragments de grès, certains disposés sur le même plan près du
- B2 t

sommet de l'horizon: des graviers de quartz; structure polyédrique (1-5 cm) en assemblage compact ou massive à débit polyédrique moins facile que dans l'horizon précédent; cohésion moyenne à forte: porosité semi-tubulaire un peu moins développée; des pores tubulaires à parois lisses ($\emptyset = 0,5$ mm); très dur

- 125-170 cm : 5 YR 5,5/6, plus clair et jaune que ci-dessus; concrétions tendres rouges 2,5 YR 4/8 (2 mm); sableux; des débris de grès (5 cm) à plat; massif, débit polyédrique grossier (plus de 5 cm); cohésion forte à très forte; porosité semi-tubulaire très réduite; présence de volumes (1 cm) polyédriques compacts, ne contenant que quelques pores tubulaires, très durs
- B.31 cn
- 170-200 cm : cet horizon diffère du précédent par de plus nombreuses concrétions tendres et rouges; elles perdent de leur cohésion en dessous de 190 cm
- B.32 cn

enracinement : les racines de graminées, fines et horizontales, sont plus abondantes dans l'horizon A.2; elles sont encore plus nombreuses, mais verticales, jusqu'à la base de l'horizon B.2t.

Ce profil réunit toutes les caractéristiques. L'épipédon est épais, foncé, relativement humifère (près de 0,5%) comme il l'est habituellement pour cette pluviosité. L'horizon A.2 est une couche écologiquement plus favorable que l'horizon A.1, partiellement compacté; il est en retour plus poreux. L'horizon B textural est aussi le plus coloré et près d'être le mieux structuré. La structure y est presque polyédrique, moins par le fait de taux de plasma élevés (l'argile n'atteint ici que 12%) qu'à cause de sa distribution hétérogène dont le "reticulum" et les volumes compacts sont d'autres effets. Les sols de cette famille sont donc les plus différenciés avant d'être les plus argileux. Le concrétionnement tendre et fin se situe sous l'horizon B textural mais dans une matrice moins riche en fer que dans ce dernier. C'est une redistribution interne concentrant les hydroxydes dans des agrégats petits et compacts visibles dès l'horizon B.1. Leur durcissement n'est acquis qu'au-dessus de 190 cm, ce qui est classiquement attribué à la dessiccation plus rapide des couches atteintes par les racines. Le matériau, non observé à l'état d'horizon C, est lité et colluvial; en effet si ses

sables sont homogènes, les débris de grès varient dans leur texture minéralogique d'un point à un autre, ce qui ne serait pas le cas d'un matériau d'altération. L'effet final du travail du sol en billons est d'étendre à une plus grande masse du sol les dégâts du ruissellement; tri et litage des sables les plus grossiers, appauvrissement en fines.

Cette différenciation maximum n'appartient qu'au centre de la toposéquence dont les profils sommitaux sont notablement plus homogènes, comme on le verra dans la synthèse morphologique ci-dessous.

Sols des parties hautes de la toposéquence

horizon A.1

- 11 à 15 cm, médiane 15 cm
- brun rougeâtre (7,5 YR 5/5-6) brun-ocre (7,5 YR 4/3)
- sableux
- débit légèrement mamelonné, parfois feuilleté; cohésion moyenne à forte; sommet encroûté; porosité inter-granulaire et semi-tubulaire.

horizon A.2

- épais de 15 à 23 cm, médiane 20 cm
- brun rougeâtre (5 YR 5/6) rouge (5 YR 4/8)
- sableux
- débit mamelonné à polyédrique; cohésion forte, parfois moyenne; des agrégats plus cohérents; le plus souvent porosité maximum, semi-tubulaire.

horizon B.21 (ou B.2)

- cote du sommet : 28 à 44 cm, médiane 38 cm
- épaisseur : 70 à 130 cm
- texture sablo-argileuse
- rouge (2,5 YR 5/6-8 ou 4/7)
- débit très mamelonné à polyédrique ou polyédrique en assemblage compact; cohésion forte à très forte; porosité nettement réduite, semi-tubulaire et tubulaire.

horizon B.22 (ou B.3)

- sa base est celle du profil, entre 120 et plus de 300 cm; elle est formée d'une nappe graveleuse et/ou gravillonnaire dont la matrice est le matériel meuble de l'horizon B.22, dont les fragments de grès, altérés,

ont également les mêmes propriétés analytiques

- mêmes couleurs que l'horizon B.21, rouges
- même texture que l'horizon B.21 ou plus argileuse
- développement pédique égal ou légèrement meilleur; cohésion égale ou légèrement plus forte; porosité nettement plus faible
- pas de concrétions tendres
- au contact du substratum niveau à porosité biologique forte.

Sols des parties moyennes de la toposéquence (cf. NJ 83)

Horizon A.1

- 15 à 21 cm
- brun-gris (10 YR 4,5/2) brun-ocre (7,5 YR 5/4)
- sableux
- débit régulier ou horizontal; structure "nuciforme" autour des racines; cohésion moyenne à faible; porosité intersticielle et semi-tubulaire.

Horizon A.2

- 12 à 16 cm
- brun rougeâtre (5 YR 4,5/5, 4/6)
- sableux
- débit très mamelonné à polyédrique; cohésion moyenne à forte; des agrégats plus cohérents; forte porosité semi-tubulaire.

Horizon B.2

- parfois précédé d'un horizon de transition
- sommet à 27-37 cm (transition incluse)
- épaisseur : 88-138 cm
- texture sablo-argileuse
- rouge jaunâtre (5 YR 5/6, 4/8)
- structure presque polyédrique en assemblage compact au sommet, plus large et massive à la base; des volumes plus cohérents; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire et tubulaire, moins développée.

Horizon B.3

- sommet à 125-165 cm, base (non observée) à plus de 200 cm
- couleur plus claire d'une demi-unité de valeur

- texture plus ou moins argileuse que dans l'horizon B.2
- débit polyédrique; si les petits agrégats à l'origine des concrétions sont abondants (0,5-2 mm) ils accroissent l'irrégularité et la finesse du débit; cohésion forte à très forte, moyenne dans les plages riches en agrégats; porosité minimum
- taches ou concrétions tendres ferrugineuses, rouges (2,5 YR 4/6-8) petites (2-3 mm) formées par ferritisation d'agrégats ou volumes compacts; parfois accompagnées de plages légèrement décolorées

Sols des parties basses des toposéquences

Els sont rarement observés, soit que la base du versant soit réentaillée, le profil est alors du type précité, soit qu'elle soit colmatée de matériaux différents à sols hydromorphes. Un bon exemple en a pu cependant être décrit à Karekopto (12° 33' 40" N., 2° 39' 15" E.) sous savane boisée à Bombax (pluviosité : 780 mm).

Horizon A.1

- 20 cm
- gris-brun (10 YR 5,5/3)
- finement sableux
- débit régulier, nuciforme ou feuilleté au sommet; cohésion moyenne à faible; porosité intersticielle.

Horizon A.2

- 18 cm
- beige (7,5 YR 5,5/4)
- moins sableux
- débit mamelonné; cohésion moyenne; très finement et fortement poreux.

Horizon B.1

- 24 cm
- jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6)
- sablo-argileux
- débit polyédrique; cohésion moyenne; des agrégats durcis; porosité plus faible; des volumes compacts.

Horizon B.2

- 73 cm
- jaune-rouge (7,5 YR 5/8); gaines décolorées autour de pores

- plus argileux que ci-dessus (20%)
- débit fortement polyédrique, cohésion forte, très forte pour certains agrégats compacts; ces derniers (5 mm) sont inclus dans une matrice apédique à porosité tubulaire ($\emptyset \approx 0,5$ mm); dur.

Horizon B3 en

- 40 cm et plus
- plus jaune et marbré que ci-dessus
- un peu moins argileux (16%)
- plus massif
- concrétions tendres (5 mm) rougeâtres; la matrice est plus riche en fer que celle de l'horizon B.2, relativement au taux d'argile et en valeur absolue.

Ces divers termes sont indépendants les uns des autres dans leur occurrence et leur extension qui ne sont déterminées que par le site; ils constituent donc une toposéquence. Les variations morphologiques traduisent une diminution du drainage interne vers le bas de pente où les épipédons virent au gris, les horizons B au jaune, où la décoloration de pores et la formation de nodules ferrugineux révèlent les niveaux du profil les plus sensibles à un accroissement de l'humidité, la base et le sommet de l'horizon B.

Dans la région de Samberra, où ils sont très communs, ils voisinent avec les toposéquences des dunes les plus méridionales (F.2). Ces dernières possèdent la même succession d'horizons, les mêmes variations de couleur, les mêmes types de distribution du plasma. Elles diffèrent par leur indépendance à l'égard des sols plus autochtones du glaciaire (cf. coupe de la p. 274) leur modelé encore ondulé, des textures un peu moins argileuses (A + Lf compris entre 11% et 20% à la base des profils) des structures qui ne dépassent pas le débit mamelonné, l'absence de ferritisation d'agrégats compacts. Les matériaux voisins de la famille 3 montrent des transitions entre des colluvions et des sables possédant l'homogénéité, la granulométrie à sables plus fins, parfois la localisation topographique (par exemple en bourrelet chevauchant l'entablement d'un plateau cuirassé) des matériaux plus purement dunaires. De ce voisinage, nous avons conclu que les sables éoliens procédaient des sables colluviaux, qu'une même pédogenèse (génération S.1) leur avait imprimé une forte ressemblance morphologique, que les seconds avaient mieux conservé l'héritage pédologique des chaînes anciennes

autochtones, à sols faiblement ferrallitiques, sols ferrugineux lessivés rubéfiés, sols ferrugineux lessivés indurés (cf. pp. 233-234 et p. 273). La structure très fine, millimétrique, de volumes d'horizons B3 en est un indice de parenté avec les sols anciens proches des sols faiblement ferrallitiques, alors que la succession des horizons est la même que celle des sols ferrugineux lessivés rubéfiés. En étudiant les sols ferrugineux lessivés du Djer-maganda, nous avons retrouvé une filiation analogue pour les sables dunaires à partir d'une toposéquence où ne figuraient que des sols ferrugineux (cf. p. 288).

La relative richesse en matière organique est l'effet de la densité de la végétation; les taux maxima se situent sous savane boisée inculte (0,6%) les taux minima dans des sols très décapés de la région de Maligorou (0,34%). Elle est toujours bien évoluée. Ses variations verticales sont de type logarithmique (cf. Annexe 2) jusqu'à une profondeur de l'ordre de 50 cm au delà de laquelle elle peut décroître un peu plus vite. Elle est légèrement accrue dans les horizons profonds où la faune se concentre (cf. horizon B.22 du profil NJ 59 dans le tableau ci-joint).

Le plasma minéral est constitué de kaolinite et de "goethite" (respectivement 8,5 et 1,5% dans l'horizon B.2 du profil NJ 83) dans des rapports qui montrent la saturation de l'argile par les hydroxydes dans les horizons B :

(fer libre/argile) % = 9 à 12%, médiane 10
(fer total/argile) % = 10 à 16,5%, médiane 12,5)

La répartition verticale des taux d'argile (cf. Annexe III) est du type "lessivé normal" 3a dans 17% des cas, du type 3d "lessivé profond" dans 50% des cas, du type 2 "appauvri" dans 33% des cas. L'horizon le plus argileux est donc communément situé à la base du solum, parfois dans l'horizon B.2 de couleur et de structure. Il existe une notable proportion de sols où la croissance des taux d'argile s'arrête au sommet des horizons rougis, spécialement parmi les types sommitaux. Cette répartition serait l'effet de l'érosion superficielle. Les variations des taux de fer, libre et total, sont en gros parallèles à celles de l'argile. L'horizon A.1 est plus riche en hydroxydes relativement à l'argile que les horizons B, mais relativement plus pauvre en "fer libre" par rapport au fer total, ce qui pourrait être dû à la

présence de petites quantités d'oxydes dans le squelette, sous forme un peu moins soluble, telles les oolithes ferrugineuses héritées des grès. La zone de concentration maximum du fer est souvent un peu plus profonde que celle de l'argile mais il n'y a pas de relation entre le concrétionnement et la richesse en fer de l'horizon. A ce stade peu poussé, la nodulation ferrugineuse peut n'être qu'une redistribution du plasma.

Nombre de caractères relatifs au complexe absorbant sont très influencés par la roche mère, acide et désaturée :

- la capacité d'échange spécifique de l'argile granulométrique n'est que de 10 à 15 méq/100 g
- tout le profil est désaturé et acide, ce qu'atténue la végétation dans l'horizon A.1; l'effet accidentel de cendres peut faire remonter le pH jusqu'à 7,6
- la somme des bases échangeables est maximum dans l'horizon A.1 grâce à cet effet de recyclage et parce que la capacité d'échange croît moins vite que les taux d'argile en profondeur, la correction due à la matière organique étant faite
- Ca et Na sont peu abondants, déficience que corrige encore la végétation en surface (taux rapportés à T = 100) :

	Ca	Mg	K	Na	H
Horizon A.1	31-46	12-31	2,5-11	0,5-5	28-41
Horizon B.2	7-19	19-22	1,5-4	1,0-3,5	44-67

Les réserves hydriques sont de l'ordre de 95 mm à PF 3 sur le premier mètre, de 52 mm à PF 4,2. Il y a plus d'agrégats stables aux tamisages sous l'eau dans les horizons B que dans l'épipédon; cet effet est compensé par la dispersibilité de l'argile de telle sorte que le coefficient d'instabilité structurale est plus élevé en profondeur. Cette observation corrobore l'observation de croûtes très imperméables en surface d'horizons B mis à nu par ravinement.

2.1112

Les variantes
.....

La constitution des grès favorise ce type de développement qui y est très largement répandu avec des nuances

dans la morphologie, dans le mode de mise en place du matériau, mais avec des différences plus nettes quant aux sols associés.

Les sols rouges les plus structurés, les plus argileux se disposent en chaînes avec des sols faiblement ferrallitiques et avec des sols lessivés/appauvris non rubéfiés à concrétions ou cuirasse (cf. p.226) ou bien avec ces derniers seulement (cf. p.273). Ce voisinage aide à les classer parmi les Sols Ferrugineux Lessivés car cette évolution est indubitablement acquise en un point au moins de la chaîne. En effet la coupure qu'exige notre classification entre ces derniers et les Sols Ferrugineux Peu Lessivés paraît arbitraire lorsqu'elle ne tient compte que des caractères intrinsèques du profil, continûment variables d'un groupement à l'autre. Cette solution a également l'avantage de regrouper des sols dont l'évolution était acquise ou commencée antérieurement à l'invasion dunaire.

Les sols des petites dépressions de la surface supérieure (cf. p.130) ont des épipédons plus épais et organiques, mais une morphologie et une toposéquence analogues à celles des types de la famille 3. Leurs substituts des grandes dépressions, non rubéfiés, sont des sols ferrugineux lessivés-appauvris relativement peu différenciés (Série de Badifa) et analogues à ceux qui se sont formés dans le Djermaganda sur des colluvions et des proluvions dont la pédogenèse est jugée contemporaine de celle des dunes (cf. tableau pp.320-321). Ils sont donc raisonnablement assimilables aux sols ferrugineux peu lessivés à lessivés de la famille 3.

Le statut des sols situés au sud-ouest de l'Ader Douchi sur grès Ct.1 est plus indécis. Les contrastes texturaux et les structures sont ceux de sols lessivés :

- profil NF 4 Tsernaoua (575 mm), résumé

- 0-11 cm = gris-brun (7,5 YR 5/2); sableux; taux d'argile pour la Série : 10 à 20%; débit régulier; porosité intersticielle
A.1
- 11-27 cm : beige rosé (7,5 YR 6/4); sablo-argileux; débit polyédrique; porosité semi-tubulaire
A.2
- 27-160 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); sablo-argileux à argilo-sableux; taux d'argile : 20 à 36%;
B.21

polyédrique en assemblage compact; porosité tubulaire avec enduits

160-180 cm : rouge-jaune (5 YR 4/6); zoomorphoses grisâtres; argilo-sableux; plus compact.
B.22

180 cm : blocs (1-20 cm) de grès dans la même matrice (C ou 11C).

Mais la toposéquence n'est formée que de sols rouges, le concrétionnement n'y est induit que par hydromorphie topographique et reste limité à des nodules manganésifères. Son matériel est en place ou colluvial selon le lieu. Si lui on assimile les placages rubéfiés, minces et lacunaires, des plateaux de l'Ader Douchi (cf. p. 131) on constate qu'il remanie les horizons meubles de sols ferrugineux lessivés à concrétions ou cuirasse. Ces caractères sont ceux de la famille 3 qui réunit des restes de sols autochtones et des matériaux à des degrés divers de remaniement, homogénéisés par une pédogenèse "rubéfiante". Les textures plus lourdes ne déceleraient qu'un type particulier au sidérolithique, également caractérisé par des capacités d'échange plus fortes (15 à 30 méq/100 g d'argile) et par la dominance du calcium dans les bases échangeables.

La constitution des alluvions anciennes de Maradi, identique à celle des grès, lui vaut également d'être couverte de sols rouges, ce d'autant plus qu'elles sont elles-mêmes rubéfiées. La plupart sont des sols dunaires à l'exception de quelques Séries sur recouvrements dont la plus typique est celle de Kouroungoussa (cf. p. 561) :

site de Kouroungoussa (ND 11)

Lat. : 13° 45' 32" N.

Long. : 8° 0' 20" E.

glacis; tiers supérieur de pente (moins de 1%); savane arborée à *Sclerocarya*, tapis à *Ctenium*; 590 mm de pluies

Surface : croûte pluviale grise; des plages décapées

0-10 cm : brun-jaunâtre (7,5 YR 6,5/4); strié; sableux; massif, débit horizontal (0-2 cm) puis régulier; cohésion moyenne à faible; porosité intersticielle
A.11 p

M = 0,23 A = 3,4 Ft = 0,62 S = 1,25 pH = 6,3
C/N = 11,8 L = 2,0 Fl/Ft = 58 V = 100

Transition linéaire; très faible contraste.

10-22 cm : beige; sableux; massif; débit mamelonné;
A.12 cohésion moyenne à faible; plus poreux

M = 0,20 A = 2,8 Ft = 0,75 S = 1,34 pH = 6,1
C/N = 10 L = 0,5 Fl/Ft = 64 V = 100

Transition linéaire (raie); contraste moyen.

22-50 cm : beige rosé (7,5 YR 6/4); raies (e = 0,5-1
A.2 cm, d = 10-15 cm); brun-rouge; sableux; débit
mamelonné; même cohésion; porosité plus
forte, intersticielle et semi-tubulaire
(\emptyset = 0,25 mm)

M = 0,17 A = 5,3 Ft = 0,89 S = 1,21 pH = 5,3
C/N = 8,3 L = 1,8 Fl/Ft = 66 V = 71

Transition de 10 cm; contraste fort.

50-100 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/6); raies homochromes
(e = 1 cm, d = 10-15 cm); sablo-argileux;
B.21 ou polyédrique (2 cm) en assemblage compact;
B.1 cohésion forte à très forte; porosités semi-
tubulaire (\emptyset = 0,5 mm) et tubulaire (\emptyset = 3
mm) bien développées.

M = 0,16 A = 18 Ft = 1,35 S = 1,51 pH = 5,1
C/N = 10 L = 1,0 Fl/Ft = 78 V = 58

Transition diffuse, contraste faible.

100-132 cm : rouge (2,5 YR 5,5/6); sablo-argileux; un peu
plus argileux; polyédrique (10 cm) en assem-
B.22 blage compact; cohésion forte; porosité moins
développée

Contraste fort.

132 cm ... Jaune-rouge (5 YR 5,5/8); mouchetures noires;
plages décolorées; concrétions ferrugineuses
B.3 en brun-rouge (1 cm) rondes, sans cortex (= no-
dules) denses (45/dm²) dures; le plus argi-
leux; polyédrique (2 cm) en assemblage com-
pact; cohésion très forte; porosité tubulaire

(0,5 mm) très réduite

M = 0,16 A = 24 Ft = 1,73 S = 2,03 pH = 5,0
C/N = 0,2 L = 0,8 Fl/Ft = 72 V = 48

(taux en %; M = matière organique, A = argile,
L = limon fin, Ft = fer total, S = bases échangeables, V = saturation).

L'organisation de ce profil est, aux raies près, similaire à celle du type; elle est également étonnamment voisine de celle des sols dunaires locaux (Série de Maradi) qui présentent la même succession d'horizons, tout en étant beaucoup plus légers (ND 10) :

0-30 cm	A.1
30-47	A.2, raies brun-rouge
47-80	B.1, rouge (5 YR); raies rouges
80-180	B.2, rouge (2,5 YR); raies rouges; seulement 7% d'argile
180-200	B.3 cn, jaune (7,5 YR); taches rouges.

Ici les sols des familles 2 et 3 ne sont que des expressions texturales et structurales différentes de la même pédogenèse. Le matériau de la Série de Kouroungoussa est de fait un apport. D'une part il est granulo-classé, le taux des sables fins par rapport aux sables totaux croissant très régulièrement de 37 à 44% de la base au sommet, propriété qui apparaîtra plus régulièrement dans les alluvions des vallées sèches et qui indique que la variation inverse des fines est d'ordre pédogénétique. D'autre part la Série voisine de Gidan Roumji, moins bien drainée, à horizon B seulement rouge-jaune (5 YR) et à concrétions de nappe tubulaires, repose sur une nappe de galets concentrant les éléments grossiers de la roche mère. On est donc vraisemblablement en présence d'épanchages associés à la mise en place des dunes.

L'homogénéité pédologique du profil est très probable; en particulier il n'y a pas de relation, sauf sous l'horizon A.1lp, entre les variations de la granulométrie du squelette et les transitions entre horizons. Les raies toutefois ont pu se former après la différenciation en A et B, l'une d'elles se situant à la limite de deux horizons lessivés. Leur abondance est particulière aux sols situés à la périphérie des alluvions anciennes de Maradi. On ne peut la corrélérer avec aucun facteur, aucune caractéristique locale, au niveau des profils, car ces derniers et leur environnement immédiat sont identiques sur

grès Ct.3 où les raies sont bien moins communes. On peut l'associer à un ralentissement général du drainage dans un paysage moins disséqué, plus aplani que celui des grès du Moyen Niger. La perméabilité du substrat paraît ne pas jouer car les sols dunaires situés dans les interfluves centraux sur alluvions de Maradi (Série de Madaroumfa) sont très rubéfiés et sans raies, ainsi que les quelques reliques pédologiques attribuables à la famille 3 identiquement situées.

Les caractéristiques analytiques sont voisines de celles des sols sur grès. Le profil est profondément lessivé en fer et en argile; le fer total décroît par rapport à l'argile et par rapport au fer libre vers la profondeur. Il y a peu de bases (T/A de 15 méq/100 g) Ca et Na sont peu abondants en profondeur (Ca = 15, Mg = 40, K = 2, Na = 1, H = 42, en % de T). La saturation de l'horizon A.1 est à rapporter à l'effet habituel de la végétation en sols très pauvres (T = 1 en A.11). La pauvreté en matière organique et la couleur moins sombre des horizons de surface par rapport aux types plus méridionaux annoncent davantage l'évolution qui produire les faciès subarides.

Cette tendance est encore plus prononcée sur les glacis soumis à une très forte érosion aréolaire des grès fins crétacés de l'interfluve situé entre les Goulbi N'Kaba et de Terka (cf. p. 560) :

site de Takorka (NE 17)

Lat. : 13° 53' 10" N.
 Long. : 6° 12' 12" E.

Glacis; mi-pente (2%); forte érosion en nappe; steppe arbustive (*Lannea humilis*) tapis à *Ctenium*; 575 mm de pluies.

Surface : lit de sables particulaires et plages décappées

0-9 cm : brun-jaune (7,5 YR 6/5); sablo-argileux; sableux et lité sur le premier centimètre; débit
 A légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité intersticielle

M = 0,29 A_v = 16 Ft = 0,7 S = 1,2 pH = 5,7
 C/N = 8;1 L = 2,8 F1/Ft = 93 V = 61

9-27 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/6); raies plus rouges
 AB (e = 1 cm, d = 10 cm); plus argileux; débit

mamelonné; cohésion moyenne; porosité inter-
sticielle plus forte

M = 0,24 A = 19,3 Ft = 0,89 S = 1,65 pH = 5,0
C/N = 7,4 L = 3,3 Fl/Ft = 76 V = 42

27-75 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); raies idem; même
B texture; débit mamelonné; cohésion moyenne
à forte; moins poreux

M = 0,19 A = 19 Ft = 1,15 S = 2,01 pH = 4,7
C/N = 6,9 L = 4 Fl/Ft = 78 V = 37

75-110 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5,5/6); taches
11 BC blanches et jaunes; sablo-argileux; débit
polyédrique; cohésion forte; porosité tubu-
laire faible

M = 0,17 A = 19 Ft = 1,71 S = 4,58 pH = 4,4
C/N = 5,0 L = 1,7 Fl/Ft = 65 V = 57

110-170 ... : gris jaunâtre (10 YR 7/2) couleur due à
11 C g l'extension de taches blanches sur la ma-
(?) trice jaune rougeâtre; taches rouges (2,5
YR 5/8); un peu plus argileux; polyédrique
(2-4 cm) en assemblage compact; cohésion
excessive; très faible porosité, tubulaire

M = 0,16 A = 21,8 Ft = 1,92 S = 9,42 pH = 4,2
C/N = 3,9 L = 5,4 Fl/Ft = 66 V = 77

Bien qu'il n'y ait pas de discontinuité morphologique, les analyses révèlent deux phases. L'une coïncide avec le solum rubéfié (T/A = 15 méq/100 g et sables fins/sables totaux = 45%) l'autre, au dessous de 75 cm, réunit les horizons légèrement hydromorphes, à aspect de grès délapidifié (T/A = 50, Sf/St = 65). Des profils, plus rares, se sont développés uniquement sur la seconde phase. Ils montrent la même succession (ND 19) : un horizon A mince (18 cm) un horizon de transition AB plutôt qu'un véritable A.2, un horizon B rouge-jaune (5 YR, de 33 à 77 cm) une base progressivement envahie par les taches jaunes ou décolorées indiquant un engorgement temporaire. La différence est que les taux de fines augmentent régulièrement jusqu'à près de 200 cm (de 7 à 23%, pour A + L) alors que ci-dessus seuls les taux de fer croissent au delà de l'horizon AB. Il semble donc que la même pédogenèse qui affecte les sols de la famille 3 ait eu ici à transformer des matériaux plus complexes issus

du sidérolithique (Ct.1) qui couronne les glais pour la phase la plus acide et la moins fine et des grès crétacés du substratum pour l'autre. La classification choisie dans la légende de la carte du Niger central, en sols ferrugineux non lessivés, n'est donc qu'apparemment juste. L'engorgement de profondeur coexiste avec une ripéfaction très nette, différenciation qui est celle des sables fins argileux des remblais fluviatiles. Il semble que la faible perméabilité de l'étage, déduite de l'existence de sols ferrugineux lessivés à gley de profondeur sur des glais à pentes plus faibles de ce même Sénonien-Danien (cf. p. 293) intervienne dans le pédoclimat de la base des sols. Le rougissement a pu être favorisé par une déclivité moyenne relativement importante, due au môle résistant central formé par le sidérolithique, ainsi que par la contribution du vent à la mise en place du matériau, le solum rubéfié se ramassant parfois en buttes d'aspect dunaire où la structure compacte de la roche mère a pu être détruite. Par leur ruissellement, par leurs sols à la fois superficiellement rougis et peu perméables, ces glais sont physiquement de type subaride, bien que la pluviosité soit encore forte, par le concours fortuit d'une roche compacte et d'un modelé à bon drainage externe. La physionomie de la végétation, clairsemée, arbustive, à tapis herbacé troué de plages stériles parce que décapées, complète la ressemblance. Cette colonisation médiocre est à l'origine d'un niveau organique médiocre assorti de rapports C/N petits, caractères également subarides. La désaturation et l'acidité restent cependant celles de sols ferrugineux. Il n'y a pas de concentration des bases en surface qui au contraire croissent vers la profondeur ainsi que les proportions de Ca et Na (taux en % de T) :

NE17	A	Ca = 35 Mg = 22 K = 2,5 Na = 0,5 H = 39
	11.Cg	Ca = 58 Mg = 17 K = 0,6 Na = 1,1 H = 23
NE19	A.1	Ca = 19 Mg = 27 K = 3,7 Na = 0,3 H = 50
	B.3g	Ca = 64 Mg = 30 K = 1,4 Na = 2,6 H = 1

Ces caractères, qui paraissent "normaux" pour des sols lessivés, n'apparaissent en fait que sur les roches suffisamment pourvues en bases, non strictement kaoliniques. Leur accentuation a produit les toposéquences à sols halomorphes des formations crétacées du Koutous, du Tégama, dont les termes rubéfiés et lessivés sont plus différenciés que ceux du Sénonien-Danien même en zone sahélienne (cf. p. 435) et classés parmi les sols ferrugineux lessivés (A.2 épais, B à structure fragmentaire). Ces différences peuvent être mises au compte de la roche mère et d'une histoire plus longue quoique analogue à celle de la famille 3 (cf.

p. 455) : les toposéquences primitives du bas-glacis M.3 sur Sénonien ne contenant que des sols ferrugineux lessivés ont pu être plus profondément rajeunies en période aride que celles qui contenaient des horizons et des termes illuviaux plus argileux. La nature composite de cette unité est assez bien résumée par la flore : sol ferrugineux (Ctenium) psammique (Guiera) superficiellement décapée (Boscia senegalensis) au point d'acquérir un aspect de sol brun-rouge (gommier) à horizons profonds peu pénétrables (Combretum micranthum) relativement argileux et à pH élevé (Seyal, Lannea humilis).

Les matériaux moins perméables ou à argiles gonflantes des bas glacis du socle limitent les sols rouges à des sites particuliers. Sur granites (cf. p. 251) ces profils, plus contrastés et un peu mieux structurés que les types sur grès de la famille 3, associés à des sols ferrugineux peu lessivés à concrétions, sont classés parmi les sols lessivés. Sur schistes ils sont plus soupçonnés (cf. p. 363) que connus, sauf sur quelques glacis d'épandages situés aux pieds de vieilles cuirasses sur lesquels ils sont seuls à se développer. Mais leur structure et leur contraste textural entre horizons A et B amènent à les classer, tout comme les précédents, parmi les sols ferrugineux lessivés (NO 12, résumé) :

- court glacis d'épandage; brousse à Commiphora; 570 mm de pluies
- surface : croûte pluviale: gravillons
- 0-16 cm A.1 : gris-brun (10 YR 5/4); finement sableux; massif
- 16-45 cm A.2 : brun (7,5 YR 5/5); finement sableux; débit polyédrique; porosité semi-tubulaire en réseau
- 45-80 cm B.2 : rouge brunâtre (2,5 YR 4/4); argilo-sableux; agrégats polyédriques (1 cm) à faces lisses en assemblage compact au sommet, friable à la base
- 80-140 .. B.2 g faces des agrégats jaunâtres; débris de cuirasse. L'épipédon est toutefois le même que dans les types méridionaux de la famille 3.

2.112 Les toposéquences des remblais

2.1121 Les types
.....

Ils sont encore situés au sud-ouest du Niger, sur le remblai supérieur de la Mekrou (cf. p.562) :

site de Maligorou (NL 37)

Lat. : 11° 59' 40" N.
Long. : 2° 27' 10" E.
Cote : 225 m

plaine alluviale; pente transversale très faible; en voie de déblaiement par érosion régressive; savane arborée; 860 mm de pluies.

Surface : croûte pluviale; décapée par l'érosion en nappe ravinante

0-12 cm : beige (10 YR 5,5/4); très finement sableux; massif, débit régulier; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire peu développée
A

Contraste très fort; transition brève

12-32 cm : rouge-jaune; des volumes compacts plus colorés; très finement sablo-argileux; massif, débit polyédrique (facettes de 5 mm); cohésion forte; porosité semi-tubulaire plus grossière et forte limitant de très nombreux volumes compacts
BA

Contraste faible; transition diffuse

32-75 cm : rouge (5 YR 5/8) quelques facettes structurales plus colorées; finement argilo-sableux; massif, débit polyédrique plus accusé; cohésion très forte; la porosité semi-tubulaire est très inégalement répartie; nombreux pores tubulaires; très dur
B

Contraste fort; transition sur 10 cm

75-160 cm : texture un peu plus argileuse; débit polyédrique plus fin (facettes de 2 mm); cohésion très forte à excessive; quelques pores;
B en g

pseudogley de plus en plus prononcé vers la base :

75-135 volumes compacts jaunes et marbrures jaune-rouge (5 YR 5,5/6); ensemble brun-jaune (10 YR 7,5/4)

135-160 matrice jaune clair et taches rouges de 3 mm à-peu-près circulaires; aspect bariolé

160-170 cm : même texture et structure; probablement concrétionnement de nappe à la base de B g en l'horizon précédent; matrice blanc jaunâtre, gaine décolorée autour de pores, concrétions mamelonnées, noires (Mn) à cortex rouge vif ($\emptyset = 1$ cm)

170-450 cm : blanc (10 YR 7,5/2); taches ferrugineuses jaune-rouge (7,5 YR 5/6) en amas à grand ll C g axe vertical; finement sablo-argileux; massif; très dur et compact; entre 290 et 306 cm lit de graviers avec dépôts d'oxyde de manganèse sur le squelette et en concrétions noires à cortex jaune.

Cette organisation s'étend à la quasi totalité du remblai. L'horizon A peut être plus brun et humifère (7,5 YR 4/5 et 0,8%) où l'érosion est moins prononcée, son épaisseur ne dépassant pas 20 cm. Il passe sans transition à un horizon dont les taux de matière organique sont ceux d'un A₂ mais dont la couleur et la texture sont celles d'un horizon B; pour cela et parce que la porosité semi-tubulaire paraît s'y développer autour de volumes structuraux compacts, on le considère comme le sommet de l'horizon B pénétré par les racines et la faune endogée à la suite du décapage accéléré de l'ancien épipédon. L'épaisseur plus faible des horizons B (60 à 100 cm) par rapport à celle de leurs homologues des glaciaires est compatible avec cette interprétation. Bien que la texture y soit argilo-sableuse, la structure de ces derniers reste massive, avec ce début de formation de facettes polyédriques qui précisément est la caractéristique de la famille 3, où le développement pédique n'est donc pas purement une question de texture. L'engorgement habituel de la base de la zone rouge a été transformé en pseudogley par la nappe phréatique sous-alluviale dont la décoloration et les dépôts d'oxyde manganèse caractérisent le magasin. Le matériau ne paraît plus homogène sous le solum, à plus de 140-190 cm, où des lits

graveleux ou plus argileux apparaissent, de telle sorte qu'il n'existe pas d'horizon C véritable. L'horizon A a les caractères d'un horizon appauvri; son épaisseur s'amenuise sans s'annuler sur la petite toposéquence observable dans d'anciens défluent encore déprimés où l'horizon rubéfié brunit puis disparaît, où le pseudogley de nappe s'approche de la surface en transformant les structures. Les deux étapes de cette évolution sont représentées par des sols ferrugineux brunis :

site de Yeriyombou (NL 29)

Lat. : 12° 15' 20" N.

Long. : 2° 23' 30" E.

Cote : 222 m (7 m au-dessus de la levée actuelle)

Dépression linéaire à peine creusée

0-12 cm : gris-brun (10 YR 4,5/3,5); sablo-limoneux; massif; cohésion moyenne; compact, quelques pores tubulaires ($\emptyset = 2$ mm)
A

12-48 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 5/6); limono-argileux; débit polyédrique; cohésion très forte; même porosité
B

48-80 cm : bariolé de jaune clair (10 YR 7/5) de rougeâtre (7,5 YR 5/6); des taches noires à cortex jaune; plus argileux; polyédrique en assemblage compact (5-20 mm); cohésion excessive; pores tubulaires rares ($\emptyset = 0,25$ mm); la disposition des taches montre qu'il s'agit d'une formation de pseudogley dans l'horizon précédent
B g

puis par des sols à pseudogley et gley de profondeur :

site de Yeriyombou (NL 28)

thalweg de même site

0-8 cm : gris foncé; limon-sableux; massif; cohésion moyenne à forte; quelques pores
A

8-40 cm : brun-jaune s'éclaircissant vers la base; marbrures (3 mm) se transformant progressivement en taches jaunes à centre noir (5 mm); polyédrique (1-10 cm) en assemblage devenant lâche à la base; porosité tubulaire
Cg 1

40-235 .. gris de plus en plus clair vers la base; taches ferrugineuses durcies brunes en amas verticaux se chargeant en concrétions noires (1 cm) au sommet; argilo-limoneux; prismatique (15 x 6 cm); cohésion excessive.

CG

Le matériau de ce sol, très fin, est semblable à celui des sols hydromorphes sur cuirasse voisins (cf. p. 118 NL 23) pour avoir la même origine, les toposéquences à sols ferrugineux lessivés rubéfiés et à concrétions. La différenciation en pseudogley de la partie sommitale (0-40 cm) leur est commune, ainsi qu'à la plupart des sols mal drainés issus des chaînes à sols ferrugineux lessivés (cf. p. 200)

Les taux de matière organique des sols rouges sont relativement élevés et dépendent de la végétation dont la densité est fonction de l'état d'érosion. La plus grande richesse des sols les moins ravinés sous savane boisée dense s'accompagne d'une augmentation des bases et d'un pH plus grand. Les variations verticales du fer et de l'argile sont près d'être proportionnelles et toujours du type 2, "appauvri"; seul l'horizon A est moins argileux et ferrugineux. Les taux de base sont, pour la texture, plus élevés que sur le Continental Terminal mais restent médiocres, les capacités d'échange spécifiques de l'argile granulométrique variant de 16 à 27 méq/100 g. L'horizon B est franchement acide; l'horizon A, par l'effet de la végétation, et l'horizon Bg ou Cg, par apports de nappe (démontrés par Mn) le sont moins. Le calcium domine en surface et en profondeur, le magnésium dans l'horizon B (en % de T) :

	Ca	Mg	K	Na	H
Horizon A	23 (érodé) 54	18-26	0,7-0,9	0,2-0,7	18-58
Horizon B	22-26	39-50	1,0-1,5	0,5-1,5	21-43
Horizon C	51-78	17-39	1,5-2,7	0,5-1,1	3-6

L'humidité équivalente est de 150 mm/m dont 65 mm d'utilisables; la stabilité structurale est moyenne en surface; les valeurs les plus élevées de la perméabilité sont mesurées sous végétation dense (3 cm/h contre 2 cm/h).

Les sols rouges appartiennent donc à la famille 3 par leur toposéquence, leur structure, leur profil de couleurs. La géographie des remblais nous a appris que la

rubéfaction y était acquise. Le lessivage ne peut y être démontré, ni infirmé. La texture des horizons A paraît plutôt l'effet de ces actions superficielles que l'on résume du mot appauvrissement. Les taux de matière organique et l'acidité sont ceux des sols ferrugineux méridionaux. L'engorgement d'origine externe est le fait du site. L'érosion accélérée et le drainage excessif qui en résultent modifient les sols directement ou en modifient la densité de la végétation. La formation de l'épipédon aux dépens des anciens horizons B et l'amenuisement de ces derniers en sont les conséquences.

2.1122 Les variantes

Elles sont dues essentiellement au drainage et à la texture. En tête de bassin les sols, mieux drainés, ne se distinguent pas de leurs homologues des glacis dont ils possèdent le même type de concrétionnement (NK 72, amont de la Dyamangou). Inversement, les toposéquences du remblai du Niger à Koulou (cf. p.548) sont presque entièrement hydromorphes à l'exception de crêtes de levées plus sableuses :

site de Koulou (NK 16)

Lat. : 12° 17' 50" N.

Long. : 3° 3' 20" E.

Cote : 180 m

Levée très surbaissée; sommet; savane arborée (Bombax); 825 mm de pluies.

- 0-23 cm : beige (10 YR 5/2); finement sableux; massif;
A.1 débit très mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité semi-tubulaire
- 23-35 cm : brun (7,5 YR 4,5/4); moins sableux; débit polyédrique; cohésion très forte; porosité semi-tubulaire ($\emptyset = 0,25$ mm) moyennement développée
A.2
- 35-72 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4/8); cutines de pores décolorées (jaunes); amas de fines mouchetures noires (0,5 mm) autour des pores; sablo-argileux; débit très fortement mamelonné; cohésion excessive; pores tubulaires (0,5 mm)
B.1g
- 72-100 cm : rouge plus sombre (5 YR 4/6); taches jaunes ou grises autour des pores; plus argileux; polyédrique (5 cm); cohésion très forte; de gros
B.2g

pores tubulaires

100-200 .. : jaune (10 YR 5/4) à marbrures grises (10 YR 6/3) et rouges (5 YR 4/8); sablo-argileux à argilo-sableux; polyédrique (1-10 cm) en assemblage très compact; cohésion excessive; quelques pores tubulaires; à la base taches durcies rouges, polyédriques (5 mm)

L'organisation est celle des sols ferrugineux peu lessivés à lessivés dans ses grandes lignes. Elle diffère par l'existence de ségrégations sur tout l'épaisseur des horizons B et par le développement pédique. L'hydromorphie ressort davantage d'une diminution du drainage interne que de l'action directe de la nappe phréatique : le type de nodulation ferrugineuse reste celui des sols les mieux drainés et les horizons nettement marqués par la nappe phréatique n'apparaissent dans la toposéquence qu'à la cote relative -300 cm. La structure fragmentaire s'accompagne de textures moins argileuses que dans le type (A = 28% au plus) mais de capacités d'échange spécifiques du même ordre de grandeur ($T/A = 15$ au plus). Comme elle apparaissait aussi dans les sols et horizons mal drainés profonds du remblai de la Mekrou, elle est vraisemblablement un aspect de l'hydromorphose. Les variations de l'argile et du fer sont du type "lessivé profond" jusqu'à 200 cm, les sables étant semblables sauf dans l'horizon A.1 : les sols des remblais ne sont donc pas uniquement appauvris. Ici encore le fer total décroît par rapport à l'argile et au fer libre vers la base du profil. L'acidité et la désaturation sont encore prononcées, avec correction (Ca) en surface. Les sols hydromorphes qui forment l'essentiel du flat sont à pseudogley de surface et gley de profondeur. Ils conservent un horizon appauvri. Bien que les textures ne soient qu'argilo-sableuses et les capacités d'échange médiocres ($T/A = 14$) les structures approchent de celles de sols vertiques (NK 16) :

0-15 cm : gris-brun (10 YR 3,1/5); finement sablo-argileux; massif; cohésion très forte; pores tubulaires rares
A

15-30 cm : ocre foncé (7,5 YR 4/2) avec mouchetures plus colorées; argilo-sableux; polyédrique (4-10 cm); cohésion très forte; porosité semi-tubulaire moyennement développée
g

- 30-125 cm : gris (10 YR 7/3) à taches rouges (2,5 YR 7/8) en amas verticaux; plus argileux; polyédrique (5-20 mm) sur-structure prismatique (8 x 3 cm); cohésion excessive; peu de pores
- G 1
- 125-150 cm : gris clair (5 YR 7/1) à taches rouges 5 YR 5/8); des cutines de peds noires; même texture; structure motteuse cubique (5 cm) à faces supérieures et inférieures planes et lisses, parfois légèrement obliques, faces latérales à saupoudrage de sables fins; cohésion excessive; compact
- G 2

La quasi-saturation et les pH élevés sont une autre ressemblance avec les sols illuviaux des chaînes réunissant des sols ferrugineux et des sols vertiques. Ici cependant il semble que cette succession ne soit que l'effet d'une séquence alluviale; où le vent a accusé le modelé on peut constater l'emboîtement de la phase plus argileuse des flats par la phase plus sableuse des levées éolisées. Les sols de ces dernières appartiennent à la famille 2. Les taux d'argile ne dépassent pas 12% dans les horizons B, rouges (5 YR) à raies et débit simplement mamelonné (NK 22, Sya, résumé) :

- 0-13 cm A.1 gris-brun (10 YR 5/3)
- 13-40 cm A.2 brun (7,5 YR 4/4)
- 40-170 cm B.1 et 2 rouge (5 YR 4,5/8); raies; sableux à sablo-argileux; débit mamelonné
- 170-210 cm B 3 g rouge (5 YR 5/6); réseau de pores r décolorés

Cette limitation de l'évolution au niveau ferrugineux peu lessivé au sens strict est ordinairement associée à une éolisation du remblai topographiquement décelable. De ce fait, à moins de 650 mm de pluies, une bonne partie de ces alluvions anciennes ne se distinguent plus de la couverture dunaire des glacis que par la disposition et l'engorgement plus régulier des horizons profonds. Tels sont les remblais du Dargol, du Groubi à Lamorde-Torodi. Les sols rouges du cours inférieur de la Sirba (Boukagou) réunissent des caractères de sols de glacis, de remblai, de dune. Ils se situent à la fois sur la basse terrasse et dans son entaille (cf. p. 566). Leur surface est plane mais les photographies la montre sillonnée de bandes plus densément couvertes dont l'orientation est celle des dunes locales. Le solum, d'au plus 125 cm, repose sur un niveau conglomératique. La succession des horizons est A.1 - A.2 -

B (5 YR) - B (jauni); la seconde seule possède le profil des structures de la famille 3; elle renferme de nombreux volumes compacts dans l'horizon le plus profond, le plus argileux, mais ils ne sont pas ferritisés. L'imbrication, à cette latitude (570 mm de pluies) de l'histoire du remblai et de celle des lunes pourrait être à l'origine des affinités multiples de cet ensemble (cf. p. 574).

2.1123

Conclusions

L'existence en quelques points des remblais supérieurs de sols aussi différenciés que ceux des glacis, à horizons B texturaux, noduleux, profonds, permet d'interpréter les profils plus simples, de type "appauvri", comme des sols ferrugineux peu lessivés en voie d'érosion. La nappe phréatique ne paraît transformer radicalement que les couches qui constituent son magasin de telle sorte qu'elle n'a pas modifié profondément le profil ni la toposéquence par rapport à ce qu'ils sont sur les glacis, abstraction faite des variations de la sédimentation. En arrêtant le drainage, elle étend progressivement l'horizon de ségrégations ferrugineuses qui existe toujours, plus ou moins net, à la base des horizons rubéfiés. C'est une simple redistribution des hydroxydes de fer distincte de celle qui produit les nodules ferrugineux. Ce régime hydrique s'accompagne de transformations structurales mineures : l'épipédon est plus compact et cohérent, inversement le développement pédique des horizons plus argileux est meilleur. On lui doit également des apports de base (Ca) en profondeur. Il est douteux que cela aille jusqu'à des transformations ou à la genèse de minéraux argileux.

2.12

Les toposéquences
septentrionales (sols brun-
rouge)

2.121

Les toposéquences des glacis

Les sols ferrugineux peu lessivés à lessivés ne s'observent plus, sous leur faciès "brun-rouge", en toposéquences complètes dans la zone sahélienne mais seulement en lambeaux isolés par la couverture dunaire. Cette disparition est l'effet des transformations éoliennes et

hydriques déjà très importantes dans la zone de transition (Djermaganda, p.285). On compense cette discontinuité des observations en étendant aux termes manquants la similitude constatée entre les profils sahéliens connus et leurs homologues méridionaux. Le sol rouge ci-dessous est ainsi considéré comme le terme sommital d'une toposéquence analogue à celle qui est actuellement observable sur les glaciés sur grès du Moyen Niger vers 850 mm de pluies :

site de Siwili (NL 85)

Lat. : 14° 58' 30" N.
Long. : 1° 41' 40" E.
Cote : 279 m

Bas versant sur grès Ct.3; 6 m au dessous de la cuirasse conglomératique du haut-versant; pente de 1%; steppe à Commiphora; 385 mm de pluies

Surface : croûte pluviale grise

0-13 cm : brun-rouge (5 YR 4,5/8) brun sur le premier
A 11 cm; sableux; débit régulier; porosité intersticielle bien développée

Contraste moyen; transition de 2 cm.

13-27 cm : mêmes couleur et texture; débit mamelonné;
A 12 porosité localement semi-tubulaire, bien développée

Contraste faible; transition linéaire.

27-42 cm : rouge (2,5 YR 4/6); sableux à sablo-argileux;
B.1 débit mamelonné; cohésion moyenne; porosité plus fine

Contraste faible; transition de 5 cm.

42-200 cm : rouge (2,5 YR 4/8); plus clair à partir de
B.2 200 cm (BC); sablo-argileux; blocs de grès à 65 cm (20 cm); structure polyédrique en assemblage compact (2 cm); cohésion moyenne à forte; des volumes compacts à cohésion forte; porosité encore bien développée; à la base des pores à revêtements argileux

racines abondantes jusqu'à 60 cm; présentes jusqu'à 200 cm (graminées : Ctenium, Cenchrus, Heteropogon, Cymbopogon).

Les propriétés de ce sol se situent de la façon suivante par rapport à celles des profils méridionaux (horizon B 2,5 YR, p.645) :

- hors des limites de variation, pour la couleur de l'épipédon, pour les taux plus faibles de matière organique
- aux limites de variations, pour la différenciation et l'épaisseur médiocres de l'épipédon où il n'existe pas d'horizon A.2 net, pour les valeurs élevées du pH et du taux de saturation en surface
- dans la norme pour les propriétés de l'horizon B.

Elles ne font apparaître que des transformations de surface, banales en milieu subaride. Pour les préciser et pallier à la rareté du matériel F.3, on peut recourir à des profils analogues mais ne s'insérant pas, ou douteusement, dans les mêmes toposéquences. Tels sont ceux qui ont été découverts lors d'une prospection de détail sur le bas glacis (M.3) du cours inférieur du Gorouol, dans une fenêtre des dunes E.1. Sur cette roche, le granite, la toposéquence est localement à sols halomorphes mais ce qui n'a pas été fossilisé du site indiquerait plutôt une succession pure de sols ferrugineux soit de type F.3, soit à sols fortement concrétionnés :

site de Izak (GB 91)

Lat. : 14° 39' 0" N.
Long. : 0° 44' 40" E.
Cote : 256 m

Bas glacis; pente de 0,95%; en aval thalweg puis dune; en amont horizon B concrétionné affleurant puis dune; prairie à Cenchrus, avec Acacia raddiana; 440 mm.

Surface : ravinement en nappe important; nombreuses termitières

0-27 cm : brun-jaune clair (10 YR 6/4); sableux; massif;
A cohésion faible; porosité intersticielle

Pas de transition

27-67 cm : jaune-rouge pâle (5 YR 6/5); sableux à sablo-
AB argileux; débit polyédrique; cohésion moyenne
à forte; porosité semi-tubulaire; nids de
termites

67-110 cm : jaune-rouge (5 YR 6/5); sablo-argileux; débit polyédrique; cohésion forte; porosité réduite
B.2

110-145 cm : dans la matrice ci-dessus, nombreuses concrétions tendres, rouges (2,5 YR 3/4) polyédriques (1-2 cm)

L'horizon A possède les mêmes sables que le reste du profil mais à l'aspect d'une couche colluviale transitant sur le sommet des horizons B où une forte porosité d'origine biologique s'est constituée. Le déplacement des aires de décapage et de mini-remblaiement fossilise les horizons B sous le matériel remanié des horizons A; la faune endogée et les racines ne trouvent plus place dans une couche sableuse superficielle devenue trop mince et doivent s'enfoncer dans les couches plus argileuses. Cette érosion est suffisamment lente pour que le profil organique et l'aspect de l'horizon A.1 restent normaux. La couleur de ce dernier, brun-jaune, est une des plus communes que présentent en surface les sols brun-rouge. Le code Munselle exprime médiocrement cette différence immédiatement sensible aux praticiens entre les terres plutôt jaunâtres du nord et les terres plutôt grisâtres du sud. La combinaison 6/4 est cependant plus fréquente pour le faciès brun-rouge que pour le faciès ferrugineux où le chromatisme est inférieur à 4 lorsque la valeur est aussi grande que 6, où le ~~taux de~~ ~~mir~~ est supérieur lorsque la pigmentation est aussi pâle, où la matière organique est plus abondante à lessivage ou appauvrissement égal. Les caractéristiques chimiques montrent encore un horizon de surface presque neutre et relativement peu organique, un horizon B acide, un profil textural de type "lessivé profond". De ces deux exemples et de quelques autres, on peut tirer les lois de variations du faciès brun-rouge par rapport au faciès ferrugineux :

- la diminution d'épaisseur de l'épipédon est extrêmement fréquente; elle n'est probablement pas constante car son origine présumée, l'érosion, dépend beaucoup dans son intensité de facteurs locaux; de fait des sols rubéfiés et lessivés de toposéquences à sols halomorphes peuvent conserver des horizons A très épais (cf. p.435).
- c'est l'horizon A.2 qui perd le plus de son individualisation; il est remplacé par un horizon poreux de transition formé au sommet des horizons B

- la baisse des taux de matière organique, peut-être une plus grande richesse en fer (NL 83) font passer les couleurs de surface de gris et bruns foncés à des bruns plus clairs et colorés
- l'accroissement des pH est constant; ce n'est pas un effet purement climatique car il ne se manifeste pas pour les sols ferrugineux lessivés des argiles gréseuses très acides du Ct.2 (cf. p.273).
- les horizons B ne sont modifiés qu'à leur sommet; ils restent acides
- les répartitions verticales du plasma minéral sont de même type que dans les sols ferrugineux, appauvri ou lessivé.

2.122 Les toposéquences des remblais

2.1221 Le remblai du Gorouol

Le long du Gorouol, le remblai supérieur (cf. p.566) se dispose en banquettes étroites ou en plaines atteignant la dizaine de km², faiblement inclinées vers les alluvions plus récentes qu'elles dominent de quelques mètres. L'organisation de base des profils, A - B - Bg - ll Cr est la même, dans l'ensemble partout, dans le détail sur chaque transversale. La différenciation de l'épipédon, la nature et l'intensité du concrétionnement, la texture des horizons profonds varient cependant et individualisent des Séries et des types qui caractérisent plusieurs secteurs successifs du remblai. L'origine locale de ce dernier et la part variable du vent dans l'histoire des sols sont responsables de ces différences.

La Série de Dolbel est dans une plaine étendue, à pente infime, prolongeant un vaste couloir interdunaire. Elle est des moins sableuses, la plus étendue, la plus concrétionnée :

site de Dolbel (GA 39)

Lat. : 14° 35' 40" N.
 Long. : 0° 18' 10" E.
 Cote : 249 m

Plaine de 14 km²; 10 m au-dessus du thalweg du Gorouol; centre; prairie clairsemée à Cenchrus et Schoenefeldia; quelques A.raddiana; 440 mm.

- Surface : très plane; juxtaposition de plages couvertes de 2 cm de sables particuliers brun-jaune (profil) et d'aires rougeâtres découpées, souvent centrées autour des arbres (bétail)
- 0-17 cm : brun-jaune foncé (7,5 YR 4,5/4); sableux; les six premiers centimètres formés d'un empilement de croûtes pluviales; massif; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire très fine et bien développée; formé de sables ruisselés
- A p
- 16-71 cm : horizon B superficiellement modifié dans sa structure
- 17-35 : brun rougeâtre; sableux à sablo-argileux; débit mamelonné; cohésion moyenne à forte; très compact; ancienne surface de décapage tassée par le piétinement du bétail
- 35-44 : brun-rouge foncé (5 YR 4/5); sablo-argileux; débit plus irrégulier; cohésion moins forte; porosité semi-tubulaire fine bien développée; très nombreuses radicules; la compaction de ce niveau poreux a produit le niveau sus-jacent
- 44-71 : brun-rouge foncé (5 YR 4/4)· sablo-argileux; débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité réduite et tendant au type tubulaire (0,5-1 mm); premiers effets d'un drainage interne moins bon
- Transition de 22 cm
- 71-145 cm : brun-jaune marbré de gris; sablo-argileux, plus argileux; débit polyédrique; cohésion forte; très dur; porosité tubulaire peu développée
- Bt g
- 145-185 cm : brun grisâtre; même texture; même structure; concrétions noires avec halos rouges ou jaunes (1 cm)
- Bt cn
- 185-200 cm : graviers de quartz émoussés (1 cm) dans la même matrice; concrétions noires en place (Mn)
- 200 ... shales gris altérés, en place, le sommet

auto-concrétionné (nodules noirs, halos ocres)

divers chevelu radicaire jusqu'à 45 cm, au dessous quelques radicelles (2 mm); nids et galeries de termites entre 45 et 180 cm.

La mobilité des aires d'ablation et d'apport qui se juxtaposent en surface est démontrée et illustrée par ce profil où se sont succédés en un même point le décapage et la fossilisation sous l'action du ruissellement. Bien qu'inculte depuis très longtemps, cette Série ne se régénère pas car la surcharge en bétail entretient un mauvais état structural qui empêche localement la levée et partout la croissance du tapis herbacé. Le brunissement, la compaction, le durcissement (en sec) de la base du sol sont attribués à un engorgement pluvial, encore effectif certaines années, au contact des shales imperméables. Ces effets sont opposés à ceux d'une nappe phréatique qui décolore et améliore le développement pédique (cf. p. 665) et correspondent vraisemblablement à une circulation très faible, à un milieu confiné. Une modification du site peut améliorer le drainage et diminuer le ruissellement. Les sols sont alors ceux de la Série de Kolman. Elle est établie sur une banquette large d'au plus 1.000 m, resserrée entre des dunes E.2 et les alluvions du lit majeur, ce qui réduit l'impluvium. Une pente transversale non négligeable (0,8%) et la tranchée du lit majeur (2 m) facilitent le drainage :

site de Kolman (GB 71)

Lat. : 14° 44' 50" N.
Long.: 0° 40' 30" E.
Cote : 229 m

1/3 supérieur de la banquette; à 600 m et à 5m au-dessus des alluvions; prairie à *Aristida mutabilis* avec *Acacia raddiana*. 430 mm.

Surface : plane; des termitières brunes

0-4 cm : brun-gris (7,5 YR 4/3); sableux; feuilleté;
A 1lp cohésion moyenne; compact

Transition de 6 cm

4-30 cm : brun-jaune (7,5 YR 4,5/4); sableux; débit ré-
A 12 gulier; cohésion faible; enracinement maximum
(4-10 cm)

Pas de transition

- 30-53 cm : rouge-jaune (5 YR 4/6 à 8); sablo-argileux; débit polyédrique; cohésion moyenne; des agrégats durcis; porosité semi-tubulaire, fine, bien développée
B 2
- 53-135 cm : brun (7,5 YR 4/4); le plus argileux; débit plus large et irrégulier; cohésion forte; plus compact
B.t/ (g)
- 135-180 cm : brun-jaune (10 YR 5/8 ou 6/5); sablo-argileux; débit plus régulier; mamelonné; cohésion moyenne; porosité intersticielle; parfois des concrétions rouges
BC(g)cn

L'organisation est conservée mais les concrétions manganésifères et les marbrures grises disparaissent de la base du solum. La diminution du drainage interne ne produit pas de pseudogley au sens ordinaire du mot mais des modifications de couleur (brunissement, jaunissement) et un durcissement de l'horizon Bt. Elle est notée (g). Au contact des alluvions, le brunissement atteint l'horizon B de couleur (5 YR 3/4). L'épipédon est plus épais, continu. Il permet un développement normal des racines. La discontinuité notée à 30 cm montre qu'il est brassé par l'eau, le vent (rebhou) les animaux fouisseurs. Les transformations attribuables à l'amélioration du drainage interne sont plus importantes lorsque la texture est plus sableuse. Cela se produit sur des aires qui par leur modelé et leur situation géographique suggèrent une part plus importante du vent dans la mise en place du matériau; leur surface est mollement ondulée, elles s'étendent sur la rive ouest, plus ensablée, du Gorouol ou bien dans le prolongement de plaines sableuses E.1. Leurs sols sont intermédiaires entre ceux des familles 2 et 3 et leurs faciès sont également à mi-chemin des aspects brun-rouge et ferrugineux (Série de Ouanzarbé) :

site de Kourki (GA 30)

Lat. : 14° 36' 0" N.
Long. : 0° 16' 30" E.
Cote : 246 m

plaine sableuse ondulée (+ 2m); 8 m au-dessus du lit majeur; pente transversale de 0,65%; savane arborée à *Combretum glutinosum* et *Acacia raddiana*, prairie sahélienne; 450 mm.

- Surface : 2 cm de sables particulaires; termitières nombreuses (1 m)
- 0-10 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/5 à 10 YR 5/4); sableux; les cinq premiers centimètres feuilletés à lits de sables particulaires; massif à débit régulier; cohésion moyenne; porosité intersticielle très fine
- A.1
- 10-29 cm : brun rosé (approximativement 7,5 YR 5,5/6); réseau très fin gris, poreux, enserrant des volumes compacts jaune-rougeâtre; débit régulier finement mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire
- A.2
- 29-43 cm : brun rougeâtre (approx. : 5 YR 4/4); des stries compactes; des raies flexueuses rouges (e = 5 mm); plus argileux; débit fortement mamelonné; cohésion moyenne à forte; dur; porosité semi-tubulaire plus grossière et développée
- AB
- 43-150 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); sableux à sablo-argileux; raies très peu distinctes jusqu'à 100 cm; débit mamelonné plus large (5 cm contre 1 cm); cohésion moyenne à faible; des volumes plus cohérents; porosité se réduisant vers la base
- B.21
- 150-200 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); des volumes plus jaunes; sablo-argileux; débit régulier; cohésion plus faible. moins poreux
- B.22t
- 200-225 .. : jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6); isotubules très fines jaunes ou blanches; sableux; débit régulier; cohésion faible; conserve une très légère porosité semi-tubulaire
- BC (g)
- divers : chevelu radicaire jusqu'à 38 cm, puis quelques radicelles jusqu'à la base; racines (1 cm) subhorizontales à 120 cm; galeries de termites jusqu'à 110 cm
- note : une coupe voisine (CA 19) montre que les sables des isotubules de l'horizon BC ~~pro-~~viennent d'un niveau blanc jaunâtre (10 YR 6,5/4) très pauvre en fines (argile = 4%) à concrétions manganésifères, pouvant être interprété comme le magasin d'une nappe

phréatique (C.G).

Le solum n'est que simplement jauni à sa base parce que le niveau moins bien drainé a pu se situer plus profondément dans le matériau très sableux et perméable où il a acquis les caractères de magasin d'une véritable nappe phréatique. Le durcissement, le développement structural, sont, dans l'épaisse couche rougie, indépendants du taux d'argile car ils ne sont pas maxima dans l'horizon B textural mais dans la zone AB. Les raies suggèrent que l'humidité y est plus élevée par ralentissement du drainage, ce qui revient à considérer que l'ensemble A-AB est par lui-même un petit profil se superposant au grand. Ce processus, particulièrement bien exprimé dans cette Série, pourrait être assez commun. Si l'on reprend en effet l'examen du profil type de la Série de Kolman, on constate que les vingt derniers centimètres de l'horizon A.12 sont légèrement plus colorés, plus consistants, comme si au sommet de l'horizon B mais dans une phase remaniée se reconstituait un second profil, plus juvénile. Les raies tardives notées par ailleurs dans la Série de Kouroungoussa (cf. p. 653) ou les sols AC sur nebka du Djermaganda (cf. p. 284) ressortissent au même phénomène qui peut se déclencher dès la zone sahélienne lorsque, du fait de la pédogenèse ou des hasards de l'érosion, une couche très perméable en recouvre une seconde qui l'est moins.

La nature des argiles est sur le remblai du Gorouol un dernier facteur de variation qui ne se manifeste pas encore dans ces textures trop légères. Les capacités d'échange diffèrent en effet sans que les morphologies en soient systématiquement modifiées : basses dans la Série de Ouazerbé ($T/A = 35$ méq/100 g) elles sont élevées dans la Série de Dolbel ($T/A = 50-65$) ces deux groupes de valeurs pouvant apparaître dans la Série d'Alkongui selon la transversale. La toposéquence des argiles smectitiques calciques à sols brun-rouge (cf. p. 363) et à sols bruns tirsifiés n'apparaît que pour des taux d'argile granulométrique de l'ordre de 35% dans l'horizon (B). Sur les matériaux à argiles à basse capacité d'échange, la morphologie de sol ferrugineux s'affirme dans la Série la plus argileuse (GA 25 Fantio, p. 363) qui plus qu'aucune autre, s'approche du groupe lessivé par son épipédon normalement développé, son horizon B à structure polyédrique, son acidité (pH = 5 sur tout le profil, $T = 8$ et $A = 22$ dans l'horizon B).

Les taux de matière organique reflètent le degré de conservation des horizons A puisque, pour des textures

identiques, le minimum se situe dans la Série de Dolbel (0,16%) et le maximum dans celle d'Alkongui (0,47%) : ce sont bien les possibilités d'installation de la strate prairiale qui déterminent ces valeurs. La répartition de l'argile granulométrique est de type lessivé normal lorsque, semble-t-il, le remblai est épais sur les graviers (Séries de Kolman et de Ouanzerbé) l'horizon B textural se situant entre 65 et 130 cm. Elle est du type lessivé profond dans la Série de Dolbel. Les variations de la granulométrie des sables, estimées par le rapport des sables fins aux sables grossiers, sont indépendantes : elles diffèrent d'une Série à l'autre ou à l'intérieur même de la Série. Les profils où les sables de l'épipédon sont plus fins que ceux des horizons sous-jacents sont les plus nombreux. Cette variation peut être suffisamment progressive dans tout le profil pour indiquer un classement du matériau (Série de Dolbel) fréquent sur les remblais. L'effet des remaniements mécaniques de surface sur les taux d'argile n'est décelable que dans des cas extrêmes :

Série	Profil	Horizons A			Rapports de lessivage	
		Épaisseur	Structure	Argile %	B/A	B/C, B/BC
Horizons A visiblement rapportés ou déplacés sur l'horizon B						
Ouanzerbé	NO 40	18 cm	F:rebhou	2	5,10	1,2
Dolbel	GA 39	17 cm	F:ruissel.	5,2	3,25	
Dolbel	GA 40	6 cm	F	9,7	1,70	
Horizons A non visiblement rapportés, avec néo-évolution						
Kolman	GA 71	30 cm	F	6,7	2,6	1,75
Ouanzerbé	GB 30	29 cm	M	6,2	2,8	
Horizons A non visiblement rapportés, sans néo-évolution						
Kolman	GB 92	20 cm	F	7,7	2,5	1,26
kolman	GB 63	27 cm	F	5,2	2,7	
Structure des premiers centimètres : feuilletée (F), massive (M).						

Moins de 5% d'argile et plus de 9% correspondent ici à une éolisation et à un décapage effectivement constatés, mais entre 5 et 8%, les taux sont indépendants de l'aspect de l'épipédon. Il y a donc plus d'ordre dans le profil textural que dans l'héritage sédimentaire ou dans les effets de l'érosion, ordre pédogénétique dû au lessivage et à l'illuviation. Les pH ne sont franchement acides que dans les horizons B rouges et épais de la Série de Ouanzerbé et en surface de la Série très décapée de Dolbel

(5,2-6,1). Ailleurs ils approchent de la neutralité en surface (6,0-6,4) et la dépassent dans les horizons profonds mal drainés (7,2-7,8). L'horizon le plus argileux, saturé, est de ce fait le plus riche en bases, lesquelles croissent ainsi vers la profondeur. Le calcium domine dans le complexe absorbant sauf dans la Série de Ouanzéré où cela n'est réalisé que dans l'horizon jauni : la nappe phréatique ou les solutions confinées de la base des sols sont donc vraisemblablement à l'origine du relèvement profond des pH par apports de bicarbonates de calcium. Les réserves en eau sont de l'ordre de 100 mm/m dans la Série de Kolman, dont 55 mm pour le PF 2,5 : ces valeurs tombent à 75 mm et 40 mm pour la Série de Ouanzéré.

2.1222

Le remblai du Niger

La partie sahélienne du remblai supérieur s'étale largement en rive est de Tillabery à Ayorou et au confluent du Gorouol en rive ouest. Les textures s'y répartissent comme le long de cet affluent; elles sont argileuses où les bas-glacis n'ont pas été ensablés, elles sont sablo-argileuses au contact des massifs de dunes. La stratigraphie en est fort claire au confluent du Gorouol car ses divers éléments apparaissent successivement dans le paysage : le glacis à sols bruns (cf. p. 443) disparaît sous une plaine caillouteuse (cf. p. 192) elle-même fossilisée par un flat de sables argileux qui finissent, au sud, par se bosseler de dunes basses. L'éolisation des alluvions est progressive et en rapport avec le degré de différenciation des sols. Les plus évolués sont encore de type A - B (rouge) - Btg - 11Cr, avec un épipédon simple, généralement dépourvu de A.2, souvent remanié ou déplacé sur le sommet de la couche rougie, elle-même de faible épaisseur. L'engorgement de profondeur est dû à une nappe phréatique qui a pu circuler dans la masse des cailloutis au sommet des granites. Sur schistes, elle déposait des oxydes de manganèse et augmentait la proportion de calcium uniquement dans l'horizon légèrement hydromorphe. Ici elle dépose des carbonates de calcium dans la même couche, le reste du profil étant calcique. La nature de l'altération du substrat (cf. p. 419) est vraisemblablement à l'origine de cette particularité chimique qui se traduit par un brunissement accentué du profil :

site de Doulsou (GC 2)

Lat. : 14° 45' 50" N.
 Long. : 0° 51' 30" E.

Plaine alluviale du confluent Gorouol-Niger; secteur non éolisé; cultures de mil; 420 mm.

- Surface : brun-rouge, très plane; épandages de graviers de quartz; affleurements de granite
- 0-26 cm : brun (10 YR 5/3); sableux; des feldspath altérés; massif, débit mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire bien développée
- A
- 26-55 cm : brun-rouge foncé (7,5 YR 5/4); sablo-argileux; polyédrique en assemblage compact; cohésion très forte; porosité semi-tubulaire très grossière et bien développée
- B
- 55-100 cm : gris jaunâtre clair (10 YR 6/3); des taches rouges; légèrement plus argileux; pseudomycélium calcaire très abondant; structure polyédrique en assemblage compact plus friable; nids de termites
- B.t.g.Ca
- 100-105 cm : lit de galets de quartz (1-5 cm)
- 105-140 cm : sables blancs marbrés d'ocre (10 YR 7/3); moins de calcaire; très compact
- 11.C.g.Ca
- 140 cm : granites altérés.

L'horizon A n'est pas très riche en matière organique; sa teinte foncée est propre à la couverture sableuse sur granite, elle-même plus riche en calcium qu'aucune autre. L'effet morphologique du carbonate est minime mais la mesure de la stabilité structurale la montre effectivement améliorée par rapport aux sols sur sous-basement schisteux. La variation très rapide de la texture à la base de l'épipédon, le type presque appauvri de la répartition de l'argile, l'absence d'horizon A₂, la colonisation de l'horizon B par la faune et les racines constituent le syndrome d'une érosion lente dont la réalité est attestée par la mise à nu progressive des cailloutis et de la roche. Par sa couleur, la simplicité de son organisation, la présence de calcaire, ce profil est ce qui ressemble le plus, dans la famille 3, à un sol subaride brun-rouge classique. Son matériau passe latéralement à des sables plus éolisés affectés de la même pédogenèse. La transformation n'est d'abord que granulométrique. Au contact des dunes, la topographie reste très plane, le profil est inchangé, mais les taux d'argile sont plus bas (11% dans l'horizon Bt) et les sables plus fins (Sf/Sables totaux = 50-55% contre 45-

50%). Dans les interdunes le drainage est meilleur, l'érosion superficielle moins forte, l'aspect de sol brun-rouge accentué (GB 99, résumé) :

0-7 cm	A.11	brun-gris (10 YR 4/2); sableux; massif
7-36 cm	A.12	brun (7,5 YR 4/2); sableux; débit mame- melonné
36-68 cm	B	brun-rouge (5 YR 4/8); sableux; même débit
68-100 cm	BC	brun-jaune (7,5 YR 5,5/5); sableux; plus compact

Pas de transition; limite linéaire.

100-180 cm	11C.g.Ca	sables blancs-jaunâtres (10 YR 6/3,5) à taches jaunes et nodules calcaires (5 mm); très compact; cohésion forte.
------------	----------	---

Le développement structural et la texture sont ceux de la famille 2; le matériau repose sur les mêmes sables calcaires qui sont plus au nord interstratifiés avec les galets du profil précédent. Le dépôt de carbonate, s'effectuant dans un horizon différent, se révèle indépendant du développement du profil, comme il en est ordinairement des effets de nappe en milieu sableux. Du fait de leur situation en bordure de points d'eau permanents, les buttes dunaires (+ 3 m) sont soumises à un fort brassage éolien déclanche par le piétinement des troupeaux. Leurs sols, pratiquement particuliers sur toute leur épaisseur, moins rubéfiés que ceux des interdunes, se rapprochent des sols brun-rouge de la famille 1 (GC 1, abrégé) :

0-25 cm	A	brun (11 YR 4/4); très sableux; porosité intersticielle
	M = 0,28	A = 3,2 pH = 6,9 V = 100
25-50 cm	B	brun-jaune (7,5 YR 5/6); porosité semi- tubulaire
	M = 0,08	A = 6,2 pH = 6,5 V = 100
50-120 cm	BC	brun-jaune pâle (7,5 YR 5,5/6); porosité intersticielle
	M = 0,07	A = 7,5 pH = 6,9 V = 100

En rive est du Niger, cette atteinte éolienne très récente s'étend à la totalité du remblai mais sous une forme atténuée; à la suite d'excès culturels, la partie supérieure de l'épipédon forme une couche très meuble que le vent et

le ruissellement déplacent sur le reste du profil :

site de Sara Koiré (NM 70)

Lat. : 14° 25' 0" N.

Long. : 1° 11' 30" E.

Plaine à rebdhou; nombreuses termitières; cultures; 450 mm.

0-30 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/5); très sableux; feuilleté sur 10 cm puis massif à débit régulier; cohésion moyenne à faible; porosité intersticielle très développée
A.11p

30-45 cm : brun (7,5 YR 4/4); sableux; massif à débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire très fine peu développée
A.12

45-110 cm : brun-rouge (5 YR 4/8); sableux à sablo-argileux; massif, débit mamelonné; cohésion forte; porosité tubulaire très fine peu développée; très dur
B.2

Transition sur 30 cm

110-170 .. : jaune (2,5 Y 6/5) taches jaunes, rouges (3 mm) noires (5 mm) à fort contraste et limites nettes; plages décolorées: des amas calcaires nombreux (8-15 mm); même texture; débit polyédrique; cohésion forte; porosité tubulaire plus grossière ($\emptyset = 0,2$ mm) réduite; très dur.
B.g.cn.Ca

L'appauvrissement en fines de l'horizon supérieur remanié (A.11p) est extrême; il est l'effet du vannage qui se produit lorsque le vent rassemble ce matériel en amas décimétriques autour des touffes d'herbacées. Les taux d'argile reprennent une valeur plus habituelle dans l'horizon A12 puis restent constants sur toute l'épaisseur des horizons B. Les taux de fer varient parallèlement avec des irrégularités dues à la présence d'oolithes ferrugineuses dans le squelette. On retrouve les taux médiocres de matière organique, la richesse en calcium, l'augmentation du pH et des bases vers la profondeur. Comme les sols des glacis adjacents qui apparaissent dans des trouées de la couverture sableuse (Sakoara) sont alcalisés, l'absence de taux importants de sodium dans les horizons à engorgement de nappe du remblai doit être

attribuée à son régime hydrique actuel. En effet on n'a jamais observé, dans ces textures, de concentration de sodium lorsque la nappe ne séjournait pas en permanence à la base d. sol, ce qui n'est pas, ou n'est plus le cas. L'alcalisation ne se produit que sporadiquement dans les alluvions plus argileuses et humides du lit majeur.

2.1223

Interprétation des sols de remblai sahéliens

La continuité entre les types morphologiques indique une même pédogenèse due à des sites, un climat, une histoire semblables. L'absence de diversification importante en toposéquence permet de les ramener au même plan d'organisation, identifié au type morphologique le plus complexe parce que la dégradation superficielle caractéristique du milieu subaride a ici été effectivement observée. On admet ainsi que tous les sols de remblai sont issus d'un profil ferrugineux : A.1 - A.2 - B (couleur) - Bt - C, variablement engorgé dès l'horizon Bt ou en C. L'épaisseur du sol, ses textures, ses structures, les modalités de l'hydromorphie profonde sont corrélées avec l'éolisation du matériau, estimée par le modelé superficiel et la granulométrie des sables, déterminée par la situation du remblai par rapport aux masses dunaires. La continuité des transitions indique que la même pédogenèse a transformé les sables les plus fluviatiles, aux sols les plus minces, les plus structurés et les plus argileux (F.3) et les sables les plus éoliens des dunes basses (F.2).

L'engorgement de profondeur est davantage déterminé par le site et la stratigraphie que par l'organisation du profil qui en est elle-même relativement indépendante. Ses effets se limitent à un brunissement et à un durcissement de la base de l'horizon B textural lorsque ce dernier s'étend jusqu'au substrat rocheux au travers des cailloutis de base. Cette hydromorphose est réputée pluviale parce que les traits caractéristiques d'une nappe phréatique, le jaunissement, la décoloration, n'apparaissent que dans les sites où cette dernière a pu circuler dans un magasin plus ample et poreux, au voisinage des dunes où les sables se sont épaissis, le long du Niger où les cailloutis sont plus importants et continus. L'afflux et l'évaporation des solutions dans le remblai a produit des accumulations d'oxydes de manganèse (shales) de carbonate de calcium (granites) outre les ségrégations ferrugineuses habituelles.

Les horizons B sont plus épais et moins structurés dans les sites anciennement éolisés. Ils ne sont que rarement brunis, fait caractéristique du remblai supérieur.

Les épipédons montrent la plus grande diversité en relation avec les modalités de l'érosion :

- a - la succession supposée primitive : A.1 - A.2 - B.A s'observe encore dans une Série (Fantio) qui possède par ailleurs les caractères d'acidité des Sols Ferrugineux
- b - une différenciation plus récente peut s'y superposer : A.1 - B (couleur) in A - B ou A.1-A.2-AB (raies)-B.21 (raies). On l'attribue au ralentissement du drainage au niveau du contact A/B soit du fait de l'évolution propre du profil, soit à cause d'un remaniement qui conserverait au niveau le plus sableux une épaisseur suffisante, de l'ordre de 30 cm
- c - les cas moyens d'érosion, éolienne et hydrique, produisent des horizons A épais de 20 à 30 cm, subdivisés surtout par leur couleur et les taux de matière organique en A.11 et A.12. La porosité qui caractérisait l'horizon A.2 s'observe en général au sommet de l'horizon B, conséquence supposée de l'amenuisement du profil
- d - un décapage accentué produit des placages sableux minces et discontinus et des sommets d'horizon B compactés et brunis par le piétinement et l'engorgement pluvial de surface : Ap-Bp-B
- e - inversement l'érosion éolienne, qui sévit surtout où le vent prit le plus de part à la mise en place du matériau, peut fossiliser un profil, déjà diminué, de sables très fortement vannés : A.1p - A.12. On sait (Djermaganda) que ce mécanisme peut être à l'origine de la différenciation b.

Ces modifications sont intermittentes, les aires affectées sont mobiles et discontinues, l'érosion est suffisamment lente pour que le couvert végétal soit à peu près continu, pour que les profils organiques restent normaux même si les taux varient selon le degré apparent de conservation.

Comme on ne peut admettre une origine différente des mêmes textures et de la même organisation générale, on donne, par continuité avec le remblai du Gorouol où elle existe encore, une couverture ferrugineuse comme origine des sols du remblai du Niger, mais d'un type différent, admettant la carbonatation en profondeur, tel celui qui existe dans les toposéquences à sols halomorphes (cf. p. 435). Les sols du remblai du Niger réunissent actuellement des propriétés qui peuvent être rencontrées isolément dans les sols issus des ferrugineux mais qui n'y sont pas habituellement associées avec autant de constance : profils texturaux plus appauvris que lessivés, pH peu acides dans les horizons B rouges, capacités d'échange de l'argile régulièrement élevées, calcium prédominant dans le complexe absorbant, carbonates. Ils présentent de ce fait une analogie constitutionnelle et génétique avec les sols brun-rouge des toposéquences à argiles smectitiques calciques qui sont rubéfiés et uniquement appauvris : à cause de la nature des anciens horizons B, ils n'évolueraient plus que par remaniements superficiels alors que le lessivage se maintiendrait quelque peu dans le matériel moins stable, plus acide du remblai du Gorouol, conservant les profils texturaux anciens ou affectant les horizons A.

2.123 Les toposéquences des Maggia

2.1231 Morphologie
.....

Dans les matériaux qui revêtent les glacis de piedmont et les fonds des vallées de l'Ader Douchi, des Maggia (cf. p. 568) la constitution est le premier facteur de diversification des sols. La masse est formée de sables argileux à capacité d'échange faible ou modérée, acides, provenant des grès du sidérolithique, du Crétacé, de la matrice des cailloutis qui recouvrent les glacis à pavage. Elle produit des sols brun-rouge. Des argiles sableuses à forte capacité d'échange s'y substituent ou s'y insèrent par lentilles au voisinage des versants où affleurent les calcaires et argilites de l'Eocène marin. Elles évoluent en sols bruns tirsifiés et en vertisols. L'éolisation intervient ensuite en séparant les familles 1, 2 et 3; le vent a modifié les textures et le modelé des dépôts hydriques primitifs en aval des vallées, où ils étaient déjà les plus sableux, et sur les versants ouest, les plus exposés. Les modalités du drainage se situent au troisième rang. La nappe phréatique n'existe plus que dans les fonds de vallées mais elle a laissé partout des traces

dont la généralité apparente les sols de Maggia à ceux des remblais bien que leur topographie puisse être différente. Des taches, des concrétions d'hydroxydes, des couleurs particulières caractérisent les horizons engorgés dont la situation topographique ou la disposition dans le profil décèlent des variations négatives ou positives du niveau de la nappe, les premières attribuées au dessèchement climatique, au ravinement, les secondes à des barrages dunaires ou construits par l'homme. Le brunissement des sols par réduction du drainage interne est commun sans être obligatoire en bas de pente; il est distinct du processus précédent mais a pu en être favorisé. Les sols brunis sont généralement saturés et calciques, ce qui suggère que les solutions du sol ont une composition voisine de celle des nappes actuelles, carbonatées et sulfatées calciques. Le dépôt de calcaire est cependant très occasionnel et ténu, ne dépassant pas le niveau du pseudomycelium, sauf au contact des marno-calcaires où dans la matrice sableuse se sont formés des grès calcaires, des sols calcimorphes bruns. La plupart des sols de la famille 3 sont fortement ravinsés et décapés; leurs épipédons sont peu différenciés, leurs variations texturales sont inhabituelles. On admet qu'ils dérivent par érosion de profils plus "normaux" encore observables dans les secteurs protégés parce que éloignés des surfaces de ruissellement du centre et de l'aval des vallées :

site de Teguefeguel (AD 39)

Lat. : 14° 48' 40" N.

Long. : 6° 0' 20" E.

Flat large de 800 m, entre deux lits ravinsés situés aux pieds des glacis de piedmont; pentes locales non mesurables; cultures; 375 mm.

Surface : rougeâtre; buttes de sarclage; plages de sables particulières; croûte rougeâtre de 2 mm, surface lisse

0-14 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/5); inclusions de sables rougeâtres; sableux; des fragments de grès ferrugineux; irrégulièrement feuilleté sur 5 cm, puis massif à débit mamelonné; cohésion moyenne à faible; peu agrégé; peu poreux; chevelu racinaire assez fin et abondant

- 14-30 cm : rouge brunâtre (5 YR 4,5/6): sableux; massif; débit irrégulier; cohésion faible; porosité plus forte, de type tubulaire
AB ou A.2
- 30-82 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4,5/8): sableux à sablo-argileux; débit polyédrique; cohésion moyenne; même porosité et enracinement
B.1
(couleur)
- 82-145 cm : légèrement bruni (5 YR 4,5/6); légèrement plus argileux; débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire très réduite et plus grossière; jusqu'à 110 cm, taches brunes puis au dessous: concrétions tendres noires et brun-rouge à taille croissant vers la base (5-10 mm)
Bt.(g).cn

Mais habituellement ces sols sont rubéfiés et sablo-argileux dès la surface, sans épipédon très nettement individualisé :

site de Ibohamane (AD 35)

Lat. : 14° 48' 50" N.

Long. : 5° 45' 40" E.

Partie haute du glacis de piedmont; steppe d'épineux; inculte; 375 mm.

Surface : croûte rougeâtre litée (2 cm); sables grossiers ruisselés

0-23 cm : rouge-jaunâtre légèrement bruni (5 YR 4/6); sableux à sablo-argileux; massif; débit mamelonné; des fissures fines tous les 10 cm; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire fine peu développée; quelques agrotubules de 3-5 mm; très peu de racines
A.B

23-41 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4/8); des mouchetures noires; légèrement plus argileux; polyédrique en assemblage compact; cohésion plus faible; plus poreux; davantage de radicelles
B.1
(couleur)

41-100cm : rouge jaunâtre bruni (5 YR 5/6) des taches rouges et noires; sablo-argileux, les taux d'argile croissant faiblement mais régulièrement jusqu'à la base; polyédrique en assemblage compact; cohésion forte à très forte;
Bt.(g).cn

porosité et enracinement très faibles.

Tout se passe comme si, l'horizon B.1 du profil précédent étant venu en affleurement, il s'y développait les deux niveaux de surface, l'un le plus reconnaissable, humifère (C-23) l'autre densément prospecté par les racines (23-41). C'est cette reconstitution moins rapide des horizons A qui distingue les sols rouges de l'Ader Douchi des sols du remblai du Gorouol qui possèdent par ailleurs des couleurs, des structures et des profils texturaux analogues. Les sols brunis et variablement calcaires sont une autre originalité :

site de Tamaské (AD 28)

Lat. : 14° 53' 20" N.
Long. : 5° 40' 50" E.

A peu près dans l'axe et au fond d'un cirque en tête de vallée; alluvions entièrement découpées en buttes par des ravineaux; steppe d'épineux; 350 mm.

Surface : décapée et durcie

0-30 cm : brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4); sablo-argileux; des oolithes ferrugineuses parmi les sables (Ct.1); polyédrique en assemblage compact (3 cm); cohésion forte; compact bien que légèrement calcaire (moins de 1%)

A.Bt

30-95 cm : brun rougeâtre (5 YR 4/5); des taches diffuses rouges et des taches noires à cortex rouge (1 cm); structure polyédrique en assemblage compact (1 cm) de cohésion forte; compact; de 30 à 46 cm, assemblage plus lâche, cohésion moins forte, porosité tubulaire médiocrement développée

B.cn

95-135 cm : brun-jaune; taches noires nombreuses (10/dm²) légèrement durcies, taches diffuses rouges; sableux à sablo-argileux; structure massive à débit polyédrique; cohésion forte; compact

BC.(g).cn

135-190 cm : jaunâtre (10 YR 6/6); taches diffuses rouges (2 cm); sableux, avec oolithes; calcaire par points; massif, quelques pores tubulaires

C.(g)

Note : sur la même coupe des lentilles de blocs (20-50 cm) de grès et de calcaire sont visibles; à la même cote une butte voisine montre un sol brun à pseudogley d'ensemble sur sables argileux à lentilles d'argile sableuse gleyfiée.

Les variations de l'argile sont régulières et indépendantes de la grossièreté des sables; il semble donc qu'on ait un profil tronqué au niveau de l'horizon B textural où un horizon d'infiltration organique se forme au-dessus d'une couche plus activement prospectée par la faune et les racines (30-46 cm). Le découpage en bad-lands de ces alluvions est tel qu'il est certain que la nappe dont le magasin se situait au dessous de 135 cm est inactuelle. Ce type de brunissement est dans les Maggia d'occurrence fréquente mais limitée. Il ne s'accompagne pas de transformations de l'ordre et de la structure des horizons tels qu'ils ont été observés dans les sols rouges. Pour ces raisons on l'attribue plus au drainage qu'au changement d'origine du matériau, déjà décelable à l'augmentation des capacités d'échange, à la présence voisine de calcaires et d'argiles éocènes. Lorsque les formations à argiles gonflantes ont alimenté plus largement ces dépôts, dont le mode de mise en place et la texture moyenne restaient le plus souvent inchangés, la tirsification apparaît et envahit la totalité des glacis qui sont alors situés au niveau des formations marines ou à distance des reliefs calcaires largement dénudés :

site de Borzanga (AD 96, résumé)

Lat. : 14° 40' 40" N.
Long. : 5° 56' 36" E.

Partie moyenne d'un glacis profondément découpé (+ 6 mm) par un réseau de ravines

Surface : croûte pluviale craquelée; cailloux de calcaire

0-9 cm : brun; sablo-argileux; pseudomycelium calcaire
A.11 (moins de 1%); en plaquettes (15 mm); très compact

M = 1,31 A = 23,0 T = 19,3 pH = 7,1
C/N = 12 L = 15,0 V = 100

9-23 cm : brun foncé; même texture; calcaire (moins de 1%);
A.12 cubique en assemblage compact; poreux; enracinement fin et dense

M = 1,07 A = 23,5 T = 22,1 pH = 7,2
C/N = 11,7 L = 20,5 V = 100

23-75 cm : brun-noir; même texture; moins calcaire; cubique à faces horizontales luisantes, non striées, en assemblage compact; sous-structure polyédrique (5 mm) à faces luisantes; cohésion très forte; compact

M = 0,74 A = 25,3 T = 20,8 pH = 7,1
C/N = 10,2 L = 20,0 V = 100

75-95 cm : conglomérat : blocs de grès oolithiques (Ct.1) et de calcaire, ciment noduleux noir à taches rouges

95-340 cm : sables fins jaunes bariolés de jaune, rouge, gris bleuté; des lits de cailloutis (grès et calcaires); calcaires (moins de 1%); massifs

A = 8,2 T = 7,0 pH = 7,0
L = 9,2 V = 100

340-380cm : concrétions ferrugineuses stalagmiformes
ll.C.g.cn (3 cm) rouge foncé dans la même matrice

Remarque : la capacité d'échange de l'argile et la minéralogie des débris grossiers restent inchangées sur toute la coupe: les taux élevés de limon sont ceux des marno-calcaires altérés situés en amont du glacier.

Les hasards de l'alluvionnement sont à l'origine d'intermédiaires complexes entre les deux profils précédents. Des structures de sols ~~smectiques~~ (prismatique avec sous-structure cubique en surface, polyédrique à faces lisses en profondeur) apparaissent lorsque la capacité d'échange du sol dépasse 15 milliéquivalents. Les niveaux issus des grès, de la matrice rubéfiée des pavages, restent reconnaissables grâce à leur massivité et à leur coloration. Des vertisols (cf. p.350) remplacent parfois les sols bruns tirsifiés lorsque les textures sont argileuses et forment en quelque sorte le pôle opposé des sols brun-rouge dans cette succession dont l'origine paraît essentiellement sédimentaire. La répartition du calcaire dans les profils stratifiés indique des mouvements latéraux ou ascendants des solutions du sol. Ce mécanisme n'a jamais agi sur la morphologie des sols qu'au contact immédiat des calcaires où parfois apparaissent, sur pentes,

des sols bruns à structure très fine en surface (AC 59 Gidan Gara) :

0-10 cm	sables ruisselés lités et calcaires
10-33 cm	brun (7,5 YR 4/3); sablo-argileux; pseudo-mycelium calcaire abondant (5%); grumeleux (5 mm) : cohésion moyenne à faible; forte porosité intersticielle
A.ca	
33-90 cm	brun-jaune (10 YR 4/4); même texture; pseudomycelium calcaire moins abondant;
A.C ca	massif à débit polyédrique (5 cm); cohésion moyenne à forte; porosité fine et tubulaire
90-193 cm	jaunâtre (10 YR 5/8); sableux; calcaire pulvérulent cimentant légèrement les grains, décroissant rapidement au dessous de 175 cm; à 150 cm concrétions noires (2 cm) à 180 cm taches rouges (5 YR 5/8); massif, débit mamelonné; cohésion moyenne
11C.(g)	
ca	

Les sables jaunes du magasin de la nappe sont quelquefois fortement cimentés par de la calcite très finement cristallisée (5.**) en grès se présentant en prismes verticaux ou en banc continu. Ils voisinent alors avec des travertins à aspect de croûte zonée. Les sources à l'origine de ces dépôts ont disparu et celles qui subsistent ne sont même pas incrustantes, autre argument en faveur de l'inactualité des horizons d'engorgement situés à la base du remblai des Maggia.

On attribue à cette même nappe phréatique ancienne le concrétionnement ferrugineux ou manganésifère qui se substitue localement aux ségrégations de la base des profils. Il se localise sur les lignes de rupture de pente, soit aux pieds des versants à pavage et donc au sommet des glacis de piedmont, soit à la base de ces derniers, localisation qui leur vaut d'être fréquemment mis à jour par l'érosion. Une forme typique en est constituée de concrétions stalagmiformes ferrugineuses situées dans l'horizon C.(g) de sols brun-rouge :

- région de Gadamata (14°46'N., 6°5'E.); base du glacis de piedmont; érosion régressive à partir de la berge d'un marigot; banc de concrétions ferrugineuses en cônes verticaux irréguliers (15 x 50 cm) verticaux, dans une matrice de sables fins argileux jaunes

- aspect macroscopique : grès ferrugineux jaune mou-
cheté de rouge; des pores verticaux; cortex brun-
jaune très mince
- aspect microscopique (lame 311)
 - . squelette quartzeux très abondant, hétérométrique
(20-300 μ) formes émoussées à rondes dans les
grandes tailles, émoussées dans les petites; bords
non cariés ni picotés; un grain de microcline,
très frais; distribution relative porphyrosquelet-
tique
 - . plasma jaune-brun isotique ("limonite"); des con-
centrations de micro-sphérulites rouges (1,7 -
2,5 μ) autour des quartz et des vides ("goethi-
te") formant de très fines néocutines anastomo-
sées; très localement ces sphérulites se groupent
en grappes dans une matrice moins opaque ("décom-
plexation", taches rouges macroscopiques)
 - . méats irréguliers, moulés sur les quartz mais à
parois lisses (50-1.000 μ); quasicutine blanc
jaunâtre très fortement orientée (kaolinite) cu-
tine brune striée faiblement orientée, de même
nature mais mieux cristallisée que le plasma ma-
triciel, néocutine diffuse à microsphérulite;
très rarement des fissures avec feuillets cris-
tallins orangés ("goethite").

Ce concrétionnement se distingue de celui des cuirasses du glacis à pavage, plus anciennes, par la cristallinité très faible du plasma argilo-ferrugineux. Il est diffus, sans volumes nodulaires. Il ne se structure qu'autour des pores conducteurs de solutions ferrugineuses et d'argile. A la base des sols à argiles gonflantes, il est remplacé par un concrétionnement plus riche en ciments manganésifères.

Cet engorgement par nappe se limite presque toujours à la partie inférieure des profils. La partie centrale des vallées est en effet soit profondément incisée, soit enfouie sous des sables éolisés, soit colmatée d'alluvions plus récentes. Une exception se situe tout en aval de la Maggia, près de Birni-N'Konni. Il apparaît que là le colmatage du lit par des argiles de décantation s'est accompagné d'une remontée du niveau de la nappe qui s'est étendu aux sables argileux du remblai situés en amont. Le pseudogley a alors envahi la totalité des profils où une certaine rubéfaction s'est maintenue en surface :

site de Birni N'Konni (NF 56, résumé)

Lat. : 13° 21' 15" N.

Long. : 5° 14' 15" E.

Plaine alluviale; surface très éplanée; sorgho; billons;
575 mm de pluies

Surface : croûte pluviale

0-25 cm : brun-rouge (5 YR 4/5); sablo-argileux; mas-
sif ou à tendance cubique; cohésion forte;
porosité tubulaire

M = 0,4 A = 20 T = 11 pH = 5,7
C/N = 8 L = 5,5 V = 80

25-65 cm : brun (7,5 YR 5/5); taches noires; argilo-
(g) sableux (A = 28); débit polyédrique; cohé-
sion forte; moins poreux

65-130 cm : brun-jaune (10 YR 5/8); bariolé de rouge,
noir, gris; concrétions noires (1 cm);
(B) ou C argilo-sableux; débit ou structure polyédri-
g.cn que (5-20 mm); moins poreux

M = 0,24 A = 32 T = 16 pH = 6
C/N = 7 L = 8,5 V = 85

130-220 cm : brun-jaune (10 YR 5/7); marbrures grises et
llC.g.cn jaune-rouge; sableux; concrétions noires
(3 cm); massif

Le dernier facteur de différenciation, l'érosion, décroît en intensité d'amont en aval mais suit cette famille pratiquement sur toute son étendue. Avec la rubéfaction, la présence fréquente de calcaire dans le profil, l'apparition d'argiles gonflantes en de nombreux sites, le décapage superficiel contribue à donner un aspect "subaride" à cet ensemble sur toute son étendue latitudinale bien qu'il atteigne la zone des épipédons ferrugineux. Il paraît avoir atteint une intensité spécialement forte sur le remblai lorsque ce dernier provenait de grès fins crétacés dont le délitage produit un matériel remarquablement battant. Ses restes forment alors de courts glacis, relativement pentus (5%) ceinturant des buttes à pavage, à surface rougeâtre, rigoureusement nue, jamais cultivée, excessivement compactée, incisée de ravines. Ces dernières sont alimentées par les eaux ruisselant des buttes à pavage et ont pour niveau de base des dépôts plus récents dont la couleur, grise, est celle des formations crétacées.

Les sols sont dépourvus d'horizon humifère mais montrent la séquence de couleur, de texture, de ségrégations des Séries brun-rouge :

site de Ibohamane (AD 33-1)

Lat. : 14° 47' 50" N.
Long. : 5° 55' 50" E.

Base d'un court glacis (200 m); pente de 3%; amont de la zone d'épandage; 375 mm

Surface : mosaïque de plages à encroûtement pluvial et de petites accumulations sableuses accrochées à de rares touffes de graminées (rebhou); aspect de stérilité

0-15 cm : jaune-rouge pâle (7,5 YR 7/6); très finement sableux; lité : empilement de séquences formées d'un lit centimétrique de sables particuliers coiffé d'une croûte limoneuse millimétrique dont la base peut être rougie (= sables ruisselés avec hydromorphie de flaque); le tout très compact

M = 0,22 A = 9,7 Sf = 73 Sg = 16
Fl = 1,12 S = 2,6 pH = 5,5 C/N = 8,1
L = 1,0 Fl/Ft = 75 V = 69

15-20 cm : jaune-rouge (5 YR 5/6); sableux; débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité très fine; chevelu racinaire

M = 0,16 A = 7,0 Sf = 57 Fl = 1,15
S = 2,5 pH = 5,7 C/N = 8,2 L = 1,0
Sg = 34 Fl/Ft = 75 V = 75

20-123 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6); sablo-argileux; taches rouges et brunes; débit polyédrique au sommet, polyédrique en assemblage compact à la base; nombreux pores à parois lisses

B.t.b.cn

A = 14 Sf = 62 Fl = 0,8 S = 3,0 pH = 5,1
L = 3,5 Sg = 20 Fl/Ft = 55 V = 62

123-145 cm : jaune-beige (7,5 YR 7/2); moins argileux; concrétions rouges au sommet, jaunes et tubulaires à la base; plus compact que ci-dessus

BC.cn

A = 12 Sf = 61 Fl = 1,3 S = 3,7 pH = 5,0
 L = 4 Sg = 22 Fl/Ft = 68 V = 86

Note en amont du glaciais le profil est uniformément rouge (5 YR 5/6) sablo-argileux, à débit polyédrique, acide (pH = 5-6) sur 180 cm

La surface du sol, sous les 15 centimètres d'apports très récents, est appauvrie, rubéfiée, relativement enrichie en hydroxydes de fer, ce qui montre que ce sol tronqué évolue actuellement comme les sols "brun-rouge de glaciais" sous l'effet du ruissellement et de la dessiccation (cf. p.379). L'instabilité des aires d'ablation et d'apport fait que dans les secteurs où le remblai est vivement érodé, environ un tiers de la surface peut être recouvert d'épandages très récents à sols peu évolués arrachés aux versants rocheux. Les matériaux issus du sidérolithique sont des sables et des sables argileux stratifiés, rouges, à capacité d'échange médiocre (AC 9 Kalfou) :

Site : centre d'une vallée, zone d'épandage de cours d'eaux temporaires; parc à Faidherbia

0-57 cm : brun-rouge (5 YR 4,5/8); succession alternée de sables grossiers et de sables grossiers (quartz + oolithes) lités mêlés de sables fins, le sommet de chaque niveau à une ou plusieurs croûtes pluviales rougies

1.A

M = 0,28 A = 3,2 Sf = 49 S = 2,0 pH = 7,1
 C/N = 10 L = 2,0 Sg = 45 V = 80

57-140 .. successivement brun-rouge (5 YR 4/8 puis 4/6) et rouge 2,5 YR 4/6); sables argileux lités à débit polyédrique

11.C

M = 0,19 Sf = 49 A = 13 S = 2,6 pH = 6,2
 C/N = 7 Sg = 35 L = 2 V = 88 (à 125 cm)

Ce profil est classé comme Sol Peu Evolué d'Apport Bien Drainé à faciès Brun-Rouge à cause de son apparence, des taux de matière organique et des pH. Si l'on recherche l'origine de ce matériel sur les versants et escarpements gréseux, on retrouve les deux phases inégalement argileuses. Les sables grossiers s'observent partout en surface des multiples terrassettes que ménage la disposition en gradin des divers bancs gréseux; ils sont un produit du ruissellement actuel, produisant des profils AC où une

anfractuosité a permis leur accumulation. Ils recouvrent ou voisinent avec des sables plus fins, plus argileux, non visiblement stratifiés ou lités, à sols plus différenciés (AD 67 Laba) :

Site : terrassette du versant à gradins, limitée en amont et aval par des affleurements de bancs gréseux éboulés; 10 m de large; touffes de graminées; 400 mm.

Surface : 4 mm de sables vannés à quartz et oolithes sur une croûte pluviale de 1 mm brune et finement sableuse au sommet, rouge et sablo-argileuse à la base

0-6 cm : brun-rouge (5 YR 4/4); sablo-argileux (quartz+oolithes); massif; débit non orienté (= pas de litage); cohésion forte; compact
M = 0,36 A = 19 Sf = 50 Fl = 8,1 pH = 5
C/N = 8,4 L = 6 Sg = 24 Fl/Ft = 52 MnO2 = 0,08

6-16 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); légèrement plus argileux; mêmes sables; polyédrique (1 cm) en assemblage assez poreux; cohésion moyenne à forte; radicelles assez fines et nombreuses
M = 0,31 A = 23,5 Sf = 46 Fl = 14,5 pH = 4,5
C/N = 7,2 L = 3 Sg = 26 Fl/Ft = 88 MnO2 = 0,09

16-32 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); légèrement plus argileux; polyédrique (5 mm); en assemblage plus compact; cohésion moyenne à forte; porosité encore bonne; très nombreuses dendrites fines et noires formées de cutines de grains (MnO2)
M = 0,29 A = 27,0 Sf = 44 Fl = 13,9 pH = 4,5
C/N = 7,4 L = 6,5 Sg = 21 Fl/Ft = 94 MnO2 = 0,11

32 cm : blocs de grès durs oolithiques

Le profil est isohumique parce que mince, acide parce que sous la seule influence des solutions issues du sidérolithique, à profil AC ou AB selon l'interprétation des variations faibles mais régulières de la texture et de la couleur, à aspect de sol brun-rouge. Les dendrites de manganèse décèlent une limitation du drainage au contact des grès; nous les avons en effet observées au toit de magasins sableux de nappe phréatique. Il est remarquable que le tout soit le même que dans les alluvions

qui ne peuvent provenir que du sidérolithique parce que situées dans des vallées ou des sections de vallées dont les versants n'entaillent que les grès et sont hors des zones d'ensablement dunaires. Ces dépressions, étroites, sont formées d'un seul flat raccordant des versants recouverts d'une chappe continue de gros blocs qui empêche tout transit de sables très grossiers. Les profils ne sont qu'une amplification moins bien drainée du précédent (AC 54 Mogheur, résumé) :

Site : flat large de 500 m; pas de thalweg creusé; limité par des versants à éboulis larges de 150 m; sorgho; 425 mm

Surface : croûte pluviale

0-10 cm : gris-brun (7,5 YR 5/6); sablo-argileux; débit A polyédrique (5 cm); cohésion forte; porosité tubulaire; racines nombreuses et fines

10-48 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8) reticulum jaunâtre; B.1 légèrement plus argileux; polyédrique en assemblage compact avec sur-structure prismatique (15 cm) peu visible; porosité tubulaire; peu de racines

48-128 cm : rouge plus vif (5 YR 4/8); gaines décolorées B.2(g) jaunes autour de pores, grises autour de vieilles racines; mouchetures manganésifères; un peu plus argileux; polyédrique en assemblage compact; cohésion forte; même porosité

Les propriétés analytiques ne diffèrent que par des taux de matière organique plus élevés en surface (1%) du fait d'une meilleure alimentation en eau et décroissant assez vite dans le profil.

Les matériaux récents issus de l'Eocène donnent des profils AC gris et bruns plus proches des sols calcimorphes par leurs structures superficielles fines (polyédrique ou grumeleuse) et leurs taux élevés de calcaire que des sols tirsifiés ou vertiques qui forment la majorité des sols à argile gonflante du remblai ancien. Les sables fins argileux provenant du Crétacé donnent également des sols AC compacts dont la teinte brune est celle de la roche renforcée par un mauvais drainage interne.

La comparaison des sols du remblai avec ceux du remblai éolisé fait apparaître une évolution pédologique analogue et des différences qui tiennent à la texture plus sableuse

(F.2) au mode de mise en place, au site. Il n'y a pratiquement que des sols brun-rouge : A.1 - AB - B.2 - Cg. Plus perméables et mieux protégés du ruissellement par la situation topographique, les épipédons, bruns (7,5 YR 5/4-6) sont plus épais (30-40 cm) mais moins organiques (0,2-0,3%) parce que plus sableux. Leur réaction fluctue largement mais approche de la neutralité (pH = 5,7 - 6,6 - 7,0). La répartition de l'argile est de type lessivé et l'horizon le plus rouge (5 YR 4/6-8) est souvent l'horizon B textural (moins de 10% d'argile) sa structure restant au niveau du débit. Le matériau non modifié peut apparaître dès 150 cm, avec des teintes jaune rougeâtres (7,5 YR 5-6/6-8) et un débit régulier. Il est ordinairement envahi, ainsi que la base de l'horizon B, de ségrégations ferrugineuses et manganésifères très diffusées (marbrures) qui caractérisent ces Séries dans la légende cartographique, par opposition aux nodules plus distincts et durcis ("concrétions") des sols sablo-argileux. Le concrétionnement de nappe proprement dit, stalagmiforme ou tubulaire, y est moins fréquent mais de même nature. Il est parfois associé au brunissement du profil (horizon B 5 YR 3,5/4). Le matériau est uniformément sableux sur toute la toposéquence, avec des taux d'argile aussi faibles que 4%, même dans la partie centrale des vallées. On sait que les alluvions se sont accumulées dans des flats bien distincts après le remodelage éolien. Cette ségrégation des textures en ensembles eux-mêmes très uniformes, caractérise les aires éolisées du remblai.

2.1232

Propriétés analytiques (F.3)

Les taux de matière organique et les C/N croissent avec les taux moyens d'argile, avec la réduction du drainage interne, avec les taux de calcaire (de 0 à 10 cm) :

- moins de 15% d'argile dans l'horizon Bt, sols brun-rouge

M = 0,15 - 0,40%
C/N = 7 - 11
- 15 à 25% d'argile, sols plus ou moins brunis

M = 0,40 - 0,60%
C/N = 10 - 12
- moins de 15% d'argile, position de bon drainage, sol brun calcimorphe

M = 0,50 - 0,60%
C/N = 12 - 16

- sols bruns tirsifiés

$$\frac{C}{N} = \frac{0,40}{11} - \frac{0,80}{13}\%$$

On décèle trois ordres de variations dans les profils texturaux, attribués au mode de mise en place, à l'évolution pédologique, à l'érosion superficielle :

- la fin de la sédimentation du remblai a été irrégulièrement plus fine. A ces couches et lentilles sommitales plus argileuses se sont parfois superposées des alluvions plus récentes à sols plus jeunes, peu évolués, ou hydromorphes, ou vertiques. L'échelle de cette variation, dont le sol brun tirsifié AD 96 (p. 686) donne un exemple, dépasse celle du profil.
- Les taux d'argile croissent jusqu'à la base de la plupart des solum, plus vite en général entre l'épipedon et les horizons B qu'entre deux subdivisions de ces derniers; les rapports des taux entre l'horizon le plus riche et l'horizon A.1 sont, pour une épaisseur comprise entre 100 et 150 cm :
 - . de 1 pour les sols bruns calcimorphes
 - . de 1,1 pour les sols bruns tirsifiés
 - . de 1,5 à 1,6 pour les sols brun-rouge et leurs faciès brunis ne possédant pas d'horizon Ap évidemment remanié (= lité) et appauvri; les taux d'argile en surface sont alors de 16 à 23%; ce même rapport entre B et C n'a pu être que rarement mesuré; il est de l'ordre de 1,2
 - . de 2,3 à 2,7 pour les sols brun-rouge et brunis superficiellement remaniés; les taux en A.1 sont de 5 à 10%

L'essentiel de cette variation est attribuée au lessivage dont, en principe, d'autres traces sont les cutines de pores tubulaires observées dans les profils ou dans les lames minces de concrétions. Elle est en effet inverse de la séquence sédimentaire et dépendante du type de différenciation pédologique pour des textures et un mode de mise en place analogues. Elle s'apparente au type "lessivé profond" si commun dans cette famille.

- Entre la fossilisation par des dépôts variés et la troncature du profil, l'érosion hydrique produit un état intermédiaire où la texture des premiers centimètres tend vers celle des sables grossiers ruiselés (A = 3% environ) qui sont un élément essentiel du transit solide sur les pentes.

Le pH, la saturation, la capacité d'échange de l'argile croissent des sols brun-rouge aux sols brunis, aux sols bruns tirsifiés, sous l'effet d'une participation de plus en plus grande des formations marines au matériau et aux solutions du sol (horizon A.1) :

sols brun-rouge	pH = 5,4 - 7	Saturation	V = 66-80	T/A = 30-75
sols brunis	pH = 6,9 - 7,7		V = 100	
sols tirsifiés	pH = 7,0 - 7,5		V = 100	T/A = 55-90
sols calcimorphes	pH = 7,1 - 8,2		V = 100	

Dans les sols brun-rouge acides, le pH est plus élevé en surface alors qu'en profondeur la saturation montre un léger accroissement au niveau des horizons moins bien drainés. Les sols uniquement issus du sidérolithique montrent que cette acidité est le fait du matériau, que la végétation subaride ne la corrige que très faiblement, ce que nous avons déjà noté à propos des argilites du Ct.2 (cf. p. 272). Dans les vallées profondément incisées le pH des sols rubéfiés varie assez largement sans que la morphologie ou les taux de matière organique soient modifiés; c'est cette particularité des sols de l'Ader Douchi qui montra pour la première fois que le pH n'était pas une caractéristique fidèle des sols brun-rouge, classiquement tenus pour saturés. Ces considérations s'étendent aux sols issus des grès crétacés.

La présence d'oolithes ferrugineuses dans le squelette explique que les taux de Fe_2O_3 excèdent les normes de plusieurs fois. Ils ne sont guère utilisables sauf à montrer que les taux de sesquioxyde décroissent moins vite que l'argile dans l'épipédon lorsqu'ils se localisent dans la fraction grossière, remarque qui a été étendue à l'interprétation de la plupart des sols rubéfiés sur tous les substrats. Dans des sols issus du Crétacé, ne présentant pas cet excès, la variation inverse a été attribuée à la ferritisation superficielle qui apparaît parfois sur les glacis subarides.

Les réserves en eau à pF 3 atteignent 120 mm/m pour les sols brun-rouge les plus sableux, 375 mm/m pour les sols tirsifiés les plus argileux. La stabilité structurale est médiocre, sauf dans les sols calcimorphes où elle est moyenne. On recueille peu d'agrégats, toujours détruits par le prétraitement au benzène, plus sensibles à l'humectation directe dans l'horizon A que dans les horizons B, comportement de sols peu organiques qui ne sont liés que par de faibles quantités de ciments minéraux. La conséquence en est que l'indice d'instabilité

structurale (IS) est près d'être proportionnel aux fines (F) moins de 30% de ses variations seulement n'étant pas l'effet de la granulométrie. Il en est de même du coefficient de perméabilité (K) mesuré au laboratoire sur échantillon remanié. Il est minimum dans l'épipédon où l'instabilité structurale est cependant la plus basse :

$$\begin{aligned} \text{IS} &= 0,67 \text{ F} + 0,7 \quad (0; 0,66) & \text{R} &= 0,79 & \text{P} &= 0,01 \\ \text{K} &= 0,77 \text{ F} + 0,7 \quad (0; 0,92) & \text{R} &= 0,71 & \text{P} &= 0,01 \end{aligned}$$

R = coefficient de corrélation; F = dix fois le taux des fines inférieures à 20 μ divisé par le taux des sables supérieurs à cette limite, varie de 0,25 à 5; 20 échantillons

Le tassement de ces sables relativement fins dans la colonne de percolation est moins important pour les horizons B qui sont quelque peu agrégés et plus résistants à l'humectation directe par l'eau. L'étude des familles 1 et 2 a montré que la mouillabilité des horizons A, en principe plus faible du fait de la matière organique, jouait un rôle secondaire par rapport à la porosité dans la colonne : leurs horizons C sont également médiocrement perméables. La stabilité structurale globale (S) est ainsi la même ou, plus exactement, fluctue autour des mêmes valeurs, à cause de cette compensation entre K et IS; cela est également vrai des divers sols :

· brun-rouge, moins de 15% d'argile	: S = 45-65
brun-rouge et brunis	S = 40-60
bruns tirsifiés	S = 50-65

avec $S = 100 \left(\frac{1}{5} \log_{10} K - \frac{1}{6} \log_{10} IS + 0,5 \right)$ varie de 0 à 100.

Sur le terrain on constate que si la battance, la faculté de produire des structures de surface imperméables, laminaires, l'aptitude au ruissellement existent sur l'ensemble du remblai, ils sont plus fréquents sur les sols ou les horizons les plus argileux, à site similaire : les terrains se classent dans l'ordre donné par les tests de stabilité des agrégats, non dans celui du test de percolation. Les quantités de fines susceptibles d'être libérées par l'action de l'eau sont le facteur principal d'imperméabilisation, de stérilisation de la surface du sol. L'érosion avancée des parties hautes du remblai des Maggia n'est pas due aux propriétés physiques, qui se situent dans la moyenne des sols similaires, mais à des facteurs externes (cf. p. 563).

Ces toposéquences se distinguent, parmi les ensembles à sols ferrugineux et à sols smectitiques, par leur pédogenèse où les argilites, héritées de la roche, non liées au site topographique, orientent l'évolution indépendamment de toute chaîne d'altération ou de toute séquence de facteurs externes, pour peu que la texture soit sablo-argileuse. Des temoins juchés sur les versants ou situés dans de petites vallées relient physiquement les sols rouges des Maggia aux sols ferrugineux à horizon B textural profond et à concrétions manganésifères qui sont à-peu-près l'unique expression pédologique des matériaux issus du sidérolithique (cf. p.129) : elle-même simple variante de l'ensemble des sols kaoliniques désaturés à bon drainage interne. Cette dernière est caractérisée par un rougissement non pas plus intense, comme pourraient le laisser supposer les taux de fer, les sols issus des grès Ct.3 étant davantage rubéfiés, mais plus uniforme car on ne connaît pas de sols décolorés. La facilité avec laquelle apparaissent les concentrations manganésifères, le fait que le calcium soit le cation majeur, sont deux autres particularités. D'un bout à l'autre de la toposéquence, la même organisation se conserve, même lorsque le profil brunit en bas de pente : A.l - AB - B (couleur - B.t(g).cn. L'épipédon n'est jamais très différencié et une très forte érosion le porte au delà du point d'amenuisement extrême noté sur les remblais du Gorouol et du Niger : ses deux niveaux, l'un plus brun (A.l1) l'autre plus poreux (A.l2) se forment dans le sommet de l'horizon B; ils disparaissent et seule l'analyse décèle une légère accumulation organique; enfin la rubéfaction sommitale des glacis subarides peut s'amorcer. On constate également que les produits arrachés aux versants qui peuvent le fossiliser s'intègrent mal au profil parce que plus grossiers et hétérogènes que le remblai ancien : jusque là nous avons constaté l'inverse lorsque la phase superficielle d'apport était constituée par les débris de l'épipédon lui-même. Le profil des horizons B est très uniforme mais l'accroissement des fines vers la base est suffisamment fréquent et distinct des variations d'ordre sédimentaire pour rendre nécessaire l'hypothèse du lessivage. La réduction du drainage interne en profondeur est constante. Elle se traduit au minimum par la formation de dendrites manganésifères; plus accentuée, elle entraîne le brunissement de la base des horizons B et une nodulation ferrugineuse et manganésifère. Dans les vallées, elle s'accompagnait d'un flux phréatique

important qui prenait sa source dans les versants rocheux eux-mêmes et dont les dépôts propres, calcaires puis ferrugineux, furent plus importants que dans aucun autre paysage nigérien. Le chimisme des nappes existant encore laisse supposer que la saturation calcique et la carbonatation légère de sols brun-rouge et plus encore brunis est attribuable à des remontées capillaires à partir du niveau phréatique encore que l'étude des alluvions récentes ait indiqué un second mécanisme, la redistribution verticale par les eaux de pluies du calcaire transporté par le ruissellement. Dans le passé, cette influence locale des transports solides s'est manifestée au niveau de la minéralogie des argiles et a par conséquent déterminé l'évolution des toposéquences.

Le caractère subaride très affirmé du remblai des Maggia est fait de l'abondance des sols bruns de toute sorte, de la disparition des horizons lessivés, de leur remplacement occasionnel par des horizons ruisselés d'où le fer n'est plus éliminé, de la présence de carbonates dès les couches superficielles. Il est lié à l'obsolescence progressive des sols rubéfiés anciens et déterminé par la nature pédologique des vieilles toposéquences, par leur topographie, par l'environnement lithologique, par l'aridité climatique.

2.13 S i t u a t i o n e t p r i n c i p a l e s
c a r a c t é r i s t i q u e s d e s s o l s
f e r r u g i n e u x p e u l e s s i v é s
à l e s s i v é s

2.131 Situation

Cet ensemble est un intermédiaire pédologique aussi bien qu'historique et physique entre les bas-glacis (M.3) et les dunes. L'allègement textural y est suffisant pour que les sols rubéfiés et lessivés dominant, indépendamment du type d'argile, ce qui le distingue des glacis. Il n'est pas tel que les autres types de sols soient éliminés, comme sur les dunes. Ces derniers sont moins nombreux, moins différenciés parfois, que sur les glacis. Leur apparition n'est pas déterminée par une évolution en chaîne mais par la nature du matériau ou par le site. Elle se manifeste

au delà de certaines valeurs des taux d'argile, de la capacité d'échange, sur des unités de paysage entières plutôt qu'en des points très précis des toposéquences. Sur les matériaux à argile à basse capacité d'échange, peu de sols peuvent être rapportés avec certitude à la famille 3 qui ne soient pas des sols ferrugineux peu lessivés à lessivés. Des sols analogues aux sols ferrugineux lessivés mais plus juvéniles ont été décrits en des sites comparables ou contigus à ceux des sols ferrugineux peu lessivés, sans que la transition entre ces deux ensembles ait jamais pu être observée : ce sont les sols lessivés-appauvris, sans concrétions des grandes dépressions de la surface supérieure, à concrétions manganésifères des fonds de vallées du Djermaganda. Sur les matériaux à argile à forte capacité d'échange, des sols tirsifiés apparaissent lorsque les taux d'argile dépassent 30% environ et lorsque la capacité d'échange excède 15 méq (Ader Douchi, Gorouol). Au dessous de ces valeurs, données pour l'horizon le plus argileux, l'organisation est encore celle des sols ferrugineux peu lessivés. Les deux types de constituants ne se succèdent pas en chaînes, mais se juxtaposent en mosaïques d'origine sédimentaire. Il existe pourtant des traces fréquentes d'une importante circulation phréatique qui a véhiculé du carbonate de calcium, issu des altérites et roches locales, des oxydes de fer et de manganèse, les premiers produisant des concrétions spécifiques de ce type d'engorgement, les seconds plus abondants en milieu smectitique et calcique. On n'a pas décrit de sols halomorphes, ni alcalisés, fait dont la raison pourrait être le caractère inactuel de ces nappes dans les régions où de telles possibilités existeraient de par la nature des sols du glaciais (Gorouol).

2.132

Caractéristiques

L'organisation la plus complète est celle des sols à horizon B 5 YR sur colluvions méridionales : A.1 - A.2 - AB - B.2t - B.3cn. Toutes les transitions sont graduelles. L'épipédon est suffisamment épais pour que la zone de porosité maximum s'y situe entièrement (A.2). L'horizon B textural est uniformément coloré, souvent le plus rubéfié. La distribution non uniforme du plasma se traduit par une structure près d'être polyédrique pour des taux d'argile situés entre 12 et 25% dans les cas indubitables d'appartenance à la famille 3. Elle localise également les petits nodules ferrugineux qui se forment à la base de l'horizon, l'une des deux zones du profil, avec

le contact AB, à être moins bien drainée. Les variations de la toposéquence reflètent une réduction progressive du drainage interne rendue sensible par le changement de couleur des épipédons, du brun au gris en bas de pente, des horizons B du rouge au jaune rougeâtre, par l'apparition de la nodulation ferrugineuse. L'absence de différences importantes entre les divers termes est aussi une caractéristique de la famille : il n'existe pas de structures très fines dans les sols les mieux drainés, ni de cuirassement ou de concrétionnement coalescent dans les sols de bas de pente. Elle est inutilisable pour trancher les cas douteux de sols rubéfiés à classer parmi les sols ferrugineux lessivés.

L'engorgement de nappe situé à la base du solum est caractéristique des sols de remblai; à ses traits propres (jaunissement, décoloration, concrétionnement tubulaire ou stalagmiforme, peut-être accentuation du développement pédique) il ajoute le renforcement du mauvais drainage de la partie inférieure du B qui est alors brunie, compactée, noduleuse. Sans que l'on sache exactement pourquoi, les sols à horizon B 5 YR dominent très largement; les sols à horizon B 7,5 YR et plus généralement ceux des parties basses prennent un aspect brun ou sont largement envahis par le pseudogley. L'érosion superficielle peut être très forte, pour des raisons purement locales; le profil est alors simplifié : A - BA - B - B.cn.g.

Les analyses décèlent une accumulation de matière organique continûment décroissante dans le profil, en rapport avec le couvert végétal actuel, des variations texturales à-peu-près parallèles à celles des hydroxydes de fer, ressortant davantage au lessivage sur colluvions, davantage à l'appauvrissement sur remblai. Les bases et le pH s'y répartissent selon les deux modes possibles parmi les sols ferrugineux. L'un situe les maxima en surface, le reste du profil étant très pauvre et désaturé, l'autre les localise en profondeur soit par l'effet des apports de nappe, soit parce que les migrations en profondeur l'emportent sur les remontées par la végétation, cela ne s'observant que pour des richesses supérieures à celles qui existent dans le premier cas.

2.133 Variations en latitude

Les matériaux sont suffisamment peu transformés et proches de leurs sources pour que les sols reflètent d'abord

la zonation ancienne que produisit le gradient pluviométrique sur les glaciers. Au sud, l'uniformité des types, ferrugineux ou hydromorphes, répond à celle de la constitution, kaolinique et désaturée, des sols ferrugineux à concrétions et cuirasse du bassin. Au nord, cette homogénéité est détruite par l'héritage d'argiles issues des chaînes et toposéquences à sols smectitiques. Les apports calciques et calcaires y sont également une conséquence du changement du type de l'altération.

Les variations de la texture sont une autre conséquence paléoclimatique due aux modalités de la mise en place. Au nord, l'éolisation a réduit l'extension de la famille 3 et l'a localement allégée; les sols sont alors moins structurés, voisins de ceux de la famille 2 et les traits dus à l'action de nappe y sont à la fois plus étendus et plus spécifiques du milieu sableux.

La remarquable invariance des horizons B en latitude, toutes les conditions de site étant par ailleurs égales, a été attribuée à une pédogenèse ancienne où la pluviosité était suffisamment forte pour que, sur ces matériaux, l'effet du gradient pluviométrique ne soit guère sensible. Cette constatation est directe sur les grès continentaux, où la nature des roches n'a guère permis aux pédogenèses anciennes de varier beaucoup; sur le socle il est nécessaire de faire abstraction des modifications entraînées par les différences de couverture pédologique des bassins, précaution qui ne fait guère que raffiner une identification par ailleurs évidente.

Les transformations plutôt régressives de l'épipédon se généralisent en milieu subaride du fait de l'amenuisement du couvert végétal; on peut classer leurs modalités de la façon suivante :

- en un point d'une surface donnée se succèdent des périodes d'ablation et d'apport; les aires à épipédon plus sableux sont relativement les plus étendues; des horizons A plus ou moins remaniés y fossilisent les horizons B; ce processus est suffisamment lent pour que le profil organique soit normal; il n'y a plus d'horizon A.2 mais une zone, de couleur, texture, structure variables, située à la base des horizons A ou au sommet des horizons B, où la porosité est plus forte

. parfois, l'épipédon étant épais et relativement acide, il subit une légère évolution de type

ferrugineux se traduisant par une discrète rubéfaction au contact AB ou par la formation de raies; dans ce dernier cas, il peut s'agir de sols bien conservés qui achèvent ainsi leur évolution ou de sols fossilisés par des apports en général éoliens

- ordinairement on observe rien de tel; si l'épipédon est peu épais, le contraste textural est celui d'un sol appauvri; cette absence d'évolution due au lessivage paraît plus fréquente au sommet des profils saturés et calciques; la limitation climatique de la lixiviation des bases n'entraîne donc celle de la migration du plasma minéral que si le milieu est suffisamment pourvu (Niger, Ader Douchi)
- les aires où affleurent les horizons B sont les plus étendus; les horizons sableux ne sont formés que de sables particuliers non réorganisés, à taux de matière organique très faibles; ces sols, tronqués au sens strict, n'ont été que rarement observés sur des matériaux spécialement battants et sur des pentes relativement fortes.

L'érosion hydrique est l'agent principal de ces transformations. Dans l'imperméabilisation superficielle qui en est la cause, la libération des fines par les horizons B où elles ne sont que faiblement agrégées, a plus d'importance que le tassement des sables des épipédons, de telle sorte que cette famille, la plus argileuse, est la plus sujette au ruissellement. Mais l'érosion, le vannage éolien s'exercent également, principalement dans les lieux où le vent avait déjà contribué à la mise en place du matériau. De là une grande diversité dans les textures des épipédons selon leur état, leur origine. Le long du Gorouol, elles s'établissent entre 5 et 9% d'argile, en deçà l'appauvrissement est patent, au delà les horizons B sont atteints. Dans l'Ader Douchi, ces taux se fixent entre 3 et 10% pour les profils visiblement remaniés, entre 16 et 23% pour les autres. Ce facteur d'hétérogénéité, s'ajoutant aux différences de la constitution et du chimisme, reflets plus ou moins lointains des pédogenèses anciennes, explique que la diminution des taux de matière organique et le relèvement des pH, caractéristique du milieu subaride, soient plus difficiles à mettre en évidence dans cette famille que dans aucune autre (cf. tabl. 79)

Sols ferrugineux des toposéquences méridionalesSur glacis

Les Sols Ferrugineux Peu Lessivés très évolués et rubéfiés. Série de Diargou. Association à sols gravillonnaires Feuille Niamey

Les Sols Ferrugineux Lessivés sans concrétions. Famille sur placages argilo-sableux issus du Ct.1 Feuille Maradi

Les Sols Ferrugineux Non Lessivés à marbrures sur sables argileux issus du Maestrichtien Feuille Maradi

Les Sols Ferrugineux Lessivés en fer à concrétions. Famille sur placages sablo-argileux (Maradi). Séries de Kouroungoussa et de Gidan Roumji Feuille Maradi

Sur remblais

Les Sols Ferrugineux Peu Lessivés très évolués et rubéfiés. Sur sables argileux de remblai. Association à Sols Ferrugineux Lessivés et à Sols Régiques (Tapoa-Mekrou). Association à Sols Peu Evolués d'Apport Mal Drainés Feuille Niamey

Sols à pseudogley à taches et concrétions. Sur sables fins argileux. Associations des terrasses du Niger. A Sols Ferrugineux Peu Lessivés à marbrures et à Vertisols Feuille Niamey

Les Sols Ferrugineux Peu Lessivés très évolués et rubéfiés. Association à Sols Régiques sur argile d'altération de granites (Sirba) Feuille Niamey

Sols brun-rouge des toposéquences septentrionales

Sur glacis

Site de Siwili : non cartographié; impureté de : Sols Brun-Rouge; Séries modales; associées à des Sols Ferrugineux Lessivés sur grès argileux

Feuille Niamey

Les Sols Ferrugineux Peu Lessivés à concrétions sur sables quartzeux à éléments d'arène granitique (Izak)

Carte du Gorouol

Sur remblais

Les Sols de Transition, Brun-Rouge à Ferrugineux, à Faciès Brun-Rouge; sur sables argileux; Séries de Kolman, de Dolbel; Séries Rubéfiées à amas calcaires, association des terrasses du Niger

Carte du Gorouol

Sols à pseudogley à taches et concrétions. Sur sables fins argileux. Associations des terrasses du Niger. A Sols à Pseudogley à amas calcaires et à Sols Brun-Rouge à amas calcaires

Feuille Niamey

Des Maggia

Sols Bruns. Sur dépôts de remplissage anciens des vallées. Sols Brun-Rouge à concrétions. Même famille. Séries ; très rubéfiée; très foncée; avec apports sableux, ou calcaires, superficiels

Carte de l'Ader Douchi

Sols à pseudogley, à taches et concrétions, sur alluvions argilo-sableuses (Birni N'Konni)

Feuille Maradi

Sols Peu Evolués d'Apport. Famille sur produits fins issus de grès, pélites, argilites (Crétacé). Série non humifère rubéfiée

Carte de l'Ader Douchi

Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés.
Sur produits meubles issus de grès ferrugineux (Ct.1). Séries à tendance Brun-Rouge, sur atterrissements, sur produits d'épandage de cours d'eaux temporaires

Carte de l'Ader Douchi

Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés.
Sur alluvions des cours d'eaux temporaires. Séries provenant des grès ferrugineux et des sols en dérivant (Ct.1)

Carte de l'Ader Douchi

Sols Brun-Rouge à marbrures. Sur dépôts sableux anciens remaniés par le vent

Carte de l'Ader Douchi

Sols Brun-Rouge à concrétions. Famille sur sables grossiers argileux des vallées sèches (Maggia)

Feuille Maradi

Sols Brun-Rouge à marbrures. Famille sur sables grossiers des vallées sèches (Maggia). Associations de la Maggia, de l'Ader Douchi est

Feuille Maradi

2.2 LES SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES ET LEURS

FACIES BRUN-ROUGE (F.2)

2.21 P r é s e n t a t i o n

Un très grand nombre d'observations se rapportent à cette famille du fait de l'étendue des dunes basses E.1. Pour les ordonner, il est commode d'utiliser les ressemblances morphologiques qui permettent de regrouper les profils en ensembles qui ont la propriété de se succéder en nombre variable mais en ordre constant dans le paysage; ce sont les divers termes d'une toposéquence en quelque sorte généralisée. Les suites réelles diffèrent entre elles par le nombre, par l'extension relative, par le détail typologique et chimique des sols qui la composent. Comme ces caractères sont presque entièrement définis

lorsque le substrat géologique, le modelé fossilisé, la topographie dunaire le sont il correspond, à une aire ainsi circonscrite, un petit nombre de toposéquences, généralement une seule où de surcroît l'un des termes est fréquemment dominant. Il est ainsi possible de faire coïncider la description d'un paysage et celle d'une variété pédologique très précise, du niveau de la Série ou d'un groupement de Séries. Ci-dessous nous commencerons par la toposéquence la plus générale puis nous poursuivrons par celles qui, simples encore, se déduisent de la précédente par la prédominance de l'un des termes. Nous terminerons par des combinaisons aussi complètes que le type mais particularisées par des facteurs locaux. La variation en latitude sera précisée au niveau des unités de paysage puis résumée dans les conclusions.

2.22 Les toposéquences des vallées
ensablées sur grès du Niger Moyen

2.221 Situation

Complètes mais à sols relativement moins différenciés elles peuvent servir de modèle de référence à toutes les autres. Elles se développent sur des sables dunaires qui recouvrent les versants (V.1 et V.2) entre la surface supérieure et un thalweg colmaté de sables plus appauvris à sols plus juvéniles (S.2 et S.3). La couverture éolienne est d'épaisseur médiocre, au mieux de quatre mètres en position latitudinale moyenne. Elle s'amenuise ou disparaît des versants et vallées qui étaient protégés des vents d'est, où elle est remplacée par les restes des toposéquences à sols ferrugineux lessivés (cf. p.273). Son modelé superficiel apparaît plan sur le terrain mais les coupes topographiques révèlent des ondulations très molles (+ 2 m) qui se dessinent parfois en écailles imbriquées sur les mosaïques photographiques. Elles n'influencent pas sur la répartition des sols qui est entièrement déterminée par la position relative le long de la pente générale. Cette dernière est de l'ordre de 1%; on a constaté que les sols les plus rouges disparaissaient lorsqu'elle s'abaissait à 0,3%. Il n'y a de nappe phréatique qu'en profondeur du thalweg, vers - 3 m ou plus. La végétation et dans une moindre mesure, les sols varient du nord au sud à cause de la large extension en latitude (350-875mm).

A moins de 400 mm, les faciès brun-rouge portent la steppe arbustive à Commiphora à strate prairiale à Ctenium et Heteropogon. Entre 400 et 750 mm les faciès ferrugineux sont couverts de jachères de pénicillaires à recrûs de Combretum et strate prairiale à Heteropogon et Loudetia. A plus de 750 mm s'introduisent les espèces de la savane boisée, elle-même fort dégradée : Butyrospermum, Bombax, Andropogon vivaces. Là, la couverture dunaire est plus discontinue (cf. p.274) les sols plus différenciés que dans la partie moyenne. Les épipedons sont plus épais et humifères, le développement des horizons B approche de ceux de la famille 3. L'érosion hydrique croît en importance à proportion de la pluviosité et de la surface relative occupée par les sols non dunaires, aussi est-elle beaucoup plus forte au sud qu'au nord. Elle aboutit à la stérilisation de ces vallées car la nappe sableuse n'est pas très épaisse, le sous-sol est infertile, le substrat inutilisable.

2.222 Les toposéquences dans la zone moyenne (400-750 mm)

2.2221 Le site-type de Tourobon (NI 4, 5, 6)

Lat. : 12° 58' 30" N.	Versant ouest; pente moyenne
Long. : 3° 24' 40" E.	de 0,8%; ondulations peu visi-
Cotes : 237 m (NI 4)	bles (+ 2m) dissymétriques avec
222 m (NI 5)	front tourné vers l'ouest; sa-
214 m (NI 6)	vane arborée; jachères à partir
	de la mi-pente jusqu'au thalweg;
	740 mm de pluies

NI 4

Surface : couche de 2 cm de sables particulières

0-22 cm : gris jaunâtre ou "beige" (7,5 YR 5/5); très sableux; massif, débit légèrement irrégulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire bien développée; relativement dur (sol inculte)

A.1

Contraste moyen; transition sur 10 cm

22-45 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5/6) reticulum plus rouge très fin; sableux; débit irrégulier, localement difficile; cohésion moyenne, avec volumes plus cohérents; porosité plus grossière et développée, tubulaire et semi-tubulaire;

A.2B

moins dur que le précédent

Contraste faible; transition sur 15 cm

45-136 cm : rouge (2,5 YR 5/6) homogène; légèrement plus argileux; débit plus facile et moins irrégulier; cohésion moyenne à faible avec volumes durcis; porosité plus fine et moins forte
B.21

Contraste nul; transition sur 20 cm

136-220 cm : rouge légèrement plus clair (2,5 YR 5/6); légèrement plus sableux; débit près d'être régulier; cohésion moyenne à faible; même porosité, restant bonne
B.22

Note les grès du substrat n'ont pu être atteints ici, car situés à - 4 m. Ils ont été observés dans un profil similaire (NI 9E Doubelma) :

129-190 cm rouge jaunâtre (5 YR 5/8); sableux (A = 7,5%); débit légèrement irrégulier; cohésion faible; porosité intergranulaire
B.C

190 ... lit de fragments anguleux de grès ferrugineux rouges et jaune-rouge, non ferritisés, à squelette quartzeux fin (reg de dissociation)

NI 5

Surface : couche de 1 cm de sables particuliers rouge clair; pelotes de termites moissonneurs

0-22 cm : gris jaunâtre (7,5 YR 5/5); très sableux; massif, débit légèrement irrégulier; cohésion moyenne; porosité intersticielle moyennement développée; enracinement fin et abondant
A.1

Contraste moyen à fort; transition sur 7 cm

22-51 cm : rosé à brun (6 YR 5/6); sableux, débit aisé légèrement mamelonné; cohésion légèrement plus forte; porosité plus grossière, très forte, intersticielle et semi-tubulaire
A2.B

Contraste moyen à faible; transition sur 15 cm

- 51-110 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5/8); légèrement plus argileux; débit aisé, mamelonné; cohésion moyenne, volumes à cohésion forte; porosité moins forte
 B.21
 Contraste faible; transition sur 30 cm
- 110-240 cm : rouge jaunâtre plus clair (5 YR 5,5/8); légèrement plus sableux; débit plus régulier, cohésion faible; porosité intersticielle fine, bien développée
 B.22
- NI 6
- Surface : couche de 5 cm de sables particulières beiges; des rejets jaune-rouge
- 0-18 cm : gris-beige clair (10 YR 5,5/4); très sableux; massif, débit finement mamelonné; cohésion moyenne; porosité fine mais peu développée; galeries d'insectes; enracinement fin visible jusqu'à 60 cm
 A.1
 Contraste fort; transition de 10 cm
- 18-38 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/5); sableux; débit mamelonné, plus grossier; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire, très développée, moyenne à grossière
 A2.B
 Contraste moyen; transition sur 17 cm
- 38-110 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5,5/7); même texture; débit irrégulier mais rugosité des faces plus faible; cohésion un peu plus forte; porosité intersticielle bien développée
 B.21
 Contraste moyen; transition sur 25 cm
- 110-200 cm : jaune rougeâtre plus clair (7,5 YR 6/8); un peu plus argileux; débit régulier; porosité plus fine; des nids d'insectes; quelques pores racinaires
 B.22

fin de la toposéquence

Aux sols à horizon B 7,5 YR, succède d'abord en limite de la dépression centrale (cote 213 m) un sol ferrugineux peu différencié de la famille 1 (taux maximum d'argile : 3,5%) épais de 80 cm, à profil ABC, non lessivé, à structures partout près d'être particulières, à horizon B de couleur jaune-rouge (7,5 YR 5/6). Il est situé sur un bourrelet minime dominant de quelques mètres un lit inactuel asséché, à nappe située à 3 m de profondeur. Les sables, beaucoup plus fins que ceux des versants, y portent des sols gris très clairs (10 YR 6/2 puis 8,1) à raies brunes sur toute leur épaisseur; les taux d'argile y sont également très bas (4% au plus).

2.2222 Synthèse morphologique

Profils sommitaux

Horizons A.1

Epaisseur : 11-18-28 cm (extrêmes et médiane)
couleurs : gris jaunâtre, brun jaunâtre, brun rougeâtre
7,5 YR 5/4-5-6 et 4/4
texture : très sableuse ou sableuse
structure : débit régulier à faiblement mamelonné; cohésion moyenne; porosité intersticielle

Horizons A.2B

Epaisseur : 17-23-30 cm
couleurs : rosé, brun-rouge (5 YR 4-5/5-6)
texture : sableuse, plus proche de celle du B que de celle du A.1
structure : débit légèrement à très mamelonné; cohésion moyenne; porosité la plus forte, intersticielle et semi-tubulaire

Horizons B.21

Epaisseur : 25-55-93 cm
cote du sommet : 28-40-85 cm
couleurs : rouge (2,5 YR 4-5/6-8); le plus coloré
texture : sableuse, plus argileuse qu'en A.2
structure : débit mamelonné à légèrement mamelonné; cohésion moyenne à faible; moins poreux

Horizons B.22 ou B.C

Epaisseur : indéterminée
cote du sommet : 121-200 cm
couleurs : rouge et rouge-jaune (2,5 YR 5/6-8 et 5 YR 4-5/8)
texture : en moyenne très légèrement plus sableuse que ci-devant
structure : débit régulier à légèrement mamelonné; cohésion faible; porosité intersticielle

Profils médians

Horizons A.1

Epaisseur : 14-20-33 cm
couleur : gris et brun jaunâtre (7,5 YR 5/5, 10 YR 5-4/4-3)
texture : très sableuse
structure : débit régulier à faiblement mamelonné; cohésion moyenne à faible

Horizons A.2B

Epaisseur : 15-20-33 cm
couleurs : beige, jaune rougeâtre, brun-rouge (7,5 YR 5/5-6 et 4/5, 5 YR 5/5-6)
texture : sableuse
structure : débit mamelonné; volumes cohérents très fréquents; cohésion moyenne; maximum de porosité

Horizons B.21

Epaisseur : 52-67-102 cm
cote du sommet : 33-42-66 cm
couleurs : rouge-jaune (5 YR 5/6-8)
texture : sableux, le plus argileux en moyenne
structure : débit mamelonné à très mamelonné; volumes durcis; cohésion moyenne

Horizons B.C ou B.22

Epaisseur : indéterminée
cote du sommet : 75-150-200 cm
couleurs : rouge-jaune (5 YR 5/6-8)-jaune-rouge (7,5 YR 5-6/6-8)-jaune (10 YR 5-6/8 et 7/7) : BC (g)-blanc sous un niveau jaune
texture : plus sableux en moyenne
structure : débit faiblement mamelonné à régulier; cohésion très faible à moyenne; porosité intersticielle
traits : parfois, dans des sables blancs, concrétions ferrugineuses de nappes tubulaires ou stalagmiformes

Profils de bas de pente

Horizons A.1

Épaisseur : 14-18-27 cm
couleurs : gris et beige (10 YR 5/3-4-5 et 6/2-3-4-5)
texture : très sableuse
structure : massive, débit régulier; cohésion variable :
faible, moyenne, forte

Horizons A2.B

Épaisseur : 14-23-27 cm
couleurs : bruns jaunâtres ou rougeâtres (7,5 YR 5/4-5
et 6/5, 10 YR 5/4)
texture : sableuse, plus proche de celle du B que de
celle du A.1
structure : débit régulier à mamelonné; cohésion moyenne
à forte; horizon le plus poreux

Horizons B.21

Épaisseur : 28-50-75 cm
cote du sommet : 27-42-80 cm
couleurs : jaune rougeâtre (7,5 YR 5-6/4-5-6 et 5/7)
texture : sableuse; en moyenne horizon B textural
structure : débit légèrement mamelonné à mamelonné; co-
hésion moyenne à forte; porosité plus fine
et inter-granulaire

Horizons B.22 ou BC (g)

Cote du sommet : 80-110-115 cm
couleurs : jaune rougeâtre clair (7,5 YR 6/8) ou jaune
clair (= BC (g) : 10 YR 7/4-6 et 5-6/6-8);
des sables blancs sous les sables jaunes
texture : plus sableuse
structure : débit régulier; cohésion faible; porosité
inter-granulaire
traits : concrétions ferrugineuses de nappe, tubulaires
ou stalagmiformes, fréquentes; cortex brun
(7,5 YR 4/4) et centre brun-jaune (10 YR
5/8); porphyrosquelettiques; très indurées.

Ces données tirées d'une vingtaine de séquences font appa-
raître, pour tous les profils, une même organisation éga-
lement commune, parce que très simplifiée, à tous les sols
ferrugineux peu lessivés. Sous un horizon A.1 très sableux
et presque particulière, est un niveau intermédiaire avec

les horizons B, plus proche de ceux-là par sa texture et sa structure, spécifiquement individualisé par le développement d'une porosité biogénète. La partie de l'horizon B immédiatement sous-jacente est la plus colorée et la mieux structurée, cette zone de meilleure organisation, qui ne dépasse pas ici le débit mamelonné du fait de la texture, pouvant s'étendre aussi à l'horizon A.2. Par des transitions très graduelles, la structure indifférenciée du matériau réapparaît à une profondeur située entre 100 et 200 cm, alors que la rubéfaction, si elle n'a pas été effacée par action de nappe diminue insensiblement jusqu'à des profondeurs excédant nos sondages (cf. ci-dessous, sols méridionaux). Le long de la toposéquence, les couleurs et le drainage de la base du solum sont pratiquement seuls à varier. Faute de discontinuité, la partition de cette succession doit beaucoup à des catégories topologiques (les deux extrémités, le centre) et à des références à des séquences plus différenciées. Ainsi les profils sommitaux, très rouges (2,5 YR) à horizon B profondément uniforme, très meuble et bien drainé sont les analogues des sols faiblement ferrallitiques de Gaya (cf. p. 224). Les profils du centre sont plus proches du concept ferrugineux parce que les maxima de la couleur (5 YR) de la texture et de la structure tendent à coïncider dans un horizon B mieux individualisé à sa partie supérieure. Les sols de bas de pente sont ici ambivalents pour ne pas s'être engagés dans l'une des voies évolutives possibles. Ils ne sont ni fortement assombris, ni sièges d'une accumulation quelconque comme les sols brunis; leur lessivage ne s'est pas accentué non plus pour produire des profils approchant des sols ferrugineux lessivés, ou encore très décolorés et à raies. Le concrétionnement de nappe est indépendant de cette évolution; il est tenu pour inactuel à cause de la localisation actuelle de cette dernière, dans le fond même de la vallée, alors qu'il peut apparaître dès les sols médians. Le changement des couleurs le long de la pente traduit un accroissement progressif de l'humidité, sans doute accompagné de circulations hypodermiques. Le drainage général est cependant probablement excellent, du fait de la très grande extension des sols rouges qui couvrent toujours plus de la moitié des versants. Cette qualité est peut être pour quelque chose dans la rareté des raies dans ces séquences. Quelques unes ont été décrites au niveau du contact AB dans les sols rouges (2,5 et 5 YR) ou sur toute l'épaisseur, horizon A.1 excepté (7,5 YR). Elles donnent la preuve d'une mobilité plasmique qui par ailleurs n'est

pas immédiatement évidente dans cet ensemble.

2.2223

Données analytiques
.....

Elles sont abondantes du fait de l'importance pratique de cette unité qui couvre 26.500 km² sur les 31.500 qui au Niger ouest sont situés à plus de 500 mm de pluies.

Les sables dunaires recouvrant les grès du Moyen Niger (cf. Annexe IV, p. 33 et V p. 72;) ont une origine toute locale. Ils ne procèdent pas directement des grès, mais des couvertures pédologiques, plus anciennes. Ils possèdent des caractéristiques propres et statistiquement identiques en tous points d'une toposéquence à cela près que l'éroussé et le centrage des modes granulométriques décèlent une éolisation quelque peu plus poussée en haut de pente. La nature kaolinique du plasma minéral (cf. tabl. 72) son acidité et sa désaturation sont également indirectement héritées des grès.

Les taux, le type de répartition de la matière organique (logarithmique) les C/N sont globalement les mêmes sur toute la toposéquence, résultat faussé par la localisation préférentielle des cultures en bas de pente. Ces dernières peuvent en effet réduire à peu de choses le niveau organique (cf. NI 6).

L'homogénéité et la simplicité des profils relèvent le caractère singulier de cette propriété qu'a le plasma minéral de se répartir de façon diverse dans la même succession d'horizons. Les profils à horizon B d'argile et de fer sont plus fréquents dans la partie moyenne de la toposéquence, alors que les sols uniquement "appauvris" sont plus communs en haut de pente. Il n'existe pas d'évidence morphologique d'une accumulation des fines des points hauts vers la base du versant; les analyses ne décèlent qu'une variation inconstante en ce sens entre les profils sommitaux et médians. Au contraire le lavage des magasins de nappe est très sensible, les taux descendant à moins de 4%. Les variations du fer sont parallèles à celles de l'argile ou situent les maxima plus profondément. Le premier est relativement plus abondant que la seconde en A.1, les éléments squelettiques ferrugineux étant ici représentés par quelques oolithes. L'accroissement du fer libre en valeur absolue et relativement au fer total et à l'argile au sommet des toposéquences est l'effet d'une proportion plus grande d'oolithes dans le squelette en haut de pente (éolisation) et d'un départ

sélectif du fer dans les points bas.

Ces sols sont très acides, désaturés, pauvres en bases. La matière organique en surface, la nappe en profondeur peuvent remonter jusqu'à 6 et 6,5 des pH qui peuvent s'abaisser jusqu'à 4,4 :

le pH est le plus élevé en A.1	8,8	
le pH est aussi faible en A.1	1,2	
		Fréquences sur 10
le pH décroît jusqu'à la base	2	25 profils
le pH est constant dès A.2 ou A.1	4	
le pH est plus élevé en BC.(g)	2,8	
variations non ordonnées	1,2	

L'acidité des divers termes de la toposéquence est statistiquement la même, horizons de nappe exclus.

La répartition des cations accuse une déficience calcique héritée des grès mais corrigée en surface par la végétation et en profondeur par la nappe :

fréquences sur 10		B 2,5 et 5 YR		B 7,5 YR	
		sommet	base	sommet	base
ordre	Ca-Mg-K-Na	10	2	10	6,4
décroissant	Mg-Ca-K-Na	0	8	0	3,6
taux de Na nuls		5		3,6	

NI 98				NI 11			
B 2,5 YR	A	B.2	B.C	B 7,5 YR	A	B.2	BC.g
Ca(% de T)	35	19,4	9,5	Ca	30,5	16,4	48
Mg	24,3	25,5	29,5	Mg	14,1	22	24
K	8,4	6,2	13	K	7	3,5	6,5
Na	1,1	3,4	0,8	Na	5	0,9	5,4
(T - S)	31,2	45,5	18,2	(T - S)	43,3	57,2	16,1

Les taux d'agrégats sont petits et varient comme la texture et la macro-structure, les horizons A.1 et B.22 ou B.C en étant moins pourvus que l'horizon B.21 :

	A.1	B.22	B.C
Sol 2,5 YR (NI 4)	1,9	8	5,6
Sol 5 YR (NI 5)	2,6	5,5	4,2
Sol 7,5 YR (NI 6)	2,7	4,2	4,2

(taux d'agrégats après pré-traitement à l'alcool, sables grossiers déduits)

Les réserves en eau varient, à PF 3, de 30 à 60 mm/m.

2.223 Les toposéquences dans la zone sud (750-875 mm)

Leur intérêt est de donner la différenciation correspondant aux pluviosités les plus élevées du Niger sur des matériaux dont on est certain de l'origine dunaire de par leur disposition sur les glacis.

2.2231 Sols des sommets de toposéquences (synthèse)
.....

Horizon A.1

Epaisseur : 9-18 cm
couleur : brun rougeâtre (7,5 YR 5/4 ou 5 YR 4/3)
texture : très sableuse
structure : débit régulier ou légèrement mamelonné;
minimum de porosité

Horizon A.2

Epaisseur : 15-22 cm
couleur : brun rougeâtre (5 YR 4/4)
texture : sableuse
structure : débit très mamelonné; des volumes durcis;
cohésion moyenne à forte; porosité semi-
tubulaire bien développée

Horizon AB

Occasionnel; épais de 10 cm; rouge-jaune (5 YR 5/7);
moins sableux que l'horizon A.2 mais structure voisine.

Horizons B.2

Epaisseur : plus de 200 cm
cote du sommet : 45 cm
couleur : rouge 2,5 YR 4-4,5/8; homogène entre 45
et 200 cm
texture : sableuse, parfois sablo-argileuse en pro-
fondeur
structure : massive à débit mamelonné devenant très
progressivement régulier vers la base;
porosité intersticielle

2.2232 Sols de la partie moyenne des toposéquences

Site de Karekopto (NJ 28)

Lat. : 12° 36' 30" N.
Long. : 2° 40' 40" E.

Mi-pente d'un versant ensablé sur grès Ct.3; jachère :
Combretum, Andropogon gayanus; 780 mm de pluies; pente
de 1,5%

Surface : croûte pluviale grise; terriers de muridés

0-12 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 4,5/4); rejets rou-
ges; très sableux; feuilleté sur 4 cm puis
A.1 débit aisé "nuciforme"; cohésion faible à
moyenne; porosité intergranulaire bien dé-
veloppée

Contraste très faible; transition de 3cm.

12-35 cm : brun-rouge (5 YR 4/4); sableux; débit légè-
rement mamelonné; cohésion moyenne à faible;
A.2 porosité intergranulaire et tubulaire, rela-
tivement grossière; des volumes compacts

Contraste moyen.

35-76 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); sableux; terriers
emplis du matériel brun de A.1; débit plus
B.21 large, mamelonné; des volumes plus cohé-
rents et rougis; cohésion moyenne; porosité
plus fine

76-180 cm : très progressivement la couleur passe au
jaune-rouge (5 YR 5/8) à la base; la textu-
re est sableuse, le taux maximum d'argile
B.22 se situant vers 95 cm puis décroissant très
lentement; le débit est parfaitement régu-
135 cm BC lier à partir de 135 cm (C de structure);
cohésion moyenne à faible; porosité purement
intergranulaire à partir de 135 cm

Sondage,
400 cm : jusqu'à cette profondeur on observe le ma-
tériel BC.

Enracinement : chevelu fin, très dense et divergent
jusqu'à 12 cm, vertical et abondant
jusqu'à 76 cm; quelques radicules à 180
cm

Synthèse morphologique

Horizon A.1 de 12-18 cm; gris-brun (10 YR 4,5/2) brun-jaune (10 YR 4/4) beige (7,5 YR 4,5/2) brun-rougeâtre (7,5 YR 4,5/2); très sableux; structure dépendant de l'enracinement; souvent très tassé

Horizon A.2 de 16-23 cm; brun-rouge (5 YR 4/5 et 5/6-8); sableux; débit mamelonné à polyédrique; très poreux

Horizon B.21 de couleur et structure entre 60/76 et 125/135 cm; rouge-jaune (5 YR 5/6-8); moins sableux; débit plus irrégulier avec volumes plus rougis et agrégés

Horizons B.22 et BC : après un léger maximum de texture, la structure se stabilise alors que la couleur décroît très progressivement à grande profondeur

2.2233 Sols de la base des toposéquences

Site de Samberra (NK 12)

Lat. : 12° 20' 50" N.
Long. : 3° 03' 10" E.
Cote : 178 m

Base de glacis ensablé; modelé ondulé; profil sur une légère éminence; savane boisée à Bombax; 820 mm.

Surface : plane et lisse

0-23 cm : gris-beige (10 YR 5/3) plus foncé de 0 à 5 cm;
A.1 : sableux; débit peu mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité intersticielle très développée

Contraste fort; transition de 5 cm

23-45 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 7/4); moins sableux;
A.2 : débit très mamelonné (3 cm); cohésion moyenne à forte; des volumes durcis; porosité semi-tubulaire, très fine et forte; dur

Contraste moyen

45-100 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/6); moins sableux;
B.21 débit plus irrégulier et cohésion forte;
porosité plus fine; dur

Contraste très faible; transition de
25 cm

100-155 cm : couleur intermédiaire; presque sablo-argi-
leux; débit plus régulier, finement mamelon-
né; cohésion moyenne à forte; des volumes
B.22 t durcis; porosité intersticielle; dur

155-205 cm : jaune (10 YR 7/6); plus sableux; tous les
30 cm, concrétions (2-10 mm) mamelonnées
BC.(g) cn brun-rouge à centre noir; débit très régu-
lier; cohésion moyenne à faible

Enracinement : chevelu dense de 0 à 23 cm; racines hori-
zontales de 0 à 45 cm

2.2234 Comparaison avec les sols de la zone moyenne

Elle fait apparaître une évolution plus poussée des parties hautes et moyennes de la toposéquence méridionale où les épipédons sont plus épais (de 20 cm dans les profils 5 YR) plus foncés, les valeurs 2 et 3 du chromatisme y étant plus fréquentes ou leur étant spécifiques. L'horizon B structural des cotes moyennes est près de posséder des agrégats polyédriques. Le contraste entre l'épipédon et les horizons B est plus net grâce à une individualisation plus poussée de l'horizon A₂ dont la texture s'éloigne davantage de celle de l'horizon sous-jacent.

2.2235 Données analytiques

Elles diffèrent de celles des toposéquences de la zone moyenne essentiellement par des taux de matière organique et des rapports C/N plus élevés. Les taux et les répartitions du plasma minéral sont les mêmes, ainsi que la désaturation, la pauvreté en bases, singulièrement en calcium. Des pH élevés en surface ont été attribués à l'existence d'un brûlis au moment du prélèvement (NJ 28). Les réserves en eau à PF 3 ont été évaluées à 55-65 mm pour le premier mètre et à 70-120 mm pour le second.

2.224 Les toposéquences dans la zone nord (moins de 400 mm)

Site de Mogodyougou (NL 7 et 8)

Haut de pente : NL 7

Lat. : 14° 44' 0" N.
Long. : 2° 22' 40" E.
Cote : 308 m

Steppe arbustive : Commiphora, Ctenium; 375 mm

Surface : croûte pluviale grise et sables particulières
brun-rouge

O-12 cm : brun (7,5 YR 5,5/5); très sableux; massif,
A.1 découpé en motte sur les 5 premiers centimètres puis débit régulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire moyennement développée; chevelu abondant

Contraste moyen à faible; transition de
3 cm

12-27 cm ; brun-rouge (5 YR 5,5/6); très sableux; débit
A.2 légèrement irrégulier; cohésion plus forte; porosité de même type plus grossière et développée

Contraste fort; transition sur 7 cm

27-95 cm : rouge-jaune (5 à 2,5 YR 5/8); raies de 3 mm,
B.21 à 30-45-60-80 cm, homochromes, légèrement durcies; sableux; débit très irrégulier; cohésion moyenne à forte; nombreux volumes à cohésion très forte, plus compacts et argileux; porosité intergranulaire bien développée, semi-tubulaire dans les volumes durcis; quelques radicelles

Contraste très faible; transition peu sensible

95-200 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); même texture; débit
B.22 régulier; cohésion faible; porosité interstitielle; quelques radicelles

Bas de pente : NL 8

Au 1/3 inférieur du même versant; même végétation

Surface : croûte pluviale grise et couche de 3 mm de sables

- particulaires beiges; des rejets rougeâtres
- 0-15 cm : brun (7,5 à 10 YR 5,5/5); très sableux; débit
A.1 régulier; cohésion moyenne; porosité inter-
granulaire moyennement développée
- 15-30 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 5,5/5); sableux; débit
B.A2 irrégulier; cohésion moyenne à forte; des
volumes plus cohérents; porosité plus gros-
sière
- Contraste moyen; transition de 8 cm
- 30-80 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5,5/6); raies plus rou-
B.t ges; à peine plus argileux; débit plus régu-
lier; cohésion moyenne à faible; porosité
plus fine
- 80-190 cm : transition très graduelle de tous les carac-
B.C tères vers ceux de l'horizon suivant
- 190-220 cm: jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8); très sableux;
C débit régulier; cohésion faible; porosité
intergranulaire très fine; est presque par-
ticulaire

Le faciès subaride, brun-rouge, de ces deux sols est uni-
quement dû à la diminution des cotes des deux horizons
de l'épipédon. Alors que le site, uniquement pâturé, est
en bon état de conservation, ces dimensions se situent
au niveau ou au dessous des limites inférieures notées
dans la zone moyenne. Les teintes moins foncées en moyen-
ne de 0,5 unité de valeur sont également un indice de mo-
dification subaride. Les horizons B restent les mêmes.
L'absence de concrétionnement en bas de pente est un fait
purement local, le site se situant en tête de bassin.

Données analytiques

Les taux de matière organique et les C/N se situent
nettement en dessous des limites de variation de ces quan-
tités dans les toposéquences méridionales et moyennes.
Le pH de l'horizon A.1 du profil sommital est un peu plus
élevé. Les autres caractéristiques, notamment celles des
horizons B, sont similaires.

2.225

Conclusions

Les caractères de ces sols sont les éléments les moins

variables des profils de texture, structure et couleur de la famille 2.

Le profil le plus constant est celui de la structure qui comprend trois groupes d'horizons :

- un sommet de sables particulaires dont le réarrangement sous l'effet direct du brassage mécanique ou d'adhérence aux racines crée des structures feuilletées, nuciformes
- une zone où la distribution hétérogène du plasma crée des volumes plus cohérents et compacts, aux limites indéfinies mais déformant le débit. Une forte porosité d'origine biologique se développe au contact des sables du sommet. L'humidité supérieure qu'elle révèle est encore décelée par la localisation préférentielle des raies à ce niveau. Elle est attribuée au freinage de l'écoulement dans les sols où existe un profil textural non homogène
- une couche profonde où par degrés insensibles réapparaît la structure uniforme et vraisemblablement particulaire du matériau

Les profils texturaux montrent toujours une chute importante des taux de fines en surface puis des variations plus progressives dont la majorité n'est guère interprétable que par le lessivage et l'illuviation. Il en va de même des répartitions du fer, à un décalage près.

Les variations de couleur sont de plus en plus graduelles vers la base et font apparaître un horizon B entre un épipédon plus gris ou brun et une base moins rouge ou plus claire. Elles ne sont pas interprétables par les seules données analytiques, surtout prises isolément : les variations des taux de matière organique sont beaucoup plus progressives que ne le laissent apparaître les transitions morphologiques entre les horizons A et B; l'horizon le plus coloré n'est pas nécessairement le plus riche en fer. Elles sont le résultat d'une superposition de caractères, certains qualitatifs et non mesurés tels l'état physique et la distribution relative des constituants.

La diversité des profils, au niveau de la Série, fait apparaître que ces successions ont quelque indépendance les unes par rapport aux autres. Il n'y a que l'horizon A.1 pour réunir la même combinaison d'une texture très sableuse, d'une structure particulaire, d'une couleur

grise ou brune. L'horizon A.2 participe variablement aux deux premières zones structurales, sa texture et sa couleur approchant de façon inconstante celle de l'horizon A.1 ou celle du B sous-jacent. Si l'horizon B de structure coïncide assez souvent avec l'horizon B de couleur, il arrive fréquemment que l'horizon B de texture soit plus profond.

Dans la toposéquence, seul le profil de couleur est systématiquement modifié. Ce sont les sols les mieux drainés, sommitaux, qui tendent à s'éloigner le plus de la morphologie classique de sol lessivé par leur horizon B très épais et uniforme, alors que les sols de la partie moyenne s'en rapprochent le plus grâce à des horizons A.2 franchement éluviaux et à des horizons B simultanément de couleur, texture et structure. La nappe située en bas de pente est apparemment le seul lien entre quelques termes de la toposéquence; outre des concrétions, on lui doit un enrichissement en calcium et plus douteusement un départ sélectif du fer.

La stabilité des horizons B en latitude est très grande; à peine si la partie supérieure des horizons B apparaît mieux structurée au sud (cf. NJ 28) à texture égale. Encore cette différence est-elle peut-être de même nature que la transformation progressive des épipédons sous l'effet du gradient pluviométrique actuel. Cette dernière est minimum dans cette sous-famille qui doit probablement cette propriété à la nature kaolinique et désaturée de son plasma minéral.

2.226

Un ensemble analogue : la Série de Dan Gona

Elle se situe sur les glacis ensablés de la région comprise entre Illela et Birni-N'Konni, au Niger central, entre 450 et 600 mm de pluies. Ils divergent de buttes témoins du Ct.3 et s'étendent en partie sur les grès plus argileux et imperméables du Ct.2. Ils portent des cultures de mil et d'arachide et des jachères banales à Combretum glutinosum et Guiera. Le profil moyen qui définit la Série est comparable au sol à horizon B 5 YR des toposéquences des vallées du Niger moyen. Il ne diffère que par des taux de fines plus régulièrement élevés et un durcissement de la base du profil attribuable à l'imperméabilité plus grande du substrat :

profil et données analytiques moyennes (résumé)

- 0-18 cm : gris (10 YR 5/3); très sableux; débit
 A.1 régulier; cohésion moyenne
 M = 0,21 A+L = 4,3 Fl = 0,6 S = 0,7 pH = 5,3
 C/N = 11,5 Fl/Ft = 76 V = 61 Ca/Mg=1,3
- 18-43 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 5/4); raies; sa-
 A.2 bleux; débit mamelonné; cohésion moyenne
 à forte; plus poreux
- 43-97 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/6); raies; sableux;
 B.21 débit plus mamelonné; cohésion plus for-
 te; porosité encore élevée
 A+L = 13,0 Fl = 0,87 M = 0,16 S = 0,63 pH = 4,9
 Fl/Ft = 84 V = 48
- 97-160 cm : légèrement moins rouge; pas de raies;
 cohésion moins forte
- 160-180 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); sableux, taux
 d'argile maximum; débit irrégulier; cohé-
 B.22t sion forte; volumes compacts (3 cm) à
 cohésion excessive; nettement moins po-
 reux
 A+L = 14,8 Fl = 0,76 M = 0,12 S = 0,67 pH = 4,9
 Fl/Ft = 67 V = 59 Ca/Mg = 0,9

2.23 Les toposéquences ne
 contenant que des sols bien
 drainés et rubéfiés

2.231 Série des dunes des plateaux du Moyen Niger

Les plateaux de la surface supérieure ont été par-
 tiellement recouverts de sables éoliens soufflés hors
 des vallées. Ce manteau se localise de préférence sur
 le côté est des tables, où il peut se réduire à un
 bourrelet prolongeant la couverture des versants. Ha-
 bituellement, il se dispose en bandes orientées d'est
 en ouest à modelé superficiel ondulé (+ 3 m) ou en-
 core très aplani avec des traces évidentes d'un fort
 ruissellement, les sols étant alors plus minces et ar-
 gileux. Il reçoit de 400 à 725 mm de pluies. Bien que

les cultures y soient très rares la végétation y est peu vigoureuse. C'est une savane arbustive où dominent *Combretum nigricans* et *Combretum glutinosum*, à tapis prairial sahelo-soudanais de *Ctenium* et *Loudetia*.

Les sols y sont strictement semblables aux profils sommitaux des toposéquences des vallées :

site de Bani Kosseye (NK 46)

Lat. : 13° 42' 40" N.
 Long. : 2° 45' 30" E.
 Cote : 248 m

Modelé ondulé; 550 mm de pluies

Surface : rejets brun-jaune

0-16 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/4); reticulum rougeâtre;
 A.1 très sableux; débit régulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire

A = 2,0 Fl = 0,38 M = 0,25 S = 1,06 pH = 6,1
 L = 2,0 Fl/Ft = 633 C/N = 11,7 V = 73 Ca = 0,44

16-33 cm : brun-rouge (5 YR 5/6); sableux; débit finement mamelonné; cohésion moyenne; porosité intergranulaire et tubulaire (0,25 mm)

A.2
 A = 5,5 Fl = 0,58 M = 0,20 S = 0,61 pH = 4,9
 L = 1,0 Fl/Ft = 69 C/N = 15 V = 42 Ca = 0,15

33-90 cm : rouge (2,5 YR 4/7); sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne; volumes durcis; porosité plus grossière et développée; semi-tubulaire

A.B ou B.1
 A = 6,0 Fl = 0,64 M = 0,17 S = 0,57 pH = 4,9
 L = 3,0 Fl/Ft = 67 C/N = 11,6 V = 41 Ca = 0,13

90-145 cm : plus rouge (2,5 YR 5/8); le moins sableux; débit plus régulier; cohésion moyenne à faible; porosité plus fine et réduite

B.2t
 A = 9,6 Fl = 0,70 M = 0,15 S = 0,60 pH = 4,8
 L = 1,5 Fl/Ft = 66 C/N = 12,9 V = 33 Ca = 0,16

145-200 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/8); sableux; débit régulier; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire

B.C
 A = 7,0 Fl = 0,60 M = 0,12 S = 0,49 pH = 4,6
 L = 1,0 Fl/Ft = 68 C/N = 16 V = 30 Ca = 0,13

Les variations ne portent guère que sur les cotes de

l'épipédon qui fluctuent entre 14 et 28 cm pour l'épaisseur de l'horizon A.1, entre 15 et 21 cm pour celle de l'horizon A.2, entre 30 et 90 cm pour l'épaisseur de l'ensemble. Le débit et la porosité du matériau sont atteints entre 110 et 165 cm, alors que la couleur passe de 2,5 à 5 YR qu'entre 140 et 200 cm. Ce large débordement de la zone très rubéfiée au delà des horizons B de structure est caractéristique des sols des sommets de toposéquence. Il est donc très vraisemblable que les dunes de plateau connaissent un très fort drainage qui, combiné à la pauvreté chimique ici spécialement nette, provoque le rauhgrissement de la végétation. Ce résultat ne pouvait être obtenu de la simple observation des données topographiques. Les sols de la surface supérieure, évoluant sur une faible épaisseur de matériel meuble, montrent en effet que cette dernière peut n'être pas perméable.

2.232

Les sols des glacis gréseux ceinturant la Korama (Bandé)

Etablis sur des grès attribués au Ct.3, ils prennent figure de plateaux parce que très peu pentus et assez abruptement entaillés par cette extrémité occidentale de la cuvette tchadienne qu'est le bassin de la Korama. La couverture sableuse est très régulièrement aplanie et repose, à une profondeur modérée, sur le substrat gréseux ou cuirassé lui-même fortement raboté et émietté en reg de dissociation. Il n'y a pas de nappe phréatique dans ce recouvrement, celle-là circulant dans les grès et y étant fortement abaissée en bordure des "plateaux" par des lignes de sourcins débitant dans les sables de la cuvette tchadienne. La pluviosité est de 575 à 620 mm. Cette formation est entièrement cultivée, surtout en arachide. Les jachères, à Bauhinia, montrent des restes de savanes à Parkia, Butyrospermum, Prosopis, avec tapis herbacé à Andropogon gayanus.

Site de Kafin Baka (NA 59)

Lat. : 13° 14' 55" N.
 Long. : 8° 35' 30" E.
 Cote : 460 m

Plaine sableuse; savane arborée dégradée à Butyrospermum, ici à leur limite nord; 620 mm.

Surface : 5 cm de sables jaunes particuliers

0-27 cm : brun rougeâtre (5 YR 4,5/4); très sableux; débit

- A.1 irrégulier; cohésion moyenne; porosité tubulaire fine moyennement développée; fin chevelu
 A = 1,6 Fl = 0,33 M = 0,26 S = 1,67 pH = 6,6
 L = 0 Fl/Ft = 66,3 C/N = 10,0 V = 100 Ca = 1,21
- 27-54 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4,5/6); très sableux; débit plus irrégulier, porosité plus forte et grossière; quelques radicelles
 A.2
 A = 3,5 Fl = 0,56 M = 0,23 S = 1,90 pH = 6,3
 L = 1,0 Fl/Ft = 74,2 C/N = 11,9 V = 100 Ca = 1,37
- 54-120 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); moins sableux; débit plus régulier; cohésion moyenne; porosité réduite
 B.21
 A = 6,5 Fl = 0,62 S = 1,54 pH = 6,3
 L = 0,5 Fl/Ft = 80,1 V = 96 Ca = 0,99
- 120-170 cm : rouge (2,5 YR 5/8); même texture; même structure avec volumes durcis
 B.22
- 11.R : 170 : surface horizontale et plane; cuirasse noduleuse et feuilletée; au sommet vernis noir, en profondeur revêtement jaune ferrugineux; passe latéralement à une couche de 20 cm de fragments de grès ferritisés et de gravillons ferrugineux à vernis ou revêtement, parallèlement orientés entre eux et à la surface d'érosion du grès sous-jacent (reg de dissociation avec vernis "désertique" et traces postérieures de circulation de solutions ferrugineuses)

La granulométrie des sables, assez particulière, est voisine de celle des sables de la cuvette (Annexe IV, p. 35). Comme dans cette dernière, mais à un moindre degré, on note un développement structural très médiocre et des textures très sableuses. Mais, par opposition à ce qu'il est dans la cuvette, le type d'évolution est encore celui des sols de la génération S.1. L'excellence du drainage est vraisemblablement imputable aux grès eux-mêmes, au contact desquels on n'observe jamais d'engorgement, parfois des traces d'une forte activité de la faune, souvent une rubéfaction plus accentuée du sol. Le solum a l'épaisseur de la couche sableuse, dont l'épaisseur atteint au plus 3 m (Bandé). Il ne varie que très localement en types légèrement moins bien drainés, plus argileux et mieux structurés, à raies (NA 57 Bakoraoui, résumé) :

- 0-42 cm : brun (7,5 YR 4/2); sableux (A = 7%); débit
A polyédrique; cohésion moyenne; porosité tubu-
laire
- 42-70 cm : brun-ocre (7,5 YR 4/5); sableux (A = 7%); dé-
A.B bit irrégulier; cohésion moyenne; porosité
plus fine
- 70-140 cm : rouge-jaune (5 YR 5/5); raies (3 mm) rouges;
moins sableux (A = 11%); débit polyédrique
B.t (4 cm); volumes compacts; même porosité, tu-
bulaire et intergranulaire

Les taux de matière organique sont relativement bons pour la pluviosité et la fréquence des cultures (M = 0,25-0,40 en A.1). La répartition du plasma minéral est de type lessivé profond, plus rarement de type lessivé normal, le rapport des taux B/C étant alors de l'ordre de 2. Le complexe absorbant a la remarquable propriété d'être saturé ou près d'être saturé, le coefficient, minimum au contact des grès, ne s'abaissant guère au dessous de 80%. La somme des bases échangeables décroît ainsi bien moins vite vers la profondeur qu'elle ne le fait habituellement sur la couverture sableuse des grès continentaux lorsque cette dernière est désaturée. L'équilibre des cations n'est pas non plus celui des grès; peu variable dans le profil, il donne Ca et Na comme dominants :

Ce = 62,5 Mg = 20 K = 2,0 Na = 5,5 S T-S = 10 (% de T)

La capacité d'échange, faible (20 méq/100 g d'argile en B.2) est cependant encore très proche de celle d'un matériel kaolinique. Les pH sont modérément acides, entre 5,7 et 6,5, les maxima en A.1. La proximité immédiate de zones de concentrations salines, à l'est de celles de la Korama et à l'ouest de celles du Goulbi de Guezaoua, est la cause plus ou moins directe de ces remarquables propriétés qui sont à la base de la valeur agronomique de ce terroir : le calcium domine en effet dans les poudres éoliennes qui chutent en bordure des bassins salés ainsi que dans les matériaux qui ont subi un épisode halomorphe. Il faut aussi remarquer qu'il n'y a pas de relation directe entre la réaction du sol et sa morphologie, entre la distribution des bases dans le plasma et la répartition de ce dernier dans le profil.

2.233 La Série de Madaroumfa

Elle s'étend au sud de la province de Maradi, d'est en

ouest, sur près de 100 km. Son matériau recouvre les interfluves formés par les alluvions anciennes à galets. Ses lacunes montrent des Sols Régiques à Faciès Ferrugineux (cf. p. 150) ou des Sols Ferrugineux Peu Lessivés de la famille 3 (cf. p. 351). L'aspect photographique est régulièrement réticulé; le modelé superficiel est ondulé et évoque un ancien essaim d'éléments dunaires ronds ou lenticulaires contigus. Le ravinement est localement très important. La pluviométrie varie de 650 à 700 mm. Les cultures sont très rares; la végétation est ordinairement la savane boisée à *Boswellia* parfois remplacée par une brousse à *Combretum nigricans*. Les profils sont très rouges, très épais, avec un horizon B de structure très marqué :

Horizon A.1

- 14 à 20 cm
- surface très encroûtée; nombreux rejets brun-rouge; termitières
- gris ou beige rosé (7,5 YR 5,5/5 ou 6/5 ou 6/4); stries ou reticulum homochrome
- très sableux
- structure feuilletée sur les 5 premiers centimètres, puis débit régulier à peu mamelonné; cohésion moyenne; porosité intergranulaire moyennement développée

A = 3-6 F1 = 0,45-0,5 M = 0,31-0,35 S = 0,84-1,19
 L = 1,4 F1/Ft = 67-78 C/N = 8-12 V = 58-85
 pH = 5,4-6,3 Ca = 0,31-0,53

Horizon A.2

- 22 à 44 cm
- rougeâtre (5 YR 5/6 et 6/7)
- sableux
- débit mamelonné à polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire bien développée (0,25 mm); quelques pores (1 mm)

A = 4-6 F1 = 0,60-0,77 M = 0,21-0,27 S = 0,5-1,13
 L = 0,5-1 F1/Ft = 75-82 C/N = 7,1-11,5 V = 42-64
 pH = 4,9-5,5 Ca = 0,14-0,2

Horizon B.21 (structure)

- épaisseur de 33 à 35 cm
- sommet à 35-58 cm

- rouge (2,5 YR 4/5-7 et 4,5/6); homogène dans les types les plus sableux et les moins structurés; sinon taches diffuses plus rouges et mouchetures beiges (= cutines de grains décolorées)
- en général près de deux fois plus de fines que dans le A.2
- débit polyédrique ou structure polyédrique en assemblage compact (3 cm); un profil (ND 26) montre même une sous-structure polyédrique très fine (3 mm) se développant entre des volumes compacts de 2 cm; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire encore bien développée

A = 5-9,5 Fl = 0,71-1,24 M = 0,17-0,19 S = 1,0-1,4
 L = 1-8 Fl/Ft = 79-82 C/N = 7,7-8,3 V = 40-64

pH = 5-5,6 Ca = 0,15-0,4

Horizon B.22 (texture, couleur)

- sommet entre 70 et 92 cm
- épaisseur entre 70 et plus de 150 cm
- le maximum des taux d'argile se situe entre 150 et plus de 220 cm
- structure moins différenciée que ci-dessus : débit régulier s'il était polyédrique, sinon accroissement de taille des éléments structuraux à tous leurs niveaux (4 cm et 3 mm) ainsi que des volumes compacts (2 cm); cohésion moyenne à faible; porosité plus fine et réduite
- rouge plus vif (2,5 YR 4/7 et 4,5/8)

A = 7-15 Fl = 1,05-1,2 M = 0,15-0,14 S = 1,3-2,3
 L = 2-3 Fl/Ft = 76-85 C/N = 6-7,5 V = 42-78

pH = 5,3-6,4 Ca = 0,3-1,05

Horizon B.23 ou B.C

Il n'a été observé qu'une fois, à partir de 150 cm. Teinte légèrement plus jaune (5 à 2,5 YR 4/6). Plus sableux (A = 11,7 contre 15). Massif, débit polyédrique; structure polyédrique fine ne subsistant plus que sur quelques faces naturelles isolées, porosité plutôt tubulaire (0,5 mm) et peu développée; aspect d'horizon moins bien drainé; colmaté; marbrures rougeâtres.

Les sols de la Série de Madaroumfa sont plus organiques que ceux des Séries voisines cultivées (Maradi, cf. ci-après). Ils sont très profondément lessivés en fer et en

argile, la zone d'accumulation commune se situant en B.22. Le profil ND 26, très finement structuré, fait exception. L'horizon de concentration maximum du fer se situe au-dessus du B textural et coïncide avec l'apparition d'une microstructure fine, deux caractères absolument singuliers dans la famille 2. C'est un des rares cas au Niger où une concentration ferrugineuse coïncide avec un fort développement pédique :

horizon	A.1	B.21	B.22	B.C
argile (%)	2,8	9,5	15,3	11,7
fer libre (%)	0,47	1,27	1,21	1,18
fer total (%)	0,61	1,61	1,59	1,56

Ici encore les basses capacités d'échange (T/A de 15-20) l'acidité et les taux médiocres en calcium sont hérités du substrat, kaolinique. Une correction apparaît toujours en surface, souvent en profondeur, dans les horizons B.22 ou B.23, de telle sorte que le minimum de la somme des bases échangeables et du taux de calcium se situe dans les horizons A.2 ou B.21. Les équilibres moyens sont (en % de T) :

horizon A.1	Ca = 22	Mg = 30	K = 3,5	Na = 4,5	T-S=40
horizon B.21	8,5	29	1,5	0,6	60,5
horizon B.23	32	25,5	5,3	3,2	34

Les propriétés physiques se situent dans les normes de la famille 2; la stabilité structurale est moyenne; la perméabilité au laboratoire croît de 2 à 5 cm/h de la surface vers la profondeur.

2.234

Les sols des dunes basses des plateaux du sidérolithique

Entre Tahoua et Tsernaoua, les plateaux découpés par les Maggia sont cloisonnés de vastes massifs dunaires longitudinaux (40 x 10 km) orientés d'est en ouest, à modelé superficiel très faiblement ondulé. La pluviosité varie de 375 à 575 mm. Les cultures, très étendues, de mil et d'arachide, n'ont laissé subsister que des friches plus ou moins anciennes à *Combretum glutinosum*, *Bauhinia*, *Guiera*, au sud et à *Commiphora*, *Balanites*, au nord. Les profils ne montrent pas de variations en latitude :

Horizon A.1

- 10 à 12 cm
- brun (7,5 YR 4,5/4)

- sableux
- débit régulier
- cohésion moyenne
- porosité très fine peu à moyennement développée

A + L = 8-10-12 Fl = 1,8-6,2 S = 1,7-1,9-2,0
 Fl/Ft = 81-90 V = 57-71-83

pH = 5,3-5,7-6,2

Horizon A.2 ou A.B

- 13 à 16 cm
- brun-rouge (5 YR 4,5/6)
- sableux (A.2) à sablo-argileux (A.B)
- débit mamelonné
- cohésion moyenne à faible (A.2) moyenne à forte (A.B)
- porosité semi-tubulaire et intergranulaire, plus grossière, bien développée

Horizon B.21 (couleur)

- 22 à 60 cm
- sommet à 25 cm
- rouge-jaune (5 YR 4,5/8)
- sableux à sablo-argileux
- débit régulier; cohésion faible; porosité interstitielle

A + L = 11,5-13,2-16,2 Fl = 1,9-5,9 S = 1,3-1,5-2,0
 Fl/Ft = 81-91 V = 35-53-70

pH = 5,3-5,6-6,0

Horizon B.22 (texture)

- 40 à 50 cm
- sommet entre 50 et 80 cm
- jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6)
- sablo-argileux
- débit régulier; cohésion très faible; porosité intergranulaire

A + L = 13,5-16,8-20,6 Fl = 1,9-4,6 S = 1,13-1,15-1,20
 Fl/Ft = 79-81 V = 33-45-54

Horizon BC

rarement observé, l'horizon B.22 reposant habituellement sur les grès; sables jaunes presque particuliers, à fins débris de grès

Base du profil

à 1,5 m en moyenne; dépasse rarement 2 m; lit de fragments de grès et de cuirasse aplatis, disposés parallèlement à la surface topographique, les éléments les plus petits au sommet (reg de dissociation fossile); il n'y a pas en général de traces d'engorgement; lorsqu'elles existent, des marbrures jaunes apparaissent dans l'horizon B.22 dont le débit est alors polyédrique, l'horizon B.21 de couleur étant lui-même plus sombre.

Si l'on se reporte à la toposéquence type des vallées du Niger moyen, on constate que les profils dont les horizons B sont les moins structurés, au point que c'est l'horizon A.2 qui y est le plus différencié de ce point de vue, se situent au sommet de la toposéquence. Il est donc probable que c'est l'excellence de leur drainage interne qui a conféré ces caractéristiques aux sols dunaires des plateaux du sidérolithique. Comme la pente générale est très faible (0,3%) et qu'il ne correspond aucune toposéquence aux pentes locales, il faut bien que ce soit la perméabilité de l'entablement gréseux lui-même qui assure l'écoulement des eaux percolant au travers d'une épaisseur médiocre de sables. Lorsque ponctuellement, il arrive que le profil brunisse (B 7,5 YR) et acquière une structure plus cimentée en profondeur, des ségrégations au contact des grès montrent que c'est bien le régime hydrique qui est responsable de cette transformation.

Très minces, les épipédons ont incontestablement un faciès brun-rouge qu'il est très étonnant de voir s'étendre si loin au sud. Là, la pluviosité, la topographie, l'utilisation, enfin le profil lui-même dans son ensemble ne diffèrent pas essentiellement de ce qu'ils sont dans la Série de Bandé, aux horizons A près de deux fois plus épais. Le fait que tous les sols de la contrée, sur le plateau et dans les vallées, soient passablement détruits amène à conclure que la cause de cette anomalie est une érosion régionalement accélérée. Les sols éoliens et anthropiques qui recouvrent les dunes E.2 des plateaux suggèrent que dans le passé les populations d'agriculteurs aidèrent à ce rebotage.

Il n'y a que les taux de matière organique à refléter le gradient pluviométrique :

		plus de 400 mm	moins de 400 mm
à 5cm	Mat.organique %	0-19-0,42-0,59	0,1-0,3
	C/N	9,4-10,2-11,3	6-9
à 50cm	Mat.organique	0,15-0,25-0,38	
	C/N	7,5-8,8-9,6	

Les types de répartition de l'argile sont en majorité éluviaux dans les profils de profondeur moyenne et de type lessivé dans les sols profonds. L'abondance des oolithes dans le squelette explique des taux de fer près de deux fois plus élevés que dans les autres Séries rouges où ils sont de l'ordre du dixième de l'argile granulométrique.

La saturation, la somme des bases, le pH croissent de la base du profil vers le sommet. Cette Série est un peu plus riche en cations et moins dépourvue en calcium que les sols du Niger moyen; cette particularité est due au sidérolithique lui-même qui est le niveau le moins pauvre du Continental Terminal.

A.1, sommet :	Ca=34	Mg=28	K=7	Na=2	T-S=29	(% de T)
B.2, base :	29	13	1	2	55	

Comme il est habituel la perméabilité croît vers la profondeur (de 2 à 5 cm/h) ainsi que l'instabilité structurale.

On n'a pu trouver d'énoncé convenable pour caractériser cet ensemble dans la légende cartographique car aucune des classifications possibles, en sols subarides brun-rouge, en sols ferrugineux non lessivés, en sols ferrugineux peu lessivés érodés, ne correspond à une interprétation suffisamment complète. Dans leur ensemble, les sols ont une morphologie de sols ferrugineux peu lessivés, un chimisme de sols kaolinique désaturés, des répartitions plasmiques plus souvent de type "éluvial" que "lessivé", des épipédons amenuisés par une érosion inhabituellement forte et très faiblement modifiée dans leur statut organique en milieu subaride.

2.235

Caractéristiques communes aux Séries rubéfiées bien drainées

C'est tout d'abord la composante rouge qui se situe en

tous horizons au plus haut niveau de la famille : gris et bruns rougeâtres en A.1 (7,5 YR 5-6/5, 7,5 et 5 YR 4,5/4) rouges dans les B (2,5 YR 4,5-5/6 et 4/7, plus rarement 5 YR 4,5/8). Les concentrations et séparations plasmiques telles que stries, raies, taches de toute espèce sont pratiquement absentes. L'épipédon est d'épaisseur normale (30-60 cm) sauf sur le sidérolithique (25 cm) où elle prend des valeurs subarides. Sous l'horizon A.1 à structure invariablement massive ou mécaniquement modifiée, se situe le maximum de structure (entre 40 et 65 cm pour le centre de cette zone, entre 15 et 20 cm sur le Ct.1) qui toujours précède les horizons B de couleur et texture. Il se confond avec l'horizon A.2 ou se place au sommet des horizons B. Le développement pédique y atteint exceptionnellement le niveau polyédrique dans la Série de Madaroumfa; il se limite habituellement au débit mamelonné. La structure des horizons B est près d'être particulière au contact du substrat. Cette absence de cohésion est indépendante de la texture mais corrélée avec une rubéfaction homogène; pour cela on l'attribue à un bon drainage interne. Les taux maxima d'argile se situent profondément, vers 110 cm en moyenne, à plus de 150 et même 200 cm dans la Série de Madaroumfa. Le niveau le plus coloré se place variablement par rapport à ce maximum : au même niveau (Ct.3, Madaroumfa) dessous (Bandé) dessus (Ct.1). Il ne coïncide pas nécessairement avec l'horizon le plus riche en fer (Madaroumfa) mais, lorsque celui-ci varie significativement, correspond aux rapports fer libre/fer total les plus élevés (75-90%). Toutes les Séries rouges sont de par leur origine fort pauvres en bases d'où la croissance vers le sommet des grandeurs corrélées à la saturation (pH, S). L'accroissement du pH à la base du profil est peu fréquent (Madaroumfa) ce qui est normal puisque ailleurs il est provoqué par une nappe, par le ralentissement du drainage. L'équilibre des cations est régionalisé par le substrat ou par la situation par rapport aux grandes zones de concentration saline (Bandé).

Par analogie avec les sols sommitaux des toposéquences des vallées, cette différenciation est attribuée à un excellent drainage dont l'origine n'est évidente que pour les grès de Bandé, à surface perméable et à niveau phréatique abaissé. Ailleurs, ce sont les sols eux-mêmes qui indiquent une telle perméabilité du substrat.

2.24 Les toposéquences ne renferment que des sols rubéfiés à raies

2.241 Les sols des ensablements très aplanis de Maradi

Une auréole à sols rouges de près de 100 km de rayon ceinture vers le nord les interfluves où affleurent les alluvions à galets de Maradi, eux-mêmes partiellement fossilisés par la Série de Madaroumfa. Le substratum en est formé de glacis très fortement aplanis à réseau hydrographique très lâche et inactuel à l'exception du Goulbi de Maradi. Ils s'étendent sur les alluvions anciennes, très superficiellement remaniées, et probablement sur les grès continentaux crétacés en bordure de l'auréole. En dehors de quelques lambeaux de sables argileux (F.3, Kouroungoussa, p.651) ils sont entièrement fossilisés par des sables dunaires dont l'origine locale est attestée davantage par la morphoscopie (Annexe V, p. 63) que par la granulométrie (Annexe IV, p. 32). Le modelé est aplani à l'ouest, dans le bassin du goulbi de Maradi. Il est régulièrement ondulé (+ 3 m, buttes longues de 500 m) dans le bassin du goulbi de Guezaoua; ces ondulations se transforment très progressivement en petites dunes (+ 9 m) vers le nord (région de Tchakyé). Les sols sont étroitement corrélés avec cette topographie. La Série de Maradi, plus argileuse et structurée, occupe les plaines et les interdunes. La Série de Wakasou se situe sur les ondulations. La Série de Maradi est remplacée par celle de Dan Isa, plus lessivée, sur les courts versants des vallées étroites (1 à 2 km) qui entaillent les bas-glacis. Le flat de ces dernières est occupé par des sables analogues à ceux des vallées du Moyen Niger, à sols très décolorés et à raies (S. 3) de la Série de Gayakoli. La pluviosité varie de 500 à 650 mm. Jusqu'à 600 mm s'étendent les restes de savanes arborées à Prosopis, Butyrospermum, avec des îlots à Boswellia. Plus au nord ce sont des savanes arborées à Sclerocarya. Le tapis herbacé, annuel, est à base de Ctenium, de Loudetia, avec apparition de l'Aristida longiflora sur les sols les plus légers des buttes. Près de 60% de la surface de la Série de Maradi est annuellement cultivée, un peu moins pour la Série de Wakasou, un peu plus pour celle de Dan Isa. Cette proportion très forte en agriculture traditionnelle a épuisé ces terres qui restent cependant le secteur arachidier le plus important du Niger central.

2.2411

La Série de Maradi
.....

Site de Kouroungousa (ND 10)

Lat. : 13° 41' 37" N.

Long. : 7° 01' 33" E.

Plaine sableuse; jachère à *Sclerocarya*, *Bauhinia reticulata*, *Loudetia*, *Ctenium*; 600 mm

Surface : croûte pluviale; des rejets jaunes et rouges

0-30 cm : gris-beige (10 YR 6/4) très sableux; massif à débit horizontal plus facile, feuilleté sur les 5 premiers centimètres (Ap); cohésion moyenne à faible; porosité très fine intergranulaire; une raie à la base de l'horizon
A.1

30-47 cm : beige rosé (jaune rougeâtre 7,5 YR 6/4); raies (épaisseur e = 1 cm, espacement d = 9 cm) subhorizontales, flexueuses, brun-rouge, à limite supérieure plus nette et grise, à limite inférieure plus diffuse et rouge; très sableux; débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; très forte porosité intergranulaire et semi-tubulaire (0,5 mm)
A.2

47-80 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/6); raies (e = 2 cm, d = 2 cm); un peu moins sableux; débit polyédrique plus fin; cohésion moyenne à forte; porosité plus grossière
B.1

80-142 cm : rouge (2,5 YR 5,5/8); raies plus fines (e = 1 cm, d = 20 cm) à contraste plus faible (2,5 YR 4/5) et moins continues; sableux; débit polyédrique mais cohésion moyenne, plus homogène; porosité réduite; de petits volumes compacts
B.21

140-189 cm : horizon moins rouge et poreux; même texture; encore des raies (e = 1 cm, d = 15 cm)
B.22

Transition progressive; contraste fort

189-200 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8); un peu plus sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; quelques pores très fins
B.C

Enracinement : chevelu traçant jusqu'à 10 cm; radicelles verticales jusqu'à 80 cm, très rares au dessous jusqu'à 120 cm

Synthèse

Horizon A.1

- 20 à 40 cm
- gris-brun (10 YR 5,5/3) gris-beige (10 YR 6/4, 7,5 YR 5,5/4-5); souvent des stries grises (matière organique ou décoloration) et une apparence de reticulum jaunâtre due à la répartition des sables les plus fins en lits très fins cloisonnant plus ou moins régulièrement la masse
- très sableux (A = 1 à 2)
- souvent feuilleté sur 2 à 5 cm, puis débit régulier, souvent horizontal (effets de la culture) parfois mamelonné; cohésion faible à moyenne; porosité intergranulaire moyenne à forte.

Horizon A.2

- 17 à 28 cm
- beige (7,5 YR 5-6/4) beige rosé (7,5 YR 5,5/6 et 5 YR 5,5/6); également des stries
- raies brun-rouge (e = 0,3-1 cm, d = 9-15 cm)
- très sableux (A = 3-3,5)
- débit mamelonné à polyédrique; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire et semi-tubulaire (0,25-0,5 mm) généralement plus forte qu'en A.1.

Horizon B.1

- 33 à 70 cm
- sommet entre 40 et 65 cm
- rouge jaunâtre (5 YR 5,5/6-8) plus rarement rouge (2,5 YR 5/6)
- raies rouge foncé (e = 0,5-1,5 cm, d = 2-15 cm)
- sableux (A = 3-5%)
- généralement le plus structuré; débit fortement polyédrique (3 cm) plus rarement mamelonné; cohésion très variable, forte à moyenne, souvent plus faible qu'en A.2; porosité soit plus grossière qu'en A.2, soit plus fine et réduite

Horizon B.21

- 52 à 80 cm

- sommet entre 71 et 125 cm
- ordinairement le plus rouge, 2,5 YR et parfois 5 YR 5-5,5/8
- raies rouge plus foncé (e = 0,5-1 cm); elles peuvent être absentes des sols d'interdunes (mieux drainés)
- peut être le plus argileux (A = 7 à 8%)
- débit mamelonné à polyédrique; cohésion moyenne à faible; porosité encore élevée, intergranulaire et semi-tubulaire, souvent réduite

Horizon B.22

- 40 à plus de 65 cm
- sommet entre 125 et 145 cm
- généralement moins rouge (2,5 YR 5-5,5/8 et 5 YR 6/8)
- raies présentes seulement dans les sols de plaines
- texture variable : identique ou légèrement plus argileuse (A = 7-9,5%) parfois déjà plus sableuse (A = 4-6%)
- débit régulier à mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité fine, réduite si l'horizon est relativement argileux.

Horizon B.C

Observé une fois (ND 36) à -180 cm : rouge-jaune (5 YR 6/8) sableux (A = 4%); débit horizontal dû à un reste de litage du matériau dont d'autres traces sont des lits de sables extrêmement fins; cohésion faible; porosité intersticielle..

Données analytiques

La densité des cultures est responsable de taux de matière organique et de rapports C/N peu élevés. Les taux d'argile et de fer croissent jusqu'à des profondeurs comprises entre 100 cm (B.21) et plus de 200 cm (B.22) la répartition la plus commune étant de type lessivé normal. La capacité d'échange est des plus faibles, moins de 2 méq pour 100 g de sol. L'acidité, la désaturation, la déficience relative en calcium sont nettement corrigées en surface, rarement et faiblement en profondeur (B.22).

2.2412 La Série de Dan Isa
.....

Site de Dan Isa (ND 6)

Lat. : 13° 16' 31" N.
Long. : 7° 15' 0" E.
Cote : 394 m

Versant; 1/3 supérieur; jachère sous savane à Prosopis, Sterculia, avec tapis herbacé à Eragrostis: 660 mm

- 0-27 cm : gris-brun (10 YR 6,5/2); très sableux; débit régulier, cohésion moyenne à faible; porosité intersticielle très fine bien développée; nombreuses racines verticales
A.1
- 27-90 cm : beige rosé (5 YR 7/5); raies rouge clair sinueuses (e = 0,2 cm au sommet, 2 cm à la base, d = 10 cm); sableux; débit polyédrique (4 cm) cohésion moyenne à faible, forte pour les raies qui sont légèrement plus argileuses; porosité semi-tubulaire bien développée; racines verticales encore nombreuses
A.2
- 90-133 cm : rouge (2,5 YR 6/8); raies peu contrastées (e = 1 cm) discontinues; nettement plus argileux, restant sableux; débit polyédrique moins aisé; cohésion moyenne; porosité intergranulaire fine, quelques pores (1 mm); quelques radicelles
B.21
- 133-164 cm : rouge (2,5 YR 6/7); volumes légèrement plus rouges; le moins sableux; polyédrique (3 cm) en assemblage compact; cohésion forte à très forte; porosité semi-tubulaire irrégulièrement distribuée, fine (0,25 mm); quelques radicelles
B.22
- 164-174 cm : brun-rouge (5 YR 6/5); remplissages (agrotubules) de galeries bruns; taches noirâtres de matière organique; un peu plus sableux, avec graviers de quartz; massif, débit irrégulier; cohésion très forte; forte porosité d'origine biologique et volumes compacts; zone d'arrêt des grosses racines
B.23
- 174-200 cm : cailloutis de galets de quartz (2-5 cm) plus ferritisés et anguleux que ceux qui forment le squelette des alluvions anciennes; emballage rouge clair, à amas de taches jaunes et rouge vif (1 cm) même texture que ci-dessus,
11.B.r

polyédrique, à porosité semi-tubulaire inégalement développée; des cutines argileuses rouges; ensemble très fortement cohérent

Un épipédon plus épais et sombre, un horizon B.22 plus structuré, une base modifiée par la faune distinguent cette Série de celle de Maradi. Les données analytiques sont semblables. Les raies sont ici de très petits horizons d'accumulation d'argile, de fer, surtout de la forme libre, et de matière organique.

2.2413 La Série de Wakasou
.....

Site de Wakasou (ND 41)

Lat. : 13° 46' 50" N.
Long. : 7° 30' 13" E.
Cote : 410 m

Modelé en buttes (+ 3 m); sommet; savane arborée à Boswellia; recfu à Bauhinia et Guiera; 585 mm

Surface : couche de 5 cm de sables particuliers; fourmilières

0-25 cm : beige (7,5 YR 5,5/4); stries et réseau plus gris et poreux cloisonnant la matrice
A.1 plus jaune et compacte; très sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité intergranulaire plus développée vers la base

Contraste moyen, transition de 4 cm

25-55 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/6); raies brun-rouge (e = 0,3 cm, d = 10 cm); débit mamelonné, cohésion moyenne à forte; porosité plus grossière
A.2

55-105 cm : rouge (2,5 YR 5,5/8); raies (e = 1 cm, d = 5-10 cm) disparaissant à partir du milieu de l'horizon; sableux; débit faiblement mamelonné; porosité fine (0,25 mm) encore bien développée
B.21

Contraste faible, transition diffuse

105-200 cm : légèrement plus rouge jusqu'à 115 cm puis légèrement plus jaune (2,5 YR 6/8); légèrement moins sableux; débit très régulier;
B.22

cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire très fine et réduite

racines : chevelu jusqu'à 20 cm, radicelle jusqu'à 70 cm

Synthèse morphologique

Horizon A.1

- 10 à 25 cm
- brun-jaune (7,5 YR 5,5/4) brun rosé (7,5 YR 6,6/5) rarement brun grisâtre (10 YR 6/3)
- stries grises
- très sableux (A = 1-3,8%)
- débit régulier à légèrement mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire fine moyennement développée
- sommet parfois fossilisé de sables lités (rebdhou)

Horizon A.2

- 20 à 33 cm
- jaune rougeâtre (5 YR 5-6/6); stries gris-rouge; raies fines (e = 0,1-0,3 cm, d = 5-10 cm) procédant des premières vers la base de l'horizon
- débit mamelonné; cohésion plus forte que ci-dessus, moyenne à forte; porosité égale ou supérieure, intergranulaire, parfois semi-tubulaire

Horizon B.21

- 36 à 57 cm
- sommet entre 30 et 55 cm
- rouge (2,5 YR 5-6/8) ou rouge-jaune (5 YR 5/6)
- le plus souvent raies (e = 0,5-1 cm, d = 5-10 cm) sinon stries, les raies se situant alors uniquement en A.2
- sableux (A = 4-6%)
- débit variable, régulier ou mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité plus fine et moins développée qu'en A.2, restant élevée

Horizon B.22

- deux mesures seulement : 98 et 100 cm
- sommet entre 80 et 105 cm
- souvent le plus rouge : 2,5 YR 6/8 et 5 YR 5,5/8, rarement un peu plus foncé : 2,5 YR 4,5/8

- parfois des stries homochromes rouges; très rarement des raies également homochromes (e = 0,25 cm, d = 15 cm)
- débit régulier; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire très fine et réduite
- même texture qu'en B.21 ou taux de fines très légèrement plus élevés (A = 4-6,2)

Horizon B.23 ou B.C

Observé une seule fois (ND 46) dans le modelé septentrional plus ample; cote -185 cm; rouge-jaune (5 YR 5,5/8) le B.22 étant rouge (2,5 YR 6/8); même texture (A + L = 4,8%) mais moins ferrugineux (Fl = 0,37% contre 0,53%); débit régulier; porosité intergranulaire; cohésion moyenne à faible

La Série de Wakasou se sépare donc de celle de Maradi par des épipédons plus colorés, la teinte diminuant de 2,5 YR en moyenne, et plus clairs, la valeur augmentant de 0,5 environ. Cet ensemble est également moins épais, non seulement parce que la somme de A.1 et A.2 est plus mince de 10 cm, mais parce que l'horizon intermédiaire B.1 fait défaut. Ainsi le centre de l'horizon le plus structuré se situe vers 35 cm au lieu de 70 cm. La structure est elle-même moins développée, puisque le débit n'atteint pas le niveau polyédrique, ce qui s'accompagne de taux de fines un peu plus faibles. Les horizons B se ressemblent davantage, sauf qu'ici les raies se limitent au sous-horizon B.21, voire à l'horizon A.2, et qu'elles sont plus fines. Ces accumulations illuviales laminaires diminuent en importance et en nombre des plaines aux interdunes, de ces dernières aux buttes (+ 3m) des buttes aux petites dunes (+ 9 m) où elles n'existent plus que dans l'horizon A.2; leur formation admet donc une limite supérieure du drainage interne.

La Série de Wakasou met en évidence que la différence d'évolution pédologique qui sépare les sols des dunes E.1 et E.2 n'est pas réductible à la texture, à la topographie, à la végétation. Ses représentants septentrionaux (ND 46) se sont formés sur des dénivellées comparables, portent la même prairie à *Aristida longiflora*, ont enfin des taux d'argile voisins (2,8 à 4,5% contre 1 à 4,5%) de ceux des sols des grandes rides transversales situées à la même latitude (ND 31 Guezaoua et ND 55 Taguiriss). Or ces derniers ont des profils différents :

- la succession est plus simple : A-AB-B-BC-C ou A-B-BC-C
- le matériau est atteint entre 120 et 160 cm
- la structure reste pratiquement particulière; le débit est au plus légèrement mamelonné en B; les couleurs et des nuances subtiles de la porosité font les différences
- il existe un horizon B d'argile et de fer mais la mobilité plasmique n'entraîne pas la formation de raies dans les sols du relief dunaire
- la rubéfaction est nettement centrée sur l'horizon B lui-même moins coloré que dans les dunes E.1 : 5 YR 4,5/8 et 7,5 YR 5/6

Données analytiques

Les taux de matière organique et les rapports C/N sont souvent plus faibles que dans la Série de Maradi. Les taux d'argile sont moindres dans les horizons B; leurs variations sont plus petites et par là leur répartition est plus proche du type éluvial. Habituellement, les fines croissent par très petites quantités jusqu'à la base. Plus rarement ils diminuent dans un horizon BC dont la texture est la même que dans la Série de Maradi. Par rapport à cette dernière, les taux du fer sont moins diminués que ceux de l'argile. Leur répartition est de type lessivé profond. La Série se rapproche donc du concept idéal des "Sols Ferrugineux Non Lessivés en argile et Lessivés en fer". Mais ces deux constituants se déplacent également dans le profil car ils se concentrent, avec de la matière organique, dans les raies, toujours plus riches que la matrice enrobante. Les capacités d'échange sont abaissées mais la somme des bases échangeables est légèrement plus élevée grâce à une saturation supérieure en moyenne, surtout dans les horizons profonds. Mais le sens de variation de ces grandeurs, ainsi que celui du pH et de l'équilibre des cations, est inchangé :

		Wakasou		Maradi	
		Surface	Profondeur	Surface	Profondeur
en % de T; valeurs moyennes	Ca	36,5	17	41	14,5
	Mg	36,5	41	27	29,5
	K	3,5	2,5	1,25	1,5
	Na	1,5	2,5	0,75	0,5
	(T-S)	22	37	30	54

Les taux de fines sont suffisants pour que l'instabilité structurale et la perméabilité croissent vers la profondeur (cf. p. 69E).

La plus grande pauvreté en plasma et la moindre désaturation des sols sommitaux apparaissent dans la succession de couples de profils ci-dessous, les deux éléments desquels se situent l'un (Wakasou) au tiers supérieur de pente, l'autre (Maradi) dans le fond :

Site		Gidan Tchadou 615		Wakasou 565		Wakasou 565		Tchakye 525	
Pluviosité (mm)									
Dénivellée (m)		3		3		3		7	
Série		Wakasou Maradi		Wakasou Maradi		Wakasou Maradi		Wakasou Maradi	
Argile %	A.1	3,8	2,5	2,5	1,3	1,0	1,0	3,0	1,5
	B.22	4,5	9,7	6,0	7,8	4,0	7,0	3,0	7,1
Fer libre%	A.1	0,34	0,38	0,32	0,30	0,33	0,30	0,37	0,28
	B.22	0,56	0,69	0,53	0,46	0,68	0,53	0,53	0,69
Fer total%	A.1	0,50	0,55	0,53	0,43	0,46	0,48	0,46	0,55
	B.22	0,67	0,99	0,70	0,65	0,70	0,72	0,65	0,96
Mat.org.% C/N	A.1	0,16	0,19	0,21	0,31	0,29	0,36	0,21	0,22
	A.1	6,8	10,9	10,9	13,8	14,2	7,8	7,5	8,7
pH eau	A.1	6,1	6,0	5,7	5,8	6,0	5,8	6,4	6,2
	B.22	5,3	5,0	4,6	5,1	5,2	5,0	5,6	5,1
Saturation %	A.1	89	100	77	76	78	85	71	100
	B.22	60	43	45	33	53	59	54	55
Somme des bases	A.1	1,16	1,03	0,92	0,91	0,94	0,81	1,14	1,24
	B.22	1,27	0,73	0,75	0,58	0,84	0,83	1,30	1,16

2.2414 Conclusions

L'originalité de la Série de Maradi par rapport aux sols de la toposéquence-type du Niger moyen est la réunion d'un épipédon très décoloré (10 YR) épais et diversifié, avec des horizons B encore très rubéfiés (2,5 et 5 YR). Nous la mettons en parallèle avec les profils médians, à horizon B 5 YR, où s'amorçait une meilleure individualisation du sommet des horizons B, achevés dans la Série de Maradi par la formation d'un niveau particulier,

bien structuré, l'horizon B.1. L'organisation de la Série de Wakasou est par contre plus évidemment proche de celle des types sommitaux. Comme la constitution des matériaux est la même (cf. tableau) il faut que la diminution du drainage interne, dont les raies sont une autre manifestation, ait une cause externe, la plus apparente étant une topographie fossile moins déclive.

La Série de Maradi est plus lessivée que celle de Wakasou : les contrastes texturaux sont plus importants, les horizons A sont plus épais, les raies plus abondantes expriment une mobilité plasmique supérieure. On a pu vérifier dans quelques cas que le matériau n'était pas en cause dans cette différence. Une évolution en chaîne est également douteuse, puisque les caractères de la Série de Maradi sont indépendants de l'amplitude du modelé, comparables aussi bien dans les plaines que dans les interdunes. Le site, le drainage local sont donc les facteurs les plus généraux responsables de cette divergence. Mais les sables des plaines passent continûment aux sables argileux de la famille 3 identiquement différenciés, alors que la texture des sols de Wakasou les expose aux mêmes remaniements éoliens qui limitent périodiquement l'évolution de la famille 1. Aux limites de cet ensemble, la nature du matériau, ou la sensibilité du sol à l'érosion éolienne, autrement dit la part plus ou moins grande du vent dans la mise en place du matériau ou dans la vie du sol, ont accentué l'écart créé par l'évolution pédogénétique entre sites élevés et sites bas.

Puisque la Série de Madaroumfa, située en tête de bassin, n'a que des caractères de sols très bien drainés sur une topographie locale comparable, on admet que le drainage général, par des voies indéterminées, influe sur le drainage de chaque site du paysage. Ainsi les raies ont-elles pu se former en tous points de la couverture sableuse située sur l'aval presque aréique du bassin.

2.242

Les sols à faciès brun-rouge de la région de Dakoro

Dans l'angle formé par les escarpements de l'Ader Douchi et par le Goulbi de Tarka, des sols dunaires rouges ont pour substrat des bas glacis établis sur des grès du Crétacé supérieur, appartenant à l'est au groupe du Tegama, à l'ouest au Turinien dont une partie est constituée de sédiments marins. Les pentes sont faibles mais l'entaille du goulbi et de ses affluents est abrupte et profonde. La couverture sableuse est généralement trop mince pour masquer la topographie fossile. Des plaines et des ondulations réticulées

basses (moins de 9 m d'amplitude) y portent la Série de Dan Makao. Des cordons plus élevés, orientés vers le sud-ouest, les divisent; leurs sols définissent la Série de Dakoro. Près des vallées, à proximité des reliefs, apparaissent des formes E.2 encore plus amples, bourrelets, cordons, petits ergs de rides transversales. La pluviométrie est comprise entre 350 et 400 mm. La végétation se réduit à des steppes arbustives à *Commiphora* et gommiers, mêlés de *Sclerocarya* et de *Combretum glutinosum* dont c'est là une station des plus septentrionales. Les arbustes se concentrent dans les fonds. L'*Aristida longiflora* apparaît souvent sur les crêtes dunaires dans le tapis prairial, à base d'*Aristida mutabilis*, de *Cenchrus* et d'espèces plus soudanaises (*Ctenium*, *Heteropogon*). Il n'y a de cultures qu'autour des gros centres, comme Dakoro, ou en bordure des vallées. Les sols les moins sableux de la Série de Dan Makao sont délaissés, alors que l'on commence à cultiver quelques bourrelets E.2. Les jachères, parsemées de quelques *Callotropis*, ont très mauvais aspect et sont près d'être nues du fait de l'érosion superficielle par le ruissellement et par le vent de saison sèche. Les pâturages sont l'utilisation la plus fréquente du terroir.

2.2421

Série de Dan Makao
.....

Site de Dakoro

Lat. : 14° 32' 16" N.
Long. : 6° 45' 53" E.
Cotes : 420 (NE 34)
 414 (NE 35)

Glacis à faible pente ensablé; modelé superficiel en buttes; érosion en nappe ravinante; jachère à *Callotropis* et *Boscia*; 400 mm

NE 34 (1/3 supérieur de pente)

Surface : aires découpées à croûte pluviale; lit de sables particuliers

0-20 cm : brun-jaune clair (7,5 YR 5,5/6); stries plus claires et poreuses ou plus jaunes et compactes;
A.p très sableux; débit lamellaire (e = 5 cm) dont les faces correspondent aux stries claires; cohésion faible; porosité intergranulaire; est un dépôt récent

M = 0,17 A = 3,5 Fl = 0,36 S = 0,93 pH = 6,9
C/N = 8,3 L = 0,5 Fl/Ft = 65 V = 62 Ca = 0,43

Contraste faible; pas de transition

20-31 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/6); stries rougies; très
A.1 b sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion
faible à moyenne; porosité intersticielle très
fine

Contraste moyen; transition diffuse

31-48 cm : même couleur, mêmes stries; très sableux; plus
A.12 compact

Contraste fort; transition de 5 cm

48-125 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); raies rouges (e =
B.2 0,5 cm); sableux; débit mamelonné; cohésion
faible; petits volumes plus cohérents; poro-
sité intersticielle très fine et forte

M = 0,10 A = 9,0 Fl = 0,80 S = 0,48 pH = 4,8
C/N = 6 L = 1,2 Fl/Ft = 74 V = 17 Ca = 0,28

Contraste faible; transition de 25 cm

125-200 cm : jaune-rouge (6 YR 5/7); sableux; débit plus
B.3 ou B.22 large; cohésion plus forte; des volumes durcis

Racines : chevelu dans les apports superficiels (Ap); des
radicelles jusqu'à 120 cm

NE 35 (1/3 inférieur de pente)

Surface : parsemée de buttes sableuses décimétriques (reb-
dhou) et localement incisée sur quelques centimè-
tres par le ruissellement

0-11 cm : brun-jaune (7,5 YR 5,5/6); stries rougies; sa-
bleux; débit lamellaire dont les faces correspon-
A.1 dent aux stries; sableux; cohésion faible; poro-
sité intergranulaire fine et faible

M = 0,16 A = 7,2 Fl = 0,82 S = 1,75 pH = 4,7
C/N = 6 L = 2,9 Fl/Ft = 78 V = 56 Ca = 0,79

Contraste moyen

11-40 cm : brun-rouge (5 YR 4,5/6); raies (e = 0,5 cm, d = 10-15 cm) rouges plus compactes et cohérentes; sableux; débit mamelonné, cohésion faible; porosité intergranulaire fine et faible
B.A

Contraste faible; transition de 20 cm

40-100 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); raies; sableux à sablo-argileux; débit mamelonné; cohésion moyenne; même porosité
B.21

M = 0,12 Fl = 1,19 A = 14,2 S = 2,29 pH = 4,2
C/N = 3,2 Fl/Ft = 73 L = 2,6 V = 48 Ca = 1,08

Contraste moyen, transition de 10 cm

100-180 cm : rouge-jaune (5 YR 4/6) au sommet, brun rougâtre (5 YR 4,5/4) à mouchetures noires à la base; sablo-argileux; raies; débit très mamelonné; cohésion moyenne à forte; porosité intergranulaire et tubulaire de plus en plus faible vers la base
B.22 t

M = 0,14 Fl = 1,24 A = 16,7 S = 3,78 pH = 4,5
C/N = 6,2 Fl/Ft = 63 L = 3,3 V = 53 Ca = 2,35

Cette toposéquence donne les limites de variations morphologiques des horizons B mais ne possède plus d'épipédons normaux, du fait de la culture et de l'érosion qui a suivi. Pour observer ces derniers, il faut aller plus au nord, dans la région des pâturages :

site de Mailafia (NE 39, type de la Série)

Lat. : 14° 43' 22" N.
Long. : 6° 53' 26" E.
Cote : 391 m

plaine sableuse ondulée; sommet de butte; steppe arbustive à gomniers et Commiphora; 390 mm de pluies

Surface : croûte pluviale grise; rejets

0-10 cm : brun-jaune (10 YR 6/4); stries grises (e = 0,15 cm d = 0,25 cm); très sableux; massif, débit horizontal facile; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire moyennement développée
A.1

M = 0,24 A = 2,2 Fl = 0,39 S = 1,29 pH = 6,3
C/N = 7,4 L = 3,5 Fl/Ft = 63 V = 86 Ca = 0,68

10-23 cm : jaune rougeâtre clair (7,5 YR 6/6); les stries
grises se transforment progressivement en
raies rouges (e = 5 mm) vers la base de l'ho-
rizon, les raies étant elles-mêmes formées
d'un micro-horizon rubéfié surmonté d'un micro-
horizon plus fin, gris et compact; très sa-
bleux; débit légèrement mamelonné; cohésion
faible à moyenne; porosité un peu plus forte,
surtout dans la partie rouge des raies

M = 0,14 A = 3,3 Fl = 0,49 S = 1,16 pH = 6,4
C/N = 7,3 L = 2,7 Fl/Ft = 0,75 V = 77 Ca = 0,53

23-75 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); raies flexueuses (e =
0,5 cm, d = 10 cm); sableux; débit mamelonné;
cohésion moyenne; forte porosité intergranu-
laire

M = 0,07 Fl = 0,76 A = 9,5 S = 0,67 pH = 5,1
C/N = 3,6 Fl/Ft = 55 L = 2,0 V = 22 Ca = 0,43

Sondage à 120 cm : même couleur; légèrement plus argileux
(B.22)

M = 0,12 Fl = 0,79 A = 9,8 S = 1,35 pH = 5,1
C/N = 6,5 Fl/Ft = 78 L = 1,7 V = 47 Ca = 0,34

Pour connaître la profondeur exacte de ces sols, on a ef-
fectué un sondage dans le voisinage du site NE 34-35 (NE
40); il a donné, à la base d'un mamelon dunaire (NE 40)
le chiffre surprenant de 311 cm :

0-20 cm : brun rosé (7,5 YR 6/3); strié; très sableux
A.1 M = 0,17 A = 3,0 Fl = 0,46 S = 1,5 pH = 6,2
C/N = 7,9 L = 1,7 Fl/Ft = 74 V = 77 Ca = 0,41

20-45 cm : brun-rouge (5 YR 4,5/6); raies; sableux
B.A M = 0,14 A = 5,8 Fl = 0,48 S = 1,56 pH = 5,8
C/N = 10 L = 3,8 Fl/Ft = 69 V = 71 Ca = 0,39

45-170 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); sableux; raies; ma-
mélonné
B.21 t M = 0,11 A = 6,0 Fl = 0,62 S = 1,45 pH = 5,2
C/N = 7,8 L = 4,0 Fl/Ft = 81 V = 66 Ca = 0,34

170-220cm : rouge (3,7 YR 5/8)
B.22 M = 0,10 A = 5,0 Fl = 0,62 S = 1,74 pH = 5,1
C/N = 7,5 L = 1,0 Fl/Ft = 78 V = 79 Ca = 0,22

220-311cm : rouge-jaune (5 YR 6/8) horizon BC.

311-340 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 7/6)
 .C M = 0,05 A = 2,5 Fl = 0,38 S = 0,91 pH=5,6
 C/N = 7,5 L = 1,0 Fl/Ft = 76 V = 61 Ca=0,19

La Série apparaît donc surmontée d'un épipédon très sableux peu épais, de 10 à 30 cm si l'on exclut les recouvrements très frais. Il est pauvre en matière organique (C,17-0,24%) et les teintes brun-jaune y dominent (7,5 YR 5/6 et 10 YR 6/4). Le litage consécutif au brassage mécanique y est ordinairement révélé par le débit et la formation de stries qui paraissent se charger très vite en argile et en fer. La porosité se développe plutôt au sommet des horizons B que dans un horizon A.2 dont l'individualisation est médiocre ou nulle. Les premières raies apparaissent dans cet horizon intermédiaire (BA) de couleur brun-rouge (5 YR 4,5/6) dont la base se situe entre 20 et 50 cm. Elles ne prennent leur plein développement que dans l'horizon suivant (B.21) rouge-jaune (5 YR 4-5/8) qui est ordinairement le plus coloré, parfois le plus argileux et le mieux structuré. Dans le type, qui correspond à la position de drainage estimée moyenne, c'est dans l'horizon sous-jacent (B.22) que se situent les taux maxima d'argile et de fer, assez peu différents de ceux de l'horizon précédent. La structure n'y dépasse pas le débit mamelonné. A plus grande profondeur, le drainage interne des types les plus argileux diminue : la teinte brunit (5 YR 4/4) la cohésion devient forte. Dans les sols les plus légers, la rubéfaction maximum se situe vers -2 m et ne disparaît que vers -3 m.

Données analytiques

Les profils du fer et de l'argile sont ceux de sols lessivés (NE 40) superficiellement appauvris (NE 34). Les maxima se placent entre 70 et plus de 150 cm (B.21 ou 22). Les rapports des taux ont pu être calculés une fois (NE 40) :

	Argile	Fer libre
B/A	2	1,4
B/C	2,4	1,6

L'acidité et la désaturation sont modérées à nulles en surface (pH de 6,2 à 6,9, saturation de 60 à 85%) élevées en profondeur (pH de 4,8 à 5,2 et V de 20 à 50%). ce qui explique que l'horizon A.1 puisse être acide lorsqu'il est très mince (NE 35). La répartition des

bases fait apparaître une concentration relative du calcium en surface ainsi qu'une caractéristique locale, la quasi-absence du sodium :

	NE 39	Ca	Mg	K	Na	T-S
en % de T	A.1	45	33	8	0	14
	B.22	12	30	3,5	1,5	53

Les paramètres physiques sont fonction de la texture comme il est habituel :

	A=2-3%	A = 6	A = 17
IS	0,3-0,4	0,7	1,4
K	1,6-1,7	1,8	4,3
PF3	1,7-2,4	2,3-3,5	7,9

Les Séries de Maradi et de Dan Makao ayant une géométrie et une constitution analogues peuvent être comparées pour estimer l'effet du gradient pluviométrique. L'épipédon subaride (A.1 + A.2) est moins épais de 20 cm en moyenne, aussi sableux, avec des structures laminaires attribuées au brassage mécanique perceptibles sur presque toute sa hauteur, alors que plus au sud elles n'affectent guère que les 5 premiers centimètres. Ce n'est donc pas l'appauvrissement dû à l'érosion qui peut expliquer le développement supérieur des horizons A ferrugineux, mais le lessivage. La diminution des taux de matière organique est faible mais constante car les maxima sahéliens, de sols "vierges" sont égaux aux moyennes des terres cultivées de Maradi (0,24%). L'accroissement des pH approche de l'unité. Les horizons B ont les mêmes caractéristiques analytiques mais leur partie supérieure (BA, B.1, B.21) passe plus progressivement aux horizons A, est mieux structurée dans les sols méridionaux. Le premier caractère est la conséquence d'une participation moins grande des mouvements de la masse du sol à la pédogenèse. Le second était déjà esquissé dans les toposéquences du Niger moyen et pourrait être une conséquence actuelle, parce que apparemment labile, de la pluviosité.

2.2422

Série de Dakoro
.....

Site de Dikitane (NE 26)

Lat. : 14° 25' 52" N.
Long. : 6° 25' 53" E.
Cote : 388 m

Dune en bordure du goulbi de Tarka; 1/3 supérieur; pente de 4%; érosion en nappe; prairie à *Aristida longiflora* et *Ctenium*; quelques *Faidherbia* (très vieille jachère); 425 mm (limite sud de l'unité)

surface : sables particuliers

0-18 cm : brun (10 YR 5/3,5); sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; peu poreux
A

A = 6,2 Fl = 0,66 M = 0,25 S = 3,88 pH = 6,5
L = 2,5 Fl/Ft = 67 C/N = 10 V = 92 Ca = 1,87

18-35 cm : brun-rouge (7,5 YR 5,5/6); sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire plus forte
B.A

A = 8,0 Fl = 0,76 M = 0,14 S = 3,83 pH = 5,5
L = 2,5 Fl/Ft = 66 C/N = 6,2 V = 77 Ca = 1,90

35-72 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); le moins sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne; porosité intergranulaire et semi-tubulaire fine (0,25-0,5 mm); des volumes compacts
B.21 t

A = 8,8 Fl = 0,78 M = 0,12 S = 4,0 pH = 5,1
L : 1,2 Fl/Ft = 70 C/N = 5,4 V = 87 Ca = 1,72

72-115 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); plus sableux; débit peu mamelonné; cohésion moyenne à faible; moins poreux
B.22

A = 6,8 Fl = 0,73 M = 0,10 S = 3,42 pH = 5,2
L = 1,2 Fl/Ft = 76 C/N = 5,5 V = 86 Ca = 1,66

115-190 cm : jaune-rouge (7,5 YR 6/8); même texture; débit régulier; cohésion moyenne à faible; relativement compact et dur
B.3 ou BC

A = 6,4 Fl = 0,53 M = 0,08 S = 3,0 pH = 5,7
L = 0,2 Fl/Ft = 67 C/N = 5 V = 88 Ca = 1,64

Cette organisation se conserve même sur des cordons dunaires où les taux d'argile peuvent s'abaisser jusqu'à 4 et 3%. Persistent également les caractères suivants :

- épipédons plus régulièrement épais que ceux de la Série de Dan Makao (35-38 cm) et taux de matière

organique comparables (0,21-0,27% et C/N de 7,8 à 9,4)

- contrastes texturaux très faibles, répartitions de types homogènes et de type lessivé normal; pas de raies, mais fréquemment des stries dans les horizons A
- saturation et pH identiques à ceux de la Série de Dan Makao en surface (pH de 6,2 à 6,8 et V de 71 à 84%) plus élevés en profondeur (pH de 5,2 à 6,7 et V de 74 à 90% dans l'horizon B.22)
- même profil de couleur que dans la Série de Dan Makao.

La mobilité plasmique et la lixiviation des bases paraissent donc plus faibles sur les édifices les plus importants dont le matériel ne paraît pas différer de celui des ondulations les plus basses (cf. NE 40). La même constatation avait été tirée de la comparaison des Séries de Maradi et de Wakasou. On peut aussi admettre que la simplification des épipédons qui dans le sud s'observait sur les crêtes dunaires, s'est au nord étendue à tout le modelé; elle est donc bien liée à une diminution des apports d'eau.

On vérifie dans cette même région de Dakoro que les sols S.2 des grandes rides transversales diffèrent grandement des sols S.1 les plus légers :

- profil A-(B)-C
- débit régulier et cohésion faible sur toute leur épaisseur, soit une structure particulière dans tous les horizons
- taux d'argile aussi bas que 0,5% en(B) (A + L = 3%)
- différenciation des horizons due essentiellement à la couleur, par exemple : 7,5 YR 6/6 sur 5 cm, 5 YR 5,5/8 sur 135 cm, puis 7,5 YR 6/6 sur 40 cm et enfin, à -2 m, 10 YR 7/6).

2.244 Les sols brun-rouge de Chinielga

Entre le haut Dallol Maouri et l'Ader Douchi, à moins de 400 mm de pluies, une partie des bas glacis sur grès argileux du Ct.2 est recouverte d'essaims de dunes basses, rondes ou elliptiques, rouges parce que leurs sols sont fortement **décapés**. Un réseau de drainage très diffus mais visible

sur les mosaïques photographiques, parcourt les massifs dunaires. Il est alimenté par les lambeaux de glacis imperméables qui affleurent à leur périphérie ou qui y sont inclus. Comme on le constate partout au Niger où existe une juxtaposition semblable, le ruissellement et l'érosion en nappe ont gagné les dunes, peut-être par voie régressive (BOULET, 1964) et détruit partiellement leurs sols. La strate arbustive se concentre fortement dans les points bas où aux Commiphora, s'ajoutent deux essences de sols compacts, le Combretum micranthum et l'Acacia macrostachya. L'abondance du Boscia senegalensis est significative de l'érosion. La rareté des espèces sahéliennes (Schoenefeldia) dans la strate prairiale, à base d'Heteropogon, d'Andropogon pulchellum, décèle la forte acidité propre aux matériaux recouvrant le Ct.2. Les agriculteurs ont presque complètement déserté ces terres et ont fixé leurs villages sur les dunes E.2, plus perméables (Markié, Aborak, Beloff; BOULET, 1964). Les raisons de cette deshérence sont inscrites dans les profils :

Horizon A.1

- surface à croûte pluviale noirâtre (algues); des sables particuliers bruns et des rejets brun-rouge; termitières
- 9 à 15 cm
- brun (7,5 YR 5/5)
- sableux
- débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne à forte; dur; porosité fine bien développée

M = 0,22-0,25-0,29	A+L = 4,0-4,6-5,1	F1 = 0,79-1,1-1,28
C/N = 7,2-8,1-8,9	pH = 6,1-6,2-6,3	F1/Ft = 73-76-80
		S = 0,72-1,16-1,67
		V = 51-72-93

Horizon AB

- 10 à 15 cm
- brun-rouge (5 YR 4,5/6)
- sableux
- débit mamelonné; cohésion forte; porosité plus grossière; dur
- M = 0,19 (moyenne)

Horizon B.2

- 40 à 50 cm
- sommet entre 20 et 30 cm
- rouge-jaune (5 YR 4,5/8)
- raies brun-rouge (e = 0,4 cm, D = 10-20 cm)
- sableux
- débit très mamelonné; cohésion forte; porosité plus régulièrement répartie

M = 0,14-0,17-0,21 Fl = 1,3-1,48-1,6 A+L = 7,9-10-12
 Fl/Ft=75-80-86 pH = 4,9-5,2-5,4
S = 0,73-0,84-1,01
V = 32-44-59

Horizon BC.1

- 50 à 70 cm
- sommet entre 60 et 80 cm
- jaune-rouge (7,5 YR 5/6)
- plus sableux
- débit régulier, cohésion faible, porosité fine

Horizon BC.2

- 50 à 90 cm
- sommet entre 110 et 150 cm
- couleur s'éclaircissant très progressivement jusqu'à la base (200 cm) jaune-rouge (7,5 YR 5/8)
- très sableux
- débit régulier et cohésion faible

M = 0,05-0,09-0,15 Fl = 1,20-1,28-1,31 A+L = 4,8-7,7-10,5
 Fl/Ft=64-70-74 pH = 4,6-4,8-5,1
S = 0,65-0,68-1,06
V = 28-39-59

Les interdunes sont parsemées de surfaces damées et stériles produites par l'érosion des termitières qui y abondent. Leurs sols peuvent être plus argileux et renfermer des concrétions ferrugineuses

La constitution de cette Série ne diffère de celle de Dan Makao que par des sables plus fins et ferrugineux (oolithes). Son organisation est semblable mais comme raccourcie. L'érosion en nappe a déplacé l'équilibre entre l'ablation des horizons A et leur reconstitution aux dépens des horizons B, avec comme conséquences leur

diminution d'épaisseur et l'acidité plus grande de l'épipédon. Le durcissement, en sec, de la partie supérieure du profil, sans qu'il soit accompagné de taux élevés de fines, est commun dans les sols brun-rouge, mais il est ici surprenant par son ampleur, de l'ordre de 50 à 70 cm. Comme il est lié au décapage, qu'il paraît semblable à celui qui prend en masse la base de sols imparfaitement drainés, on l'attribue à une humectation excessive du sommet des horizons B directement exposés à la pluie ou protégés d'elle par un épipédon sableux trop mince. Ni l'érosion, ni le durcissement ne sont propres à la Série de Chinielga mais ils ont pu y prendre un développement plus grand à cause du site et de la finesse des sables, génératrice de battance et d'imperméabilité :

	Série de Chinielga	Série de Dan Makao
Rapport des sables fins aux sables totaux	70%	35%
Modes principaux	0,13-0,18 mm	0,12-0,19 mm 0,33-0,37 mm
Perméabilité de l'horizon A.1 (cm/h)	1	1,65
Epaisseur de l'épipédon (horizons BA exclus) Cote de la base des horizons B.2	10-15 cm 60-80 cm	10-30 cm 120 à plus de 200cm

Il est probable que les agriculteurs sahéliens, qui n'ont pas les moyens techniques d'améliorer l'état physique des terres, ne cultivent pas ces sols parce que leur ameublissement naturel n'est plus, en surface, suffisant pour leur garantir une bonne infiltration de pluies déjà fortement mesurées à cette latitude.

2.245

Caractéristiques des Séries rubéfiées à raies

La réduction du drainage, par rapport à ce qu'il est dans les Séries rubéfiées, différencie les profils le long de la toposéquence, y réduit la composante rouge, les gris 10 YR apparaissant dans l'épipédon, les rouges 5 YR s'étendant plus ou moins largement dans les horizons B, enfin accroît la mobilité plasmique dont

les stries, les raies, l'épaississement des horizons A sont les manifestations.

Comme couleurs caractéristiques, nous citerons les gris-brun (10 YR 5-6/3) des horizons A.1 méridionaux, les brun-jaune (7,5 YR 5/6 et 10 YR 6/4) des horizons A.1 septentrionaux, les rouges (2,5 YR 5-6/8) et rouge-jaune (5 YR 5/8) des horizons B. En ce qui concerne ces derniers, la rubéfaction acquise dans le profil est égale au moins à une différence de -2,5 YR dans la teinte car quelques observations ont été faites d'horizons BC ou C de couleur (5 YR 6/8) sous des horizons B 2,5 YR et de couleur 7,5 YR 5-6/8 et 7/6 sous des horizons B 5 YR. La teinte brun-rouge qui est souvent notée sous l'horizon A.1 des sols subarides est remplacée dans l'horizon équivalent des sols méridionaux par des rouges plus vifs :

- sols brun-rouge, horizons B.A
- à 12 cm, teinte 5 YR 4,5/6, 0,19% de matière organique
- entre 25 et 30 cm, teinte 7,5 YR 5,5/6, 0,14%

- sols ferrugineux, horizon B.1
- à 60 cm, teinte 5 YR 6/8, 0,11% de matière organique.

Ce brunissement est une conséquence de la proximité plus grande des horizons B de la surface; le drainage, peut-être la matière organique, en sont les causes.

Les Séries les plus différenciées dans le sens du lessivage sont situées sur les modelés les plus doux, d'amplitude variable mais inférieure à 10 m et ordinairement de l'ordre de deux à trois mètres, ou dans des interdunes. L'organisation la plus complète est méridionale (Maradi) :

A.1 - A.2 - B.1 (structure) - B.21 (couleur) - B.22 (texture) - BC

La structure atteint le débit polyédrique qui ne s'affaiblit qu'assez progressivement vers la profondeur. La rubéfaction est plus souvent dans les rouges 2,5 YR; sa limite inférieure n'a été observée qu'au nord, où elle dépassait 300 cm; la répartition du fer et de l'argile est de type lessivé normal, avec des maxima situés entre 100 cm et plus de 200 cm. Les raies s'étendent de l'horizon A.2 à l'horizon B.22 inclus, avec maximum en B.1. Comme dans tous les sols de cet ensemble l'acidité, la désaturation, la déficience calcique sont corrigées en surface,

plus rarement en profondeur.

Sur les reliefs dunaire plus élevés, les actions mécaniques entrent davantage dans la formation des horizons A, la mobilité plasmique et la lixiviation des bases sont réduites. L'épipédon est moins épais : 35-55 cm contre 40-65 cm, les horizons A.2 et B.1 ne sont plus distincts, les contrastes texturaux sont moins importants, les répartitions les plus fréquentes sont de type appauvri pour l'argile et lessivé profond pour le fer, les raies se limitent au contact A/B (A.2 et B.21) pH et saturation sont plus élevés.

Cette réduction et cette homogénéisation des horizons de surface s'étendent à tout le modelé en région sahélienne où leur succession, de type A-AB, ne dépasse pas 35 cm. Toute leur épaisseur peut participer à des mouvements d'origine éolienne ou hydrique qui produisent un litage révélé par la formation de stries rapidement rubéfiées. Les horizons B ne diffèrent de leurs homologues méridionaux que par une structure plus faible qui pourrait être une conséquence d'une pluviosité moins forte. Soumis aux actions météoriques, ils brunissent et durcissent, phénomène porté à l'extrême dans la Série de Chinielga.

Leur répartition amène à admettre que la diversification des sols de la toposéquence est un effet du drainage local, le drainage général étant lui-même responsable de l'extension régionale de ces Séries.

2.25

Les Séries rubéfiées des dunes d'obstacle

Même s'il n'existe pas de sols très rubéfiés dans la couverture dunaire d'une région donnée, il en apparaît toujours où les sables se sont épaissis au contact de reliefs : escarpements, buttes témoins, chaos. Les pentes actuelles de ces vieilles dunes d'obstacle, très régularisées, linéaires ou concaves, ne diffèrent plus guère de celles des versants fossilisés ou établis sur le même substratum rocheux. Mais leur végétation, leurs cultures, également favorisées par les eaux ruisselant des volumes rocheux surplombant, les font identifier de fort loin. Il est probable que d'avoir été très recherchées comme terres cultivables ou comme sites d'habitats-

refuges a accéléré une érosion dont elles portent les traces les plus fortes.

2.251

Dunes d'obstacle du Koutous

Site de Ganacha (NB 4)

Lat. : 14° 18' 0" N.
Long. : 9° 43' 15" E.

Ensablement de pied de falaise gréseuse à mi-pente; aspect dégradé (bétail); parc à Acacia raddiana; 370 mm

- 0-6 cm : brun-jaune (7,5 YR 6/5); très sableux; particulaire, localement feuilleté
A.11
- 6-30 cm : même couleur; même texture; débit très régulier, cohésion faible; chevelu dense
A.12
- 30-52 cm : brun-rouge pâle; même texture et structure; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire plus forte
(B)
- 52-85 cm : rouge-jaune, un peu brun (5 YR 5/5); raies rougies très fines (2 mm); sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à forte; très dur; porosité intergranulaire plus développée; quelques pores tubulaires (0,5 mm); chevelu réduit, quelques radicules verticales
11.B.21.
t.b.
- 85-145 cm : rouge (2,5 YR 5,5/8); raies anastomosées (e = 0,5 cm au sommet, 1 cm à la base; d = 5 cm) plus foncées et cohérentes; plus sableux; débit plus régulier; cohésion moyenne à forte; porosité réduite
B.22
- 145-160 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/8); quelques raies; très sableux; débit régulier, cohésion faible; porosité purement intergranulaire
BC

Le profil appartient aux Séries rubéfiées à raies. La présence de ces dernières dans une telle topographie est suggestive du lessivage oblique, mais il est plus vraisemblable que l'humidité due à l'afflux des eaux de ruissellement en est responsable, car les raies peuvent également se former dans les plaines sableuses. Le sol a été tronqué au niveau de l'horizon B textural, qui a durci et

bruni, puis fossilisé de sables éoliens plus fins où l'horizon organique A.1 s'est parfaitement reconstitué, où un début de rubéfaction est décelable. Cette superposition a déjà été décrite dans des sols de remblais F.3 (cf. p. 70) et appartient aux faciès brun-rouge.

Les propriétés analytiques sont banales; ce sont celles d'un sol lessivé en fer et argile, acide et pauvre en calcium sauf au niveau de la surface actuelle et de la surface fossilisée.

2.252

Dunes d'obstacle du Damagaram

Site de Zermou (NA 93)

Lat. : 13° 52' 0" N.
Long. : 9° 17' 10" E.

Ensamblément du pied d'une butte quartzitique; à mi-pente (10%) mais près du volume rocheux; un profond ravin a isolé la dune de la butte et la sape; parc à *Faidherbia*; cultures plus bas; 500 mm

Surface : 3 cm de sables particuliers

- 0-24 cm : brun rougeâtre (5 YR 5/3); très sableux; débit "nuciforme", cohésion faible; porosité intergranulaire très forte; chevelu radiculaire abondant
A.1
- 24-42 cm : rouge brunâtre (2,5 YR 4/5); sableux; débit régulier; cohésion moyenne à faible; porosité maximum du profil
B.A
- 42-75 cm : rouge (2,5 YR 5,5/6); même structure; débit irrégulier; cohésion moyenne à faible; porosité plus fine; radicules nombreuses
E.21
- 75-125 cm : rouge (2,5 YR 5,5/6); même texture; débit régulier; cohésion et porosité plus faibles
B.22
- 125-200cm : rouge clair (2,5 YR 5,5/8); plus sableux; minimum de cohésion et de porosité du profil
B.C

Ce sol appartient aux Séries rubéfiées bien drainées; la structure, très faible, manifeste un léger maximum au sommet des horizons B. Il n'y a pas de raies: une pente plus forte (10% contre 4%) distingue ce site du précédent,

le drainage y est donc plus facile. Le faciès de l'épipedon est encore brun-rouge, bien que la pluviosité soit relativement élevée; il est à la limite inférieure de l'épaisseur dans la toposéquence-type, il est saturé, le sommet de l'horizon B textural a bruni (B.A). On peut dire le site sahélien en milieu ferrugineux, xérique, exposé à l'érosion par le vent et par le ruissellement.

Il s'agit encore d'un sol lessivé en fer et argile; comme on est sur le socle cristallin, à altération smectitique, la saturation, les proportions de calcium, sont élevées dans tout le profil.

2.253

Ensablements des chaos granitiques de Zinder

Les dunes qui se sont accrochées aux reliefs granitiques entourant la ville de Zinder sont de plus petites dimensions que les "jupes" sableuses des hautes buttes du Koutous et du Damagaram mais leurs sols ont subi une évolution comparable. Plus fertiles que la moyenne des sols dunaires, ils furent un terroir recherché que l'on planta d'un beau parc à Faidherbia. Mais des excès culturels déclenchèrent une érosion en nappe ravinante favorisée par la situation aux pieds de surfaces de ruissellement, par des pentes appréciables, par une épaisseur meuble médiocre entraînant une saturation par l'eau rapide.

Site de Zinder (NA 32)

Lat. : 13° 47' 59" N.
Long. : 8° 58' 14" E.
Cote : 475 m

Massif de boulders de granite alcalin, ensablé; 1/3 supérieur de pente (3%); paysage décapé; jachères (Faidherbia, Zizyphus mucronata, Acacia seyal, Callotropis); 532mm

Surface : sables particuliers

0-8 cm : brun-jaune rougeâtre (5 YR 5,5/8); très sableux (grains éolisés + grains anguleux issus des granites); débit régulier; cohésion moyenne à faible; bonne porosité intergranulaire
A.p

8-33/45 cm : brun rougeâtre (5 YR 5/6); sableux; raies
A.2 rougies entre 20 et 33 cm; volumes rougis

(4 mm); taches jaunâtres très fines et ramifiées; volumes décolorés très petits; débit irrégulier, cohésion moyenne à forte; très bonne porosité intergranulaire

- 33/45-70 cm : rouge (2,5 YR 4,5/8); sableux; débit polyédrique; cohésion moyenne; même porosité
B.21
- 70-144 cm : rouge (2,5 YR 4/8); moins sableux; débit plus régulier; cohésion moyenne à forte; des volumes durcis; moins poreux
B.22 t
- 144-130 cm : rouge plus clair (2,5 YR 5/8); sableux; débit régulier à polyédrique; même cohésion; galeries de termites
B.23
- 130-197 cm : rouge; grains de quartz des granites (anguleux, 4 mm) en assemblage lâche, jointoyés de cutines argileuses très rouges; les interstices sont comblés de sables éoliens rouges
ll.B.r

Les sables éoliens ne renferment de grains provenant des granites qu'au sommet (ruissellement) et à la base. Ils pénètrent et fossilisent une arène remaniée qui, pendant l'évolution du sol dunaire, s'est elle-même chargée de cutines illuviales rouges. Le profil est caractérisé par un horizon A.2 imparfaitement drainé à raies; il est aussi rouge que les Séries rubéfiées, aussi structuré que les Séries rubéfiées à raies. L'épipédon est modérément acide, plutôt ferrugineux, sans être très caractéristique à cause de l'érosion. La répartition du plasma minéral est de type lessivé profond. La masse du sol est acide et désaturée, mais bien pourvue en calcium, comme cela est constant sur le socle :

	Ca	Mg	K	Na	T-S	
Horizon A	49	8,5	2,5	4	36	
Horizon B.22	26	13,5	1,0	2,5	57	(% de T)

Les sols des plaines sableuses sur grès continentaux voisins sont de moitié moins riches en argile, fer, bases que ceux-là, mais sont plus profonds, alors que les sols des ensablements de glaciais gréseux, d'épaisseurs comparables (140 cm, NA 9-10) ont également une constitution analogue. C'est donc la puissance du manteau sableux qui est corrélée avec la texture moyenne des sols, et non pas la nature du substratum.

La Série de Koukalata

Sa géométrie est intermédiaire entre la dune d'obstacle et l'ensablement de glaciis. Elle recouvre de courts versants adossés en auréole autour des petits massifs de buttes à grès ferrugineux qui sont situés à l'ouest de l'Ader Douchi, dans la région de contact entre le sidérolithique (Ct.1 et les argiles gréseuses (Ct.2). Les pentes sont faibles (2 à 3%) mais de beaucoup supérieures à celles des bas-glaciis que fossilise la Série de Chinielga. La pluviosité est inférieure à 400 mm. La steppe arbustive à Commiphora et à tapis prairial sahélien (*Aristida mutabilis*) est plus souvent défrichée pour la culture du mil que celle qui recouvre la Série précitée de Chinielga. Le profil moyen s'apparente aux Séries rubéfiées bien drainées; il n'est ni anormalement érodé, ni superficiellement durci; l'épipédon est de type subaride (résumé) :

0-12 cm A.1	: 7,5 YR 6,5/6; brun-jaune rougeâtre; sableux; débit régulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire
12-26 cm A.B	: 5 YR 5,5/6; jaune rougeâtre; débit mamelonné; cohésion moyenne; plus poreux
26-75 cm B.21	: 2,5 YR 5/6; rouge; moins sableux; débit mamelonné très facile; plus cohérent; porosité semi-tubulaire
75-140 cm B.22.t	: 2,5 YR 5,5/6; rouge; débit plus régulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire
140-160 cm B.22.t (faune)	: même couleur; sableux à sablo-argileux; galeries d'animaux et agrotubules; débit et cohésion variables; porosité semi-tubulaire
160 cm ll.B	grès ferrugineux, en plaquettes ou oolithiques, fragmentés

L'épaisseur peut atteindre deux mètres ou bien être réduite à quelques décimètres. Les taux de fines sont en moyenne plus élevés que dans la Série de Chinielga (A + L = 5% en A.1, 20% en B.2) et leur répartition y est de type lessivé profond, mais la morphologie témoigne d'un drainage interne meilleur. Les autres caractéristiques sont analogues : taux de matière organique

(0,25% et C/N de 10 en A.1) pH et saturation décroissant fortement au dessous de l'horizon supérieur (pH = 6-6,5 et V = 75%, contre pH = 5,2 et V = 50 en B) équilibre des cations.

2.255

Observations diverses

Des sols semblables sont observables dans tout le Niger, car les dunes d'obstacles sont les dernières formes éoliennes à disparaître vers le sud. Des restes d'une Série rubéfiée à raies tronquée au niveau de l'horizon B.T ont été décrits dans le Mounio, à Gouré (NC 18). A l'autre extrémité du Niger, mais toujours en zone sahélienne, les sols brun-rouge des dunes qui escaladent les hautes buttes des schistes de Yassane (NO 41-42) sont rubéfiés et peu structurés (horizons B 5 YR 4/8) ravinés, parfois très fortement durcis. Plus au sud ce sont encore les Séries rubéfiées qui dominent sur les ensablements accrochés aux inselberg de roches basiques du Liptako (NM 10).

2.256

Conclusions

La morphologie des sols des dunes d'obstacle est celle des sommets de toposéquence (Séries rubéfiées) lorsque le drainage assuré par la topographie l'emporte sur l'afflux des eaux de ruissellement; dans le cas inverse, le pédoclimat plus humide fait réapparaître les mêmes Séries rubéfiées à raies que sur certains bas-glacis. En dehors de cet accroissement de l'alimentation en eau, le substratum ne paraît pas intervenir dans la pédogenèse de la couverture sableuse plus que dans les autres sites où, à épaisseur égale, les sols ont les mêmes caractéristiques que sur les dunes d'obstacle. On constate ici la même impossibilité de mettre en évidence des relations latérales entre les sols qui a conduit à considérer leurs suites comme des toposéquences.

2.26 Toposéquences à majorité de
Séries rubéfiées, à raies et / ou
à action de nappe en profondeur

2.261 Toposéquences des ensablements recouvrant les bas glacis
des granites du Liptako

Une couverture sableuse originale par ses sols, sa végétation et sa fertilité, recouvre près de la moitié des bas-glacis des granites du Liptako (cf. p. 424) entre le Birrimien au sud (lat. : 13° 40' N) et la formation d'Ydouban au nord (14° 50' N.). Les sables, d'origine locale, contiennent de petites quantités de minéraux altérables (feldspath, mica) provenant du substrat, ainsi que de petites concrétions ferrugineuses dont certaines, concentrées dans les parties hautes du modelé, pourraient provenir des grès continentaux situés plus à l'est (Annexes IV et V, pp. 35 et 76). Leur épaisseur est médiocre; à Meana, au centre du Liptako, une coupe topographique l'estime à 2 m sous les plaines et à 10 m sous les cordons. Le plancher rocheux, très irrégulier, peut donc affleurer facilement en boulders, en arêtes ou en petits massifs éboulés pour les roches intrusives qui ont mieux résisté à l'altération (gabbros, granites alcalins). La toposéquence autochtone, dans ses termes bruns ou hydro-morphes, peut également affleurer dans les dépressions, mais sous les dunes nous n'avons jamais observé qu'une altération pelliculaire, argileuse ou arénacée, parfois carbonatée, elle-même recouverte d'une nappe décimétrique de quartz, de débris de cuirasse, recimentée par des concrétions ferrugineuses ou pénétrée de pseudomycelium calcaire. Les plaines sableuses sont le modelé le plus étendu et le plus caractéristique. La couverture, qui peut être parfaitement aplanie, est trop mince pour déformer les pentes faibles (0,2 à 0,4%) et longues de la topographie fossile. Les sols en sont immédiatement reconnaissables parce que plus bruns que sur tout autre substrat ou sur tout autre modelé. Leur base est modifiée par une nappe très temporaire sinon inactuelle. Des champs de termitières brunes ou ocres exploitent ces réserves en eau et argile toutes proches. L'érosion hydrique y est très modérée et se limite à la formation de plages décapées de l'ordre de 25 m². L'érosion éolienne n'y est guère observable. Au nord la végétation y prend un aspect que l'on tient habituellement pour typiquement sahélien bien qu'il ne se

réalise que rarement au Niger; ce sont de magnifiques prairies à *Aristida mutabilis* (jusqu'à 450 mm) parsemées d'*Acacia raddiana* (jusqu'à 500 mm) et de *Balanites*. Plus au sud apparaît la strate prairiale à *Ctenium*, avec des *Balanites* encore, des *Faidherbia*, *Bauhinia*. Ces ensablés très aplanis forment des bandes orientées d'est en ouest de 25 km de large en moyenne. Elles sont parsemées de très petits massifs de dunes rondes et limitées par des cordons longitudinaux étroits, larges de 1 km et longs de 10 km pour les plus petits, larges de 4 km et longs de 30 km pour les plus grands. Les sols, des Séries rubéfiées, souvent à raies, en sont moins spécifiques. Ils peuvent être profondément bouleversés par une érosion éolienne et anthropique qui y prend un grand développement au nord. Une savane arborée dégradée à *Combretum glutinosum* les recouvre, avec un tapis prairial à *Ctenium* où se mêlent des graminées sahéliennes au nord ainsi que l'*Aristida longiflora* sur les aires éolisées. L'ensemble de ces dunes basses est, en rive droite du Niger, obliquement cloisonné par un très grand massif de cordons longitudinaux E.2 (cf. p. 527) qui parfois ont repris le tracé des rides E.1. En dehors de cette dernière formation, uniquement pâturée, ce vaste terroir est très cultivé à cause de sa relative richesse chimique et d'une humidité supérieure que révèlent raies et traits de nappe. Il n'y a pratiquement pas de jachères au sud (Gothèye-Tera); au nord, avec 425 mm de pluies, elles recouvrent les deux tiers d'un paysage passablement ruiné.

Entre 400 et 575 mm, les variations en latitude tiennent davantage à la répartition des Séries, au modelé, qu'aux transformations des horizons de surface. Les sols rubéfiés à raies sont relativement plus fréquents au sud parce que les plaines sableuses y sont moins étendues que les cordons. Les sols à base jaunie ou blanchie ou concrétionnée par la nappe sont plus communs au nord pour la raison inverse. A moins de 450 mm apparaissent les faciès brun-rouge en même temps que s'accroît l'érosion.

2.2611

Toposéquences méridionales
.....

Séries rubéfiées, des crêtes de cordons

NO 48 (résumé)

O-15 cm : brun (7,5 YR 4/4); très sableux; débit régulier;
A .11 compact

- 15-35 cm : brun (7,5 YR 5/6); très sableux; débit régulier; quelques pores très fins
A.12
- 35-120 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne; plus faible à la base; porosités semi-tubulaire et intergranulaire moyennes
B.2
- 160-180 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5,5/8); très sableux; débit régulier; cohésion moyenne
B.C

Les horizons A sont épais de 20 à 42 cm, brun-jaune (7,5 YR 4-5/5-6) peu différenciés dans leur structure et leur porosité. Dès 450 mm, les sables particuliers brun-jaune clair (7,5 YR 6/5) qui les recouvrent s'épaississent jusqu'à atteindre 10 cm, préfiguration de l'éolisation septentrionale. La partie supérieure de l'horizon B est mieux structurée sur 10 à 60 cm, le débit restant mamelonné. Elle est souvent légèrement plus foncée, la couleur restant peu variable (5 YR 4-4,5/8). La structure et la porosité du matériau apparaissent entre 90 et 160 cm, sa couleur (7,5 YR 5/6) plus profondément.

Les Séries rubéfiées à raies, à action de nappe nulle ou peu prononcée, des versants et de la base des cordons

Site de Lourgoubango (NM 96)

Lat. : 13° 55' 50" N.
Long. : 0° 43' 10" E.
Cote : 266 m

Mi-pente (3%) du revers d'un cordon; modelé en buttes; profil en sommet; jachère (mil) à *Combretum glutinosum*, *Bauhinia*; 520 mm

- 0-20 cm : brun (7,5 YR 4,5/4); stries grises; très sableux (des micas); débit régulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire bien développée
A.1
- 20-40 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); stries grises et raies brunes; très sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire bien développée
A.2
- 40-90 cm : rouge jaunâtre (5 YR 4,5/6 à 7,5 YR 5/6); raies

- B.1 brunes fines (e = 2 mm); sableux; débit plus régulier; cohésion moyenne; moins poreux
- 90-154 cm : "beige" rosé (7,5 YR 5/5); raies plus fortement contrastées; sableux; débit régulier; cohésion plus faible; porosité intersticielle
- E/B
- 154-180 .. : rouge jaunâtre (5 YR 4/6); sablo-argileux; débit mamelonné; cohésion très forte; très compact; très dur
- B.2

L'épipédon est plus différencié (A.2). L'horizon B est moins coloré et discontinu. Un niveau d'apparence éluviale (E/B) le parcourt à moyenne profondeur, le divisant en "bandes" épaisses que l'on suppose être une sorte d'application des raies. Celles qui sont actuellement visibles, à plasma différent, paraissent postérieures et induites par le ralentissement de drainage créé par ces grosses discontinuités. La majorité des sols de cordon est moins modifiée que ce type extrême. La succession des horizons peut être la même que celle des Séries rubéfiées, mais avec un horizon A.1 plus gris (10 YR 5/3) des raies au sommet de l'horizon B, un horizon BC dont le durcissement est attribuable à un début d'engorgement de nappe dont d'autres traces sont des ségrégations ferrugineuses autour des pores (NO 64).

Séries à horizon B rouge ou jaune-rouge, à action de nappe en profondeur

Site de Meana (NO 63)

Lat. : 14° 16' 30" N.
 Long. : 1° 4' 40" E.
 Cote : 234 m

Plaine sableuse étroite située au sud du cordon dont le profil précité NO 64 marquait la limite; savane arborée à Balanites, gommiers, avec tapis prairial à Ctenium; 470 mm.

- 0-12 cm : brun-jaune foncé (10 YR 4/3,5); très sableux; feuilleté sur 5 cm, avec lits de sables particuliers; à la base débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire
- A.1 p
- 12-37cm : brun vif (7,5 YR 5/5); très sableux; débit

- A.12 régulier; porosité semi-tubulaire fine et bien développée
- 37-55 cm : brun-jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6); raies brunes discontinues (e = 2 mm); sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité semi-tubulaire bien développée
- A.2 ou A.B
- 55-80 cm : jaune rougeâtre (5 à 7,5 YR 4/8); raies; moins sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne; porosité réduite avec pores tubulaires plus fréquents
- B
- 80-172 cm : transition de couleur graduelle; raies plus brunes; plus sableux; débit régulier; cohésion moyenne à forte et dureté très accrue entre 80 et 140 cm; cohésion moyenne au-dessous de 140 cm; porosité devenant progressivement intergranulaire
- B.C (g)

Contraste fort

- 172-200 cm : brun jaunâtre (10 YR 5/8); pas de raies; très sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; moins dur; porosité intergranulaire
- C.(g)

Le jaunissement de la partie inférieure du profil est attribué à l'engorgement de nappe; le durcissement de la zone située immédiatement au-dessus est la conséquence de la limitation du drainage interne qui en résulte; la morphologie est encore, dans l'ensemble, voisine de celle des sols de pied de cordons (NO 64).

Site de Dargol (NM 94)

Lat. : 13° 57' 30" N.
 Long. : 1° 17' 50" E.
 Cote : 221 m

Glacis à très faible pente; 1/3 supérieur; modelé aplani; sol hydromorphe acide sur granite altéré en bas de pente; savane arbustive à Balanites, Seyal, Combretum glutinosum; jachère (mil); 510 mm

Surface : croûte pluviale et sables grossiers particuliers

0-13 cm : brun-jaune foncé (7,5 YR 4,5/4); très sableux;

- A.1 débit régulier; cohésion moyenne à faible; forte porosité intergranulaire
- 13-48 cm ; brun-jaune vif (7 à 5 YR 4/6); raies rougies (e = 4 mm) discontinues et durcies;
- A.2 sableux; débit mamelonné, cohésion moyenne, des volumes durcis; porosité semi-tubulaire fine et bien développée
- 48-105 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); sableux (grains éolisés, quartz de 2 mm anguleux, feldspath altérés, biotite); débit plus régulier et plus finement mamelonné; cohésion moyenne; porosité moins forte
- B.1 (couleur)
- Transition de 15 cm
- 105-160 cm : brun jaunâtre (10 YR 6/5); moins sableux; B.2 t (g) débit régulier; cohésion forte; plus compact
- 160-180 cm : même couleur; concrétions noires à cortex rouge (1 cm) et volumes rouge foncé durcis (5 mm) par niveaux horizontaux discontinus un lit de sables décolorés brun-clair, particulaires, continu (2 cm) dans un niveau dont les concrétions le recourent; mêmes texture et structure
- E/B2.t g cn
- 180-225 cm : jaune brunâtre (10 YR 5,5/8); plus sableux; débit très régulier; porosité intergranulaire faible
- B.3 (g)
- 225 ... : blanc avec bande jaune-brun de 3 cm; très E/BC g sableux; particulaire

La nappe a agi sur la base du profil formée d'une succession de niveaux éluviaux (E) très sableux et de bandes d'accumulation (B). Le concrétionnement manganésifère et ferrugineux est postérieur à la formation de E. On l'attribue, ainsi que le blanchiment, à une humidité plus forte (g) que celle qui provoque le jaunissement ou le durcissement ((g)).

Le classement par ordre d'hydromorphose croissante est le plus commode car il reproduit la succession topographique des sols. Il n'est pas le plus naturel car il situe au même niveau des organisations différentes. En donnant la première place à ces dernières,

Classement des Séries méridionales

Séries rubéfiées bien drainées

	A.11	A.12	B	B.C
Cote du sommet (cm)			20-42	90-160
Couleurs	7,5YR		5YR	7,5 YR
Maximum de structure			sommet	

Séries à raies

	A.1	A.2	B	B.C	C
avec action de nappe	A.1	A.2 raies	B raies	B.C durci B.C(g) raies durci	C (g)
Cote du sommet			32-37	90	
Couleurs	10YR		5-6YR		10 YR
Maximum de structure		+	sommet		

Séries à horizon B fortement discontinu ("bandes")

	A.1	A.2	B.1	E/B	B.2		
avec action de nappe	A.1	A.2 raies	B.1 raies durci	E/B raies B.2(g)	B.2 durci E/B (g) conc.	B.3(g)	E/BC(g)
Cote du sommet			40-48				225
Couleurs	7,5YR		5-6YR				10 YR
Maximum de structure		+		+			

c'est-à-dire en subordonnant les effets de l'engorgement à ceux du lessivage, on obtient un regroupement différent présenté ci-dessus. Les quelques données positives touchant à la genèse des sols à horizon B discontinu s'accordent avec ce classement, plus généralement avec l'hypothèse d'une formation échelonnée des divers traits pédologiques : les horizons E, une fois constitués, peuvent être le magasin d'une nappe circulante; les concrétions leur sont postérieures; les accumulations discontinues provoquent à leur tour la formation de raies d'une seconde génération.

Les taux de matière organique, hors des jachères où leurs

valeurs sont moyennes, se situent à la limite supérieure correspondant à la pluviosité. Cet accroissement se limite à un horizon A.11 décimétrique qui est alors particulièrement sombre (10 YR 4-5/3). Deux autres caractéristiques constitutionnelles de cette sous-famille sont des rapports du fer libre au fer total relativement bas, et des pH, des taux de saturations, de bases (T/A = 40-50) élevés. Le calcium domine assez constamment dans le complexe absorbant où le potassium se concentre en surface, ex :

	Ca	Mg	K	Na	T-S
A.1	66	25	3	2,5	3,5
B	38	46	0,75	1,0	14,25
B.C	53	32	0,45	2,55	12

NO 64
(% de T)

Les sols à horizon B discontinu peuvent être plus acides et désaturés que les autres.

2.2612

Les toposéquences septentrionales
.....

Les Séries rubéfiées, des sommets de cordons,
de glaciais, des dunes rondes

Site de Boni (NM 47)

Lat. : 14° 42' 30" N.

Long. : 1° 6' 0" E.

Ensemblement très aplani de glaciais; sommet; culture de pénicillaire de l'année; quelques A.raddiana; 420 mm.

Surface : croûte pluviale et sables particuliers

0-19 cm : brun (7,5 YR 5/5); très sableux; massif à débit régulier; structure en plaquettes sur les 5 premiers centimètres, nuciforme dans le chevelu des touffes de mil; cohésion faible à moyenne; porosité intergranulaire médiocre

A.1 p

19-40 cm : brun foncé (7,5 YR 4/4); fin réseau brun-jaune, stries; sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne des volumes durcis; porosité semi-tubulaire fine en réseau; le moins pénétrable des horizons

A.2

Contraste fort; transition de 3 cm

- 40-84 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); moins sableux; débit
mamelonné; cohésion plus faible; porosité
B.21 t semi-tubulaire distribuée de façon homogène;
moins dur
- 84-155 cm : rouge-jaune plus clair (5 YR 5/8); même struc-
B.22 t ture

Contraste fort; transition très graduelle

- 155-185 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/7); plus sableux
(quartz, feldspath, biotite ou vermiculite,
B.C oolithes (?) ferrugineuses); débit plus ré-
gulier; plus compact, moins dur

racines : chevelu jusqu'à 40 cm; quelques radicelles en-
suite.

Les caractères d'épaisseur et de couleur de l'épipédon qui, au Niger, n'appartiennent qu'à cette sous-famille, sont ceux de la définition originale des Sols Subarides Brun-Rouge (MAIGNIEN, 1959). L'organisation du profil, la répartition du plasma minéral restent ceux des sols ferrugineux peu lessivés; la médiocrité des taux de matière organique est celle des faciès brun-rouge nigériens.

La plupart des profils des sommets dunaires ont des horizons A très épais, moins uniformément bruns, très pauvres en fines, diversement lités, abruptement séparés des horizons B. On les interprète comme des Séries rubéfiées superficiellement rajeunies parce que nombre d'entre eux sont effectivement fossilisés sous des apports récents (NM 43, ci-dessous et NM 36) :

site de Tomkous (NM 36)

Lat. : 14° 41' 40" N.

Long. : 1° 16' 40" E.

Dune ronde isolée sur le bas-glacis; sommet; culture de pénicillaire de l'année; 420 mm.

Surface : successivement : 5 cm de sables particuliers en ridules éoliennes/croûte pluviale fine/4 cm de sables particuliers/sommet de l'horizon suivant

- 0-23 cm : brun-jaune clair (7,5 YR 6/5); très sableux
(petits graviers et débris de poteries); lita-
1.A ge oblique linéaire et stries grises sub-
horizontales flexueuses; débit régulier et co-
hésion faible; très forte porosité intergrana-
laire

- 23-65 cm : brun rosé (5 YR 5/3,5); très sableux
 (avec graviers et tessons); raies rougies
 1.(B) très fines et discontinues; débit finement
 mamelonné; porosité semi-tubulaire très
 11.A2 fine et bien développée; cohésion moyenne
 Contraste fort; pas de transition
- 65-115 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/6); réseau brun-jaune
 fin; raies rouges flexueuses (e = 0,5 cm,
 11.B1 b d = 10 cm); sableux; débit très mamelonné;
 cohésion forte; durci; sommet compact; po-
 rosité semi-tubulaire à la base
- 115-150 cm : plus rouge (5 YR 4/8); raies homochromes
 peu distinctes anastomosées; moins sableux;
 11.B.2 débit plus finement mamelonné; cohésion
 forte à très forte; très durci; plus com-
 pact
 Contraste faible, transition graduelle
- 150-175 cm : rouge-jaune plus clair (5 YR 4,5/8); plus
 sableux; débit plus régulier; cohésion
 moyenne à forte; porosité plutôt inter-
 granulaire; moins durci.

L'histoire récente de ce profil peut être reconstituée
 ainsi :

- une période de décapage superficiel; les horizons
 A ont été suffisamment amincis pour que les hori-
 zons B durcissent (cf. Série de Chinielga, p. 756);
- fossilisation; un mélange de sables éoliens et de
 débris provenant d'un site habité recouvre la surfa-
 ce ainsi décapée (-65 cm);
- pédogenèse; l'horizon A.1 se reforme (0-23 cm) la
 porosité biogénète s'accroît au-dessus des horizons
 B anciens (23-65 cm); des stries, dont on constate
 ici qu'elles sont distinctes par nature des traces
 du litage, et des raies se mettent en place, proba-
 blement parce que la stratification ralentit le drai-
 nage;
- dégradation superficielle; le travail à la houe ac-
 croît le volume de sables mobilisé par le vent en
 saison sèche et refixé pendant la saison des pluies

(sables particulières et croûtes pluviales de surface);

- la couleur de l'horizon situé sous l'horizon A.1 a été soit acquise après la fossilisation, soit héritée des épipédons peu épais qui transitaient sur le profil en voie d'érosion; le caractère partiellement allochtone du recouvrement appuie la première hypothèse;
- les raies des horizons B anciens sont un événement tardif dans l'évolution du profil, probablement lié à ces remaniements récents à en juger par leur continuité avec celles de l'horizon l.(B) sans que l'on puisse préciser davantage.

Elle permet de tenir pour actuels les mécanismes ou processus suivants :

- formation d'épipédons à base poreuse, à sommet brun;
- mobilité plasmique se traduisant par la formation de raies et de stries, peut-être par un début de rubéfaction au dessous de l'horizon A.1

La pédogenèse subaride apparaît ainsi comme une atténuation de la pédogenèse ayant produit les sols ferrugineux; elle prend place entre des crises érosives mineures auxquelles l'homme participe.

Les Séries rubéfiées à raies ou bandes, avec action de nappe, des bas de pente

Site de Boni (NM 43)

Lat. : 14° 43' 0" N.
Long. : 1° 13' 16" E.

Base du glacis dont le profil précité NM 47 occupe le sommet; surface ondulée; jachère; quelques Acacia raddiana et C. glutinosum; tapis à Cenchrus et Ctenium; 420 mm.

Surface : couche de 6 cm de sables particulières (avec quartz et feldspath provenant des boulders affleurants) ramassée en ridules; au dessous: fine croûte grise

O-21 cm : brun (10 YR 5,5/3); couches de sables brun-jaune
A.1 p séparées de stries grises compactes; très sableux; débit régulier; cohésion faible

- 21-40 cm : brun-jaune (7,5 YR 6/5); stries grises;
A.2 sableux; débit irrégulier; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire très fine
- Pas de transition
- 40 cm : surface festonnée grise et compacte au dessous de laquelle s'est fixée une raie brun-rouge épaisse de 5 mm
- 40-112 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/6); raies rouges (e = 0,5 cm, d = 5 cm) anastomosées à sommet plus poreux et moins coloré; sableux; débit finement mamelonné; cohésion moyenne à forte; volumes durcis; porosité semi-tubulaire plus fine
B.1 b
- 112-187 cm : jaune-rouge clair; raies rouges (e = 0,5-1 cm, d = 5-20 cm); légèrement plus riche en fines; même structure; moins poreux
B.2
- 187-240 cm : jaune (10 YR 7/6); bandes jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6) horizontales (e = 3 cm, h = 10 cm) à sommet nettement décoloré sur 5 mm; très sableux, les bandes sableuses; débit régulier; cohésion faible, forte à très forte dans les bandes; porosité intergranulaire, semi-tubulaire dans les bandes; concrétions manganésifères en deux niveaux centrés sur deux bandes, à 190 et à 230 cm, très noires, allongées (0,5-4 cm)
E/B (g) cn

Le profil est encore fossilisé par son propre épipédon. En profondeur les bandes, ou raies à micro-horizons épaisses, se situent dans un horizon lui-même très pauvre en fines, jauni par la nappe, où le concrétionnement a été guidé par les discontinuités illuviales.

Les Séries à action de nappe en profondeur des plaines sableuses

Site de Gaya (GB 61)

Lat. : 14° 37' 40" N.
Long. : 0° 41' 40" E.
Cote : 247 m

Plaine sableuse limitée par deux cordons E.2 parallèles; pas de pente décelable à l'oeil, de 0,3% sur la coupe

topographique; prairie d'Aristida mutabilis; 430 mm

- Surface : mince couche de sables particulaires
- 0-13 cm : brun (10 YR 5/4); sableux; feuilleté; cohésion moyenne
A.1
- 13-28 cm : brun-jaune (7,5 YR 5/5); sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire fine
A.2
- 28-77 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); moins sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à forte; plus poreux
B
- 77-137 cm : jaune-brun (7,5 YR 5/6); sableux; débit régulier; porosité intergranulaire; nettement durci
B.C (g)
- 137-170 .. jaune (10 YR 7/6); plus sableux; débit régulier; cohésion moyenne; une raie brune
C (g)

Il est possible de donner une synthèse morphologique de ces sols qui, largement représentés en rive ouest du Niger, y ont été étudiés en détail lors de la prospection du bassin du Gorouol. Leur organisation est au niveau de celle des Séries rubéfiées en ce qui concerne le lessivage, leur épipédon est du type subaride le plus beau, les traits de nappe sont constants et nets :

Horizon A.1

- 10-20 cm, médiane 17 cm
- brun (10 YR 4-5/4 et 7,5 YR 4/4)
- sableux; jamais fortement vanné
- souvent feuilleté sur 10 cm; débit régulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire médiocre

Horizon A.2 ou A.12

- 10-18 cm; manque parfois (érosion hydrique)
- brun-jaune (7,5 YR 5/5) brun rougeâtre (5 YR 4/4-5)
- sableux
- débit légèrement mamelonné; cohésion variable, faible, faible à moyenne, parfois forte; porosité semi-tubulaire, sinon intergranulaire et plus forte qu'en A.1

Horizon B

- 45 à 50 cm; sommet entre 28 et 33 cm (non érodé)
- rouge-jaune (5 YR 4/8); parfois brun-rouge (5 YR 4/4)
- le moins sableux
- débit mamelonné, parfois polyédrique; cohésion moyenne; porosité analogue à celle de l'horizon ci-dessus.

Horizon B.C (g)

- 33 à 60 cm; entre 65 et 75 cm
- jaune-brun (7,5 YR 5/6, très approximatif)
- sableux
- débit régulier à mamelonné; cohésion moyenne à forte; durci; moins poreux.

Horizon C (g)

- sommet entre 110 et 150 cm
- diverses nuances 10 YR, blanc sale (6/3) jaune très clair (7/6) brun-jaune (5/5-8)
- parfois quelques raies brunes (dans l'épaisseur) ou des taches rouges (2,5 YR 3/4) ou des concrétions ferrugineuses stalagmiformes (3 cm, au sommet)
- plus sableux, les taux de fines n'étant jamais aussi faibles que dans les horizons E/B
- débit régulier, cohésion moyenne ou forte, porosité intergranulaire

Les diverses nuances morphologiques ne sont pas disposées en séquences le long de ces très faibles pentes, à une exception près. Les faciès brunis (horizon B 5 YR 4/4) peuvent se situer au tiers supérieur de la déclivité (GB 66); les concrétions apparaissent aussi bien dans ce même site qu'au niveau du thalweg fossile (GB 87 et 77). Les raies, seules, n'ont été observées que sur les pentes les moins faibles (0,3-0,55%) en tête de glacis; comme elles n'existent pas non plus dans les sols des crêtes dunaires non superficiellement durcis, elles correspondent à certaines limites du drainage.

Les Séries septentrionales peuvent être classées selon le même critère de lessivage apparent croissant :

Séries rubéfiées bien drainées

	A.1	A.2	B	B.C
cote du sommet (cm)			28-40	155
couleurs	7,5 YR		5 YR	7,5 YR
maximum de structure			sommet	
<u>Profil fossilisé</u>				
	A	(B)	B1 b	B.2
cote du sommet			65	150
couleurs	7,5 YR		5 YR	5 YR
maximum de structure			+	
effets du remaniement	stries	raies	raies ? durci	raies ? durci

Séries rubéfiées à action de nappe

	A.1	A.2	B	B.C(g)	C g
Cote du sommet			28-33	65-75	
couleurs	7,5-10 YR		5 YR	7,5 YR	10 YR
maximum de structure			+		
traits divers				durci	durci raies concr.

Série à horizon B partiellement discontinu (bandes)
avec action de nappe

	A.1p	A.2	B.1b	B.2	E/B g cn
cote du sommet			40		
couleur	10 YR		5 YR	5 YR	10 YR
maximum de structure			+		
traits divers	stries	stries	raies	raies	bandes concr.

Les taux de matière organique sont relativement élevés hors des aires cultivées. Les variations et l'ordre de grandeur des taux d'argile et de fer sont dans les normes habituelles. Dans l'horizon A, l'effet du vannage abaisse les quantités d'argile granulométrique à moins de 3%, alors qu'elles sont de 6% où le vent agit peu. Dans les bandes, elles sont du même ordre de grandeur que dans les horizons B sus-jacents; le fer libre varie parallèlement à l'argile et forme une proportion plus faible du fer total que sur les substrats gréseux (minéraux). Le coefficient de saturation dépasse 75% et le pH dépasse 6 en surface, ces deux

grandeurs croissant avec irrégularité vers la profondeur; les sols à bande sont ici encore les plus acides (horizons B). Les proportions élevées de calcium caractérisent toujours l'équilibre des bases :

NM 47		Ca	Mg	K	Na	T-S
(% de T)	horizon A1	50	24	2	1	23
	horizon B2	68	27	2,5	0,5	2

Selon la texture, les réserves en eau varient de 40 à 70 mm/m à PF 3. Les sables n'étant pas excessivement fins, les perméabilités de l'horizon A.1 sont moyennes (2 à 3 cm/h).

2.2613

Conclusions

Les Séries rubéfiées, à raies, à horizon B discontinu, se disposent dans l'ordre en toposéquences sauf sur les modelés très plats du bassin du Gorouol où les sols à bandes n'existent que sur des secteurs relativement déclives entre des Séries rubéfiées. Les effets d'une nappe temporaire sont omniprésents hors des crêtes dunaies ou des sommets de versants. Ce sont le jaunissement, le durcissement, parfois le concrétionnement ferrugineux du toit et la décoloration, le concrétionnement manganésifère du magasin. Ils s'ajoutent à la différenciation en sol ferrugineux dans les Séries rubéfiées ou sont guidés par elle dans les Séries à horizon B discontinu car l'engorgement est l'effet et de l'évolution propre des sols et du drainage général. La répartition des Séries montre que ce dernier est plus difficile sur les glacis granitiques que sur les glacis gréseux où les sols à raies envahissent plus largement un modelé dunaire comparable sans que l'hydromorphie apparaisse (cf. pp. 722-748).

La richesse relative en bases, en calcium, les pH facilement proches de la neutralité sont des caractéristiques constitutionnelles lointainement héritées des toposéquences autochtones. Elles sont corrélées avec des teintes des horizons A plus brunes que sur tout autre support, avec des taux de matière organique plus élevés qu'ils ne le sont ordinairement dans la famille 2, ces deux effets probables de la saturation calcique étant disjoints en partie. Ces propriétés coexistent avec les mêmes organisations de sols ferrugineux que sur les matériaux acides, elles ne sont donc pas dues à une évolution différente. Elles facilitent cependant le classement des sols septentrionaux

parmi les sols subarides dont ils approchent davantage de la définition théorique.

En milieu sahélien, les horizons A montrent les traces de successions de périodes d'érosion et de reconstitution. Le vannage du matériel superficiel qui peut perdre la moitié des fines et le durcissement des horizons B sont légués par les premières. Les secondes reforment le profil de la matière organique et de la porosité, donnent une première ébauche de succession A-B dans le matériel rajeuni où des stries, des raies, peut-être une certaine rubéfaction montrent que les mouvements du plasma sont toujours actuels avec 400 mm de pluies. Avec quelques nuances dans les pH, dans l'épaisseur des horizons A.2, ces transformations font toute la différence avec les Séries méridionales homologues où des phases pédogénétiques tardives analogues, telles l'apparition de raies au sommet des horizons B, ne pouvant pas être associées à un brassage mécanique évident, sont attribuées à la seule dynamique interne du profil.

2.262

Séquences du remblai du Kadzel (terrasse de Difa)

Cette formation a localement la plus grande importance économique parce qu'elle porte les terres de culture sèche les meilleures du Kadzel, celles qui permettent l'existence de gros centres tels que Difa. Les facteurs pédogénétiques y sont :

- des sables quartzeux très fins, à feldspath et micas, semblables par leur granulométrie et leur morphoscopie à ceux des alluvions des remblais méridionaux (Annexe IV, pp. 58 et...).
- une topographie plane (cf. p.571) s'inclinant vers le sillon central et vers l'aval; elle n'indique pas ou peu les variations de drainage enregistrées par les profils; les accidents appréciables du modelé portent des sols différents, juvéniles, bruns (S.3) sur des buttes éoliennes, hydromorphes sur d'anciens méandres de la Komadougou
- une pluviosité de 375 à 400 mm
- un niveau phréatique profond mais des traces d'engorgement de nappe (ségrégations, calcaire, sodium) à la base de la plupart des solum, jugées inactuelles

- une végétation typiquement sahélienne de savane arborée à *Acacia raddiana*, *Commiphora*, gommiers et à tapis prairial de *Schoenefeldia*, *Cenchrus*, très largement défriché pour la culture du mil
- une érosion superficielle de type subaride mais très accentuée et généralisée non seulement au remblai mais à toutes les alluvions du Kadzel; elle a l'aspect habituel d'une mosaïque de surfaces décapées et de surfaces couvertes de sables pulvérulents ruisselés et bosselés par le vent; elle produit des horizons A très sableux, plus régulièrement étendus que sur toute autre formation, reposant par un contact planique sur des horizons ou des niveaux sédimentaires plus argileux; cette discontinuité est souvent unique, jonchée de tessons, soulignée d'une croûte pluviale et enfouie à une profondeur peu variable (25 à 50 cm); elle démontre alors la réalité du décapage et de la fossilisation, de l'intervention de l'homme dans ces mécanismes; elle suggère l'existence d'une période d'érosion accélérée anthropique dans un passé récent.

La topographie ne permet d'ordonner les types de sols que dans les cas extrêmes; nous les classerons ci-dessous par ordre de drainage estimé décroissant.

Les séries rubéfiées, de faciès de transition ferrugineux à brun-rouge, à action de nappe en profondeur

Site de Boudoum (NB 60)

Lat. : 13° 9' 50" N.

Long. : 12° 17' 25" E.

Plaine non ondulée; savane à *Acacia raddiana*; 400 mm de pluies

Surface : petites accumulations sableuses aux pieds des touffes de *Boscia senegalensis* (rebdhou); croûte pluviale noire de 1 mm coiffant 2 cm de sables particuliers lités (ruissellement) par des croûtes semblables

0-11 cm : brun-jaune (7,5 YR 5,5/6); très finement sableux; débit régulier; cohésion moyenne; porosité très fine et médiocre; quelques radicelles verticales

A.1

- 11-33 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6); moins sableux; débit légèrement mamelonné; des fissures fines espacées de 20-40 cm pénétrant jusqu'à 40 cm; cohésion moyenne; porosité plus grossière et développée; zone de ramification du chevelu
A.2
- 33-57 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8) diffusément hétérogène; moins sableux; débit fortement mamelonné; porosités semi-tubulaire et tubulaire fines (1 mm) bien développées; des volumes compacts; quelques radicelles verticales
B.21
- 57-88 cm : même couleur; ségrégations rougeâtres autour d'agrotubules; sableux à sablo-argileux; débit polyédrique (1 cm); plus compacts; peu de radicelles
B.22 t
- 88-148 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 7/6); plus sableux; débit plus régulier; compact
BC (g)
- 148-200 cm : blanc jaunâtre (10 YR 8/4) à taches jaune-rouge (7,5 YR 7/6) et jaunes (2,5 Y 8/3); très sableux; massif et compact
C (g)

Le profil a tous les caractères d'un sol ferrugineux peu lessivé à l'exception de l'épaisseur des horizons A qui est à la limite inférieure de celle des épipedons des termes à drainage équivalent (horizon B 5 YR) de la toposéquence-type (33 à 66 cm). La zone rouge est relativement mince (40 à 50 cm) et située haut dans le profil dont la partie inférieure est jaunie, blanchie ou bariolée par la nappe; ce caractère est commun dans les sols de remblais (cf. p. 659 et 673) de plaines à substrats peu perméables (cf. p. 780). La répartition de l'argile et du fer est de type lessivé normal; les taux et les structures sont ceux de la famille 2; ces propriétés éloignent donc les sols du Kadzel de ceux des remblais de la Mekrou du Gorouol et du Niger où elles ne sont qu'occasionnelles.

On attribue à un accroissement de l'hydromorphie les transformations suivantes de ce profil considéré comme le type bien drainé :

- l'horizon B brunit, sa couleur passant successivement à 5 YR 5/7, à 7,5 YR 5/6, à 10 YR 5/6; la cohésion en devient forte; ce durcissement pouvant se confondre avec celui qui est la conséquence de l'érosion

- les horizons A brunissent également de 7,5 YR 5/5 à 10 YR 5-6/3-4. Le pH augmente souvent mais non nécessairement; il existe en effet des sols brunis acides (NB 61). Les taux de matière organique peuvent être également plus élevés mais ne sont pas corrélés avec l'assombrissement
- des dépôts calcaires friables accompagnent les couleurs caractéristiques de l'engorgement de nappe dont le toit passe de la cote -90 cm à la cote -40 cm, affectant les horizons BC puis B2 t. Le pH croît, ce d'autant plus que les proportions de sodium peuvent alors être fortes.

Cette réduction du drainage ne modifie pas le lessivage qui paraît très stable sur ce remblai où un seul profil à bandes (NC 4) a été décrit. Les transformations imputables à l'érosion-fossilisation sont les suivantes, classées par évidence croissante :

- le profil, parfaitement reconstitué, ne montre qu'une discontinuité mécanique au sommet de l'horizon B qui est considérablement durci sans que sa base soit engorgée (NC 6)
- dans la partie supérieure d'un niveau ainsi durci, des tessons, un matériel cendreux sont disséminés en un lit discontinu; la cohésion de la partie de l'épipédon immédiatement au-dessus est faible, préfigurant le contact planique décrit ci-dessous (NC 7)
- une croûte pluviale simple ou complexe tronque le sommet durci des horizons B (B.21 et plus souvent B.22 t) qui montre alors sur quelques centimètres les traces d'un engorgement léger (NB 62); l'unité est constituée d'un micro-horizon millimétrique gris et compact en continuité avec l'horizon sous-jacent, recouvert d'une couche très fine de sables peu colorés et particuliers (NB 94); elle peut se répéter sur 1 à 4 cm, les couches de sables étant alors légèrement rubéfiées (NB 63); l'épipédon paraît posé sur les horizons B, ce d'autant plus qu'à ce niveau sa structure est presque particulière et que des tessons reposent sur ou dans la croûte (NB 63).

Séries à faciès brun-rouge, à action de nappe en profondeur, à amas calcaires, parfois alcalisées, phases tronquées-fossilisées

Elles forment la plupart des sols (2/3) sur les mêmes sites que les séries mieux drainées. On leur attribue le faciès brun-rouge comme conséquence de la réduction du drainage, de la généralisation de l'érosion : épipédons plus sombres, à pH plus élevés, ou d'épaisseur réduite.

Site de Deysa (NB 62)

Lat. : 13° 15' 0" N.

Long. : 12° 31' 23" E.

Plaine sableuse; savane à *Acacia raddiana* et à *Commiphora*, prairie à *Schoenefeldia*; 380 mm.

Surface : 3 mm de débris organiques peu décomposés

0-15 cm : brun-jaune (7,5 YR 5,5/5); très finement sableux; feuilleté sur 3 cm puis régulièrement divisé par des fissures verticales très fines espacées de 35 cm; débit peu mamelonné; cohésion moyenne; porosité tubulaire; les racines suivent les fissures horizontales et verticales

A.1

15-36 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/7); sableux; également fissuré; débit polyédrique; cohésion moyenne
A.12
11.B21(?) à forte; porosité tubulaire, avec agrotubules; radicelles dans les fissures

36 cm : apparition de taches ferrugineuses dans les pores; lit de sables brun-clair particuliers

36-37 cm : croûte complexe, à surface lissée, en continuité structurale avec l'horizon sous-jacent; plusieurs lits bruns séparés par des lits de sables rougis plus poreux

37-75 cm : rouge-jaune (5 YR 5/7); des taches rouges très diffuses sur les 3 premiers centimètres; le moins sableux; fissures verticales ne prolongeant pas celles de l'horizon sus-jacent; massif, débit régulier, à arêtes vives; cohésion très forte; très dur; pores lissés; peu de racines (perforent la croûte)
11.B.22 tb

75-105 cm : jaune brunâtre (10 YR 6,5/6); plus sableux
105-180 cm : jaune pâle (2,5 Y 7,5/4); même texture; des
BC (g) Ca amas calcaires
180-220 cm : gris clair (2,5 Y 6,5/3); le plus sableux;
C (g) Ca des amas calcaires

L'horizon B.2 a été fossilisé par un matériel plus sableux dont la rubéfaction peut être attribuée soit à l'évolution in situ, soit à l'héritage. Les horizons BC ca sont alcalisés et la convergence avec un sol halomorphe planique est remarquable :

- la discontinuité due à l'érosion mime celle qui existe au sommet des horizons B solonetziques; dans les deux cas, un brassage mécanique a accru un contraste dû au lessivage
- le durcissement et l'hydromorphie légère des horizons B tronqués ressemblent à ceux des calottes colonnaires (cf. p. 427)
- la fissuration amorce une structure prismatique; elle n'est jamais totalement absente des sols de la famille 2; elle est accentuée ici par la finesse des sables (cf. profil précédent) et par la réduction du drainage
- la nappe, carbonatée calcique et sodique, est analogue aux solutions des sols halomorphes des glacis du socle, du Crétacé

L'existence d'une séquence sols ferrugineux-sols halomorphes est cependant peu plausible sur le remblai du Kadzel car la concomitance de ces caractères et du sodium est faible, non seulement dans la famille 2 où cette morphologie apparaît en milieu sahélien indépendamment du chimisme, mais aussi dans cette formation elle-même où son extension paraît due à la finesse du matériel. On ne peut même pas être assuré que le sodium, limitant en principe la perméabilité, favorise ces mécanismes car les sols brun-rouge à amas calcaires non alcalisés ne diffèrent que par des détails non significatifs (NC 6) : horizon B.21 jaune-rouge (7,5 YR 5/6) et non remanié, horizon B.22t à amas calcaires, horizon C plus décoloré (10 YR 8/4) et rapidement particulaire (E/B ?).

Les Séries à faciès bruni, à action de nappe en profondeur, à amas calcaires, parfois alcalisées, phases tronquées-fossilisées

On les a décrites soit sur un modelé identique, soit dans de minimes dépressions. Elles sont plus fréquentes en aval de la formation.

Site de Geskerou (NB 63)

Lat. : 13° 36' 35" N.

Long. : 12° 54' 48" E.

Plaine sableuse; des traces sinueuses d'anciens défluent; savane arbustive à *Acacia raddiana*, *Cordia rothii*; prairie à *Schoenefeldia*; 325 mm.

- Surface : 1 cm de sables particuliers sur une croûte pluviale grise; poudre éolienne grise sur le sol et les végétaux; termitières
- 0-12 cm : gris sur 3 cm puis brun-jaune (10 YR 5,5/4); très sableux; quelques fissures verticales;
A.11 feuilleté sur 1 cm puis massif à débit régulier et cohésion moyenne; compact, seulement quelques pores tubulaires fins; radicules horizontales sur les 3 premiers centimètres puis verticales, peu nombreuses
- 12-25 cm : jaune brunâtre (10 YR 5,5/6); sableux; débit régulier, cohésion faible; porosité plus forte;
A.12 chevelu radiculaire très développé; à la base tessons
- 25-29 cm : surface flexueuse; empilement de lits très fins
croûte alternativement gris et rougeâtres; en continuité avec l'horizon suivant
- 29-40 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5,5/6); taches diffuses rougeâtres; plus argileux; débit mamelonné;
B.1 b cohésion moyenne à forte; des volumes durcis; porosité tubulaire plus grossière; encore quelques racines
- 40-80 cm : brun jaunâtre (10 YR 5/6); le plus argileux;
B21 t Ca calcaire en petits amas (2 mm) ou en pseudomycelium dans les pores; débit polyédrique (2 cm); cohésion moyenne à forte; porosité plus fine et faible
(g)

80-110 cm : jaune brunâtre clair (10 YR 6,5/5); très
B22 t (g) fines taches jaunes et noires dans les po-
Ca res; même texture; calcaire plus abondant

110-220 cm : jaune (2,5 Y 7,5/4); taches jaunes; plus
BC (g) sableux; le calcaire disparaît au dessous
de 180 cm; débit régulier; cohésion faible

Les horizons BC et B.22 sont riches en sodium et l'en-semble du profil est neutre à légèrement alcalin. Ces propriétés n'ont guère d'incidence sur la morphologie, qui est analogue à celle des sols rouges à la couleur près, car il existe des sols brunis, acides en dehors des horizons (g) très semblables :

site de Chetimari (NB 61)

Lat. : 13° 10' 48" N.

Long. : 12° 24' 27" E.

Très légère dépression à fond plat creusée dans la plaine sableuse; jachère à Callotropis; 400 mm.

Surface : fine croûte pluviale

0-10 cm : brun-jaune (10 YR 5,5/4); très sableux;
A.11 feuilleté à nuciforme sur 2 cm puis débit
régulier; cohésion moyenne; peu poreux; ra-
dicelles obliques peu ramifiées

M = 0,40 A = 5,0 Fl = 0,58 S = 2,4 pH = 6,3
C/N = 4,2 L = 2,2 Fl/Ft = 59 V = 60 Na/Nt = 0,7%
CE (mmhos) = 0,035

10-25 cm : brun plus vif; même texture; fissures fines
tous les 40 cm; débit légèrement mamelonné;
A.12 porosité plus forte, tubulaire et semi-tubu-
laire; cohésion plus faible; chevelu radicu-
laire dense

25-75 cm : jaune brunâtre (10 YR 5,5/6); sablo-argileux;
débit très polyédrique; cohésion moyenne à
B.2 t b ? forte; des volumes durcis; porosité de même
type moins forte; moins de racines

M = 0,20 A = 15,0 Fl = 1,19 S = 7,2 pH = 6,2
C/N = 5,8 L = 2,0 Fl/Ft = 69 V = 70 Na/Nt = 1
CE = 0,033

75-200 cm : blanc jaunâtre (10 YR 8/4); devient très
progressivement sableux; traces calcaires à
120 cm; débit régulier; cohésion faible

M = 0,07 A = 3,0 Fl = 0,23 S = 1,11 pH = 8,2
 C/N = 7,2 L = 0 Fl/Ft = 43 Na/S = 2,7
 CE = 0,029

2.2621 Données analytiques

.....

On associe à la richesse en bases les taux de matière organique, relativement élevés pour la pluviosité, des sols rubéfiés non cultivés ni remaniés (0,4-0,5%). Ils atteignent 0,8% dans les Séries brunies et s'abaissent à 0,16% dans des apports de couleur claire (10 YR 6/4) particulières, donc récents (NC 4). Ces remaniements modifient la répartition verticale du carbone qui, du type décroissant habituel, peut devenir irrégulièrement "isohumique" lorsque le sommet des horizons B fossilisés est presque aussi organique que l'horizon A.12.

La finesse des sables (80 à 90% de sables fins, modes entre 0,09 et 0,12 mm) est la cause principale du comportement physique médiocre des épipédons qui sont peu perméables (K (cm/h) de 0,4 à 0,8 et instabilité de 0,5 à 4) battants, difficilement pénétrés par les racines dans les sols les moins bien drainés, facilement décapés et stérilisés par l'érosion en nappe. Sans aucune exception l'horizon A.1 est toujours plus riche en limon fin que les horizons immédiatement sous-jacents; on peut y voir un effet des chutes de poussières éoliennes qui sont exceptionnellement fortes dans le Kadzel, exemple :

	NC 4		NB 60		NB 62		NB 63	
	A.11	A.12	A.1	A.2	A.11	A.12	A.11	A.12
A %	0	5,5	4,3	7,5	7,2	10	4,0	8,0
Lf %	6,5	3,0	5,8	4,0	3,0	1,5	4,5	1,7

La répartition de l'argile est de type lessivé (3 a-b-c) avec des horizons B texturaux très nets. Le minimum des taux dans l'épipédon est inférieur à 1,5% dans les matériaux d'apports récents et de l'ordre de 4% dans les sols apparemment en place : les textures superficielles sont donc les effets combinés du lessivage, de l'appauvrissement mécanique et du rajeunissement des horizons B (NB 62). De même les taux très bas d'horizons "C" très décolorés pourraient être en réalité ceux d'horizons éluviaux analogues aux niveaux très sableux (E/B) séparant les bandes du profil NC 4 (A = 4-5% contre 3% dans certains C). Nous donnons comme estimation des rapports de lessivage ceux du profil NB 60, ni remanié, ni lavé :

argile : B/A : 2,8 B/C : 2,7
 fer libre : B/A : 1,8 B/C : 3,7

Les capacités d'échange sont fortes (T/A de 55 à 75 méq/100 g d'argile granulométrique, moyenne de 62); en conséquence, la somme des bases échangeables est toujours importante même dans les sols rubéfiés dont la partie supérieure au moins est fortement désaturée; de même l'effet d'accroissement propre à l'horizon A.1 est peu sensible parce que plus faible que ceux que donnent le profil textural et la nappe. A cette dernière reviennent des pH modérément alcalins, des proportions de sodium élevées, des taux de sels solubles inférieurs ou égaux à la limite des sols non salins ou peu salins (respectivement 200 mg et 400 mg/100 g) des taux de carbonates de calcium plus élevés quoique médiocres (1 à 2%). Si les cotes de la nappe rendent improbables le dépôt actuel de sels à la base des profils, ce que corrobore la proportion élevée de l'insoluble à l'eau dans les sels figurés (90%) il est certain que les eaux pluviales redistribuent le calcaire qui peut se localiser dans des pores racinaires très frais. Comme sur le socle granitique les cations minoritaires sont Mg et K, ce dernier montrant une concentration superficielle remarquable dans le profil rubéfié type (NB 60) :

	NB 60, brun-rouge					NB 63, brun				
en % de T ou S	Ca	Mg	K	Na	T-S	Ca	Mg	K	Na	T-S
A.1	34	15,5	3,5	1	46	52	15	1,2	3,8	28
B.2	31,6	15	0,7	0,7	52	83	10	0,5	6,5	0
C g	35,5	21,5	0	2	41	72	8	3	17	0

La présence de sols brunis mais pauvres en sodium et par là à pH peu élevés est probablement l'effet de l'hétérogénéité sur de petites distances de la composition saline de la nappe que l'on observe encore dans les aires halomorphes de la cuvette où des lentilles d'eaux très diluées ou neutres et chlorurées apparaissent en bordure des salines à carbonates et sulfates

2.2622

Conclusions

L'uniformité du matériau et de la topographie, propres aux remblais, ont donné celle de l'organisation pédologique qui se ramène presque toujours, indépendamment de l'action de la nappe et de l'érosion, à :

A.1 - A.2 - B.1 (ou 21) - B.22 - BC - C
couleur texture
structure

Elle est caractéristique de Séries bien évoluées à drainage moyen car elle est analogue ou identique à celle des termes moyens et inférieurs des toposéquences-types méridionales, à celle des ensablements aplanis du Quaternaire ancien de Maradi (Dan Isa) du Crétacé (Dan Makao) des glacis sur granite (Séries méridionales). La généralisation de la nappe et la raréfaction des accumulations discontinues, déjà associées dans les sables du Liptako, sont liées. La nappe, carbonatée calcique et sodique, est qualitativement proche de celle du socle mais elle est plus concentrée à cause de la situation au centre de la cuvette; ses dépôts sont plus abondants, plus alcalins; elle ne produit pas de concrétionnement ferrugineux qui se cantonne presque exclusivement sur la bordure de la cuvette; elle provoque les effets habituels d'hydratation (jaunissement) de durcissement à son toit, peut-être de lavage de l'ensemble du plasma minéral (E/B).

Le brunissement, l'accroissement des pH, l'augmentation des taux de matière organique sont trois effets indépendants de la diminution du drainage. Il est probable que la nature de l'argile est responsable de l'extension des sols brunis qui sont toujours plus importants où les capacités d'échange et les taux de calcium sont élevés (Ader Douchi).

La finesse du matériau a accentué les transformations des épipédons qui sont de même nature que celles qui ont été analysées au nord du Liptako. On y décèle la même alternance érosion-reconstitution, avec l'intervention de l'homme dans la première phase, avec la formation douteuse d'horizons rubéfiés dans la seconde.

2.263 Les sols ferrugineux du remblai du Goulbi de Maradi

Le remblai forme une banquette étroite dominant de quelques mètres les alluvions récentes du lit majeur, surplombée par l'escarpement entaillant le bas-glacis et creusé dans les alluvions à galets et les grès sous-jacents. Ces décrochements sont adoucis en aval, ou par la couverture sableuse, ou par accident. Ainsi le talus limitant la banquette vers le lit majeur peut disparaître. Côté glacis, la topographie ordinairement fort aplanie peut montrer des ondulations très molles ou un petit bourrelet dunaire. Les sables ont la même granulométrie que

ceux des alluvions des Goulbis (mode principal : 0,34 mm, mode secondaire, 0,71 mm, NE 51) mais sont légèrement plus étalés vers les petites tailles (p. 65). Leur base passe à des graviers. Elle héberge la nappe en saison sèche en des points où le talus se raccorde graduellement aux alluvions récentes. La pluviosité varie de 625 à 700 mm. Une humidité élevée est indiquée par la densité des cultures (arachide, mils) par le travail du sol en billons, par la vigueur des recrûs (*Bauhinia reticulata*, *Zizyphus*, *Guiera*) par la nature des arbres conservés (*Butyrospermum*, *Parkia*, *Prosopis*, *Khaya*, *Faidherbia*). Les sols s'apparentent plus à ceux des remblais qu'à ceux des niveaux T.3 (cf. p. 556). Ils ont des épipedons épais et complexes, des horizons B modérément ou peu colorés (5 YR et 7,5 YR, parfois 10 YR) des raies. Le type moyen du flat est modifié au contact des alluvions récentes. Si la nappe est permanente, le concrétionnement ferrugineux est intense et, selon toute apparence, actuel. Si le talus est trop élevé, ce sont les raies et bandes qui prennent un développement considérable. Sur les ondulations et bourrelets dunaires, on pourra observer des sols peu différenciés, très sableux, de la famille 1, par exemple au-dessus de la station agricole de Tarna (NE 71).

2.2631 Série moyenne, rubéfiée, à raies

Site de Maradi (NE 51)

Lat. : 13° 36' 5" N.

Long. : 7° 1' 40" E.

"terrasse" plane; non loin de l'escarpement; cultures avec *Faidherbia*; 625 mm

Surface : des sables particulières

0-18 cm : gris (10 YR 5/2,5); reticulum gris; sableux; massif, débit légèrement mamelonné, lamellaire au sommet; cohésion moyenne; bonne porosité intergranulaire

A.1
M = 0,25 A = 3,5 Fl = 0,45 S = 1,19 pH = 5,6
C/N = 11,5 L = 1,3 Fl/Ft = 85 V = 79 Ca = 0,80

18-33 cm : brun-gris (10 YR 5/3); raies (e = 0,5 cm; d = 10 cm); très sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne. porosités intergranulaire et semi-tubulaire fortes

M = 0,21 A = 4,2 Fl = 0,39 S = 1,56 pH = 5,8
C/N = 10 L = 2,0 Fl/Ft = 60 V = 74 Ca = 0,98

33-70 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/5); raies rouges (e = 1
B.21 t cm); volumes plus jaunes; sableux; débit mamelonné; porosité plus faible que ci-dessus

M = 0,15 A = 5,8 Fl = 0,42 S = 1,45 pH = 5,6
C/N = 9 L = 1,5 Fl/Ft = 68 V = 69 Ca = 0,96

70-156 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/7); raies rouges (e =
B.22 1 cm, d = 20 cm); sableux; débit peu mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire fine

M = 0,08 A = 5,0 Fl = 0,40 S = 1,38 pH = 5,6
C/N = 6,3 L = 1,5 Fl/Ft = 62 V = 69 Ca = 0,92

156-200 cm : jaune clair (10 YR 6/4); raies rougeâtres
C ou BC (g) (e = 0,5 cm, d = 10 cm); des remplissages de sables blancs; très sableux; débit régulier; cohésion moyenne; plus compact

M = 0,06 A = 3,6 Fl = 0,32 S = 1,01 pH = 6,0
C/N = 5,7 L = 1,5 Fl/Ft = 74 V = 67 Ca = 0,67

L'horizon B.22, le plus coloré, se situe entre 80/120 cm et 160/190 cm; sa couleur va du rouge-jaune (5 YR 5-6/7-8) au jaune-rouge (7,5 YR 5-6/8). L'horizon sus-jacent est toujours le mieux structuré et par divers caractères (marbrures, réseau gris) indique un ralentissement du drainage. Les taux maxima d'argile se situent en l'un ou l'autre et atteignent au plus 11%.

2.2632 Série à concrétionnement de nappe

Site de Madaroumfa (ND 24)

Lat. : 13° 18' 09" N.

Long. : 7° 8' 46" E.

Modelé à ondulations très basses de grande amplitude; culture d'arachides, verger de Parkia, Detarium; 625 mm.

Surface : sables particuliers décolorés

0-20 cm : gris-beige (10 YR 6/3); très sableux; débit régulier; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire et tubulaire (0,5 mm) très fines
A.1p

- 20-40 cm : beige (brun-jaune clair : 10 YR 6/5); sableux; débit irrégulier; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire (0,25 mm) bien développée
A.2
- 40-71 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 6,5/5); réseau beige très fin; raies peu contrastées (e = 0,5 cm, d = 15 cm); sableux; débit polyédrique; cohésion moyenne à forte
B.21
- 71-190 cm : rouge-jaune (5 YR 6,5/8); réseau beige; raies rougies jusqu'à 165 cm; des volumes compacts plus foncés (0,5 cm): le plus argileux; débit très mamelonné: cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire peu développée; quelques pores tubulaires (1 cm)
B.22 t
- à 90 cm : humide
- à 165cm : dans la frange capillaire (21.1.63)
- 190-235 cm : banc à base horizontale et continue de concrétions ferrugineuses cimentant les sables; colonnettes verticales creuses avec lumière centrale (Ø de 2 à 20 mm) agglomérées sans être soudées en masse larges de 15 cm environ; les ciments sont ferrugineux et brun rougeâtre, très durs, à la base, noirs, manganésifères, plus tendres au sommet; matrice sableuse très humide jaune-rouge avec un réseau de pores décolorés gris
B.31 Fe
cn g
- 235-260 cm : sables beiges à réseau de pores décolorés; très humides; concrétions ferrugineuses isodiamétriques et mamelonnées, rouge foncé
B.32 Fe
cn g

2.2633 Séries à horizon B discontinu

Site de Maradi (NE 51)

Lat. : 13° 36' 5" N.
Long. : 7° 1' 40" E.

A 50 m du lit majeur; modelé plan; jachère à Hyphaene, Faidherbia, Zizyphus; 625 mm.

Surface : 5 cm de sables particuliers décolorés

- 0-18 cm : brun (10 YR 5,5/3); raies très fines (2 mm)
 A.1 : rougies, grisées à leur sommet; sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire fine et médiocre; nombreux trous d'insectes
- Contraste faible, transition de 5 cm
- 18-38 cm : brun (10 YR 5/3); raies brun-rouge (3 mm);
 A.2 : sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne; porosité plus grossière et développée; agrotubules grises
- Contraste moyen, transition de 10 cm
- 38-70 cm : gris-brun clair (10 YR 6/2,5); raies (1 cm)
 E/B.21 : très contrastées rouge-jaune (5 YR 4/6) plus grises à leur partie supérieure
- matrice : très sableuse, débit peu mamelonné, cohésion moyenne, porosité intergranulaire fine
 raies : plus argileuses, cohésion forte à très forte
- 70-100 cm : bandes (5-10 cm) anastomosées dans une ma-
 E/B.22 : trice sableuse
 matrice : gris clair (10 YR 6/2,5); très sableuse; particulière; très poreuse
 bandes : jaune rougeâtre (5 YR 6/5) avec volumes gris; sableuses à sablo-argileuses; débit mamelonné; cohésion forte; quelques pores tubulaires
- Contraste nul; transition brève
- 100-158 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); volumes gris à limi-
 B.22 t : tes nettes; raies plus rouges diffuses; sablo-argileux; des fissures verticales de 1 mm; débit mamelonné; cohésion forte; porosité semi-tubulaire grossière et peu développée; compact et dur
- Contraste faible; transition de 20 cm
- 158-200 cm : même couleur, mais hétérogène : marbrures
 B.23 : plus foncées, ou rouges, ou jaunes; plus sableux; débit mamelonné; cohésion excessive; quelques pores tubulaires (0,5 mm); très compact et dur

Les horizons d'accumulation sont successivement formés de raies puis de bandes dans une matrice très lessivée, finalement continue. Les raies situées au-dessus de la base compacte de l'horizon B.22 sont d'une génération plus tardive. Les horizons E/B dépassent 2 m de profondeur sur la pente du talus surplombant le lit majeur. Le solum est alors entièrement gris (10 YR 6/3 en A.1, 10 YR 7/2 en B) très sableux, parcouru de raies jaune-rouge.

2.2634 Données analytiques

Les taux de matière organique (0,25-0,35% en A.1) et les rapports C/N (7-11,5) sont médiocres dans ces terres très cultivées. Comme les accumulations discontinues en sont plus riches que la matrice, la répartition verticale du carbone n'est plus régulièrement décroissante. Elles ne modifient pas les profils de l'argile et du fer, de types lessivés (3 a-b) plus profonds pour celui-ci. Les rapports du fer libre au fer total, minima en A.1, sont du même ordre de grandeur que dans les ensablements de glaciés (Série de Maradi) mais les capacités d'échange (T/A de 20 à 40 méq/100 g) et les proportions du calcium sont plus fortes. Cela situe le degré d'altération du matériel du remblai, pauvre en minéraux altérables (micas) entre celui des sables issus des vieilles alluvions kaoliniques à galets et celui des alluvions récentes micacées issues des altérites pelliculaires du socle cristallin. Ces dernières ont une réaction neutre à légèrement alcaline qui par l'intermédiaire de la nappe sous-alluviale s'étend à la base du remblai :

A.1	:	5,6 - 6,5	
B	:	5,3 - 6,4	(limites de variations du
B.3,g	:	5,7 - 8,4	pH)

La saturation, toujours supérieure à 60%, suit une variation parallèle

2.2635 Conclusions

Cette unité a permis de constater que les dépôts de nappe étaient les concrétions tubulaires ou stalagmiformes. Les raies et bandes n'en sont que des effets indirects, leur contexte morphologique indiquant une humidité moyenne du profil plus élevée que dans les Séries les mieux drainées mais leur site étant hors de la zone phréatique.

La Série de Souloulou

Au confluent des trois Goulbi de Maradi, de Tarka, N'Kaba, les bas-glacis sur Turonien supérieur continental sont fossilisés par une couverture sableuse lacunaire dont le modelé, très aplani ou à ondulations très molles, prolonge vers l'ouest celui des sables de Maradi. Les sols autochtones sont des sols ferrugineux lessivés dont l'hydromorphie de profondeur décèle une médiocre perméabilité du substrat (Série de Sarkaki, p. 293). La pluviosité est comprise entre 525 et 600 mm. La savane à *Sclerocarya* est localement enrichie d'espèces indiquant la proximité des formations rouges de Maradi (*Boswellia*) une humidité élevée en profondeur (*Hyphaene*) la compacité des horizons B (gommiers). Les cultures sont moins nombreuses que plus à l'est sur la Série de Maradi; corrélativement le ruissellement et l'érosion superficielle y sont plus importants.

Site de Souloulou (NE 9)

Lat. : 13° 39' 33" N.

Long. : 6° 29' 20" E.

Modelé en ondulations peu élevées; sommet; savane à *Sclerocarya* et gommiers; 600 mm.

Surface : décapée; croûte pluviale noirâtre; des sables ruisselés

0-5 cm : brun-jaune (10 YR 5/4); sableux; débit horizontal; cohésion moyenne; compact

A.11
M = 0,43 A = 5,7 Fl = 0,4 S = 1,70 pH = 6,0
C/N = 7,6 L = 2,6 Fl/Ft = 80 V = 85 Ca = 1,03

5-15 cm : brun-jaune clair (10 YR 6/4); sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité intergranulaire moyenne

Contraste fort, transition de 10 cm

15-40 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/6); raies plus brunes (e = 1 cm, d = 15 cm); moins sableux; débit très mamelonné; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire forte (0,5 mm)

BA.1
M = 0,26 A = 7,8 Fl = 0,72 S = 1,72 pH = 4,9
C/N = 7,5 L = 3,0 Fl/Ft = 86 V = 51 Ca = 0,89

Contraste très faible; transition de 20 cm

40-90 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); raies diffuses et discontinues; moins sableux; polyédrique
 B.2 (1 cm) en assemblage excessivement compact; cohésion forte; porosité tubulaire (0,5 mm) inégalement développée
 pH=4,8 M = 0,21 A = 12,8 Fl = 0,88 S = 3,74
 C/N = 5,7 L = 3,8 Fl/Ft = 73 Ca = 2,08

Contraste moyen; transition de 20 cm

90-124 cm : jaune rougeâtre; amas noirs pulvérulents dans des pores (Mn); taches rouge vif (0,5 mm) très nombreuses; sableux à sablo-argileux; débit polyédrique (5 cm); cohésion forte; quelques pores tubulaires; très compact
 B.31 taches

Contraste faible; transition de 30 cm

124-160 cm : gris jaunâtre clair (10 YR 6/4); marbrures jaunes; sablo-argileux; structure de ciment, très massive, cohérente, compacte
 B.32 (g)

M = 0,16 A = 14 Fl = 0,75 pH = 5,8
 C/N = 6,4 L = 2,8 Fl/Ft = 63

Tout le modelé dunaire est atteint par un engorgement dû à l'imperméabilité du substrat. Dans le type, il atteint les horizons B texturaux qui sont jaunis, durcis, envahis de ségrégations ferrugineuses et manganésifères. Il peut se limiter aux horizons C (A = 6) qui sont alors jaunis. La formation de raies brunes à la base de l'épipedon indique que le drainage y a été ralenti du fait de la compacité des horizons B. Une érosion soit très lente, soit ancienne peut mettre ces derniers en affleurement; les horizons A y sont alors parfaitement reconstitués (NE 16) :

Surface : fine croûte pluviale

0-10 cm : brun (10 YR 6,5/3); stries brunes (e = 1 mm); parois de pores décolorées; sableux; débit régulier; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire peu développée; dur et compact
 A.1 (g) in B.t

M = 0,65 Fl = 0,91 A = 12,5 S = 3,82 pH = 6,2
 C/N = 9 Fl/Ft = 77 L = 2,3 V = 83 Ca = 2,99

10-32 cm : brun jaunâtre (10 YR 5,5/4); taches rouges; raies brunes; même texture; débit fortement mamelonné (3 cm); cohésion moyenne à forte;
 A.2 (g) in B.t

bonne porosité semi-tubulaire (0,25 mm)

Contraste fort

- 32-57 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5,5/6); raies rougies (e = 1 cm, d = 10 cm); même texture; débit B.t moins mamelonné; cohésion forte; porosité intergranulaire plus faible
- | | | | | | | | | | |
|-----|--------|-------|------|---|--------|---|--------|----|--------|
| M | = 0,24 | Fl | 1,14 | A | = 12,5 | S | = 2,84 | pH | = 5,0 |
| C/N | = 9,3 | Fl/Ft | 84 | L | = 2,3 | V | = 59 | Ca | = 1,56 |
- 57-100 cm : même couleur; mêmes raies; plus sableux B.C (A = 6,2); débit mamelonné; cohésion moyenne; même porosité
- 100-200 cm : passe progressivement au jaune clair (10 YR 6/6); raies rougies plus fines jusqu'à C (g) 145 cm; sableux; débit régulier; cohésion moyenne à faible jusqu'à 145 cm, forte au dessous; porosité de plus en plus faible vers la base
- | | | | | | | | |
|-----|--------|----|--------|-------|--------|---|--------|
| M | = 0,07 | A | = 6,5 | Fl | = 0,72 | S | = 0,93 |
| C/N | = 4 | L | = 0,6 | Fl/Ft | = 83 | V | = 39 |
| pH | = 5,1 | Ca | = 0,44 | | | | |

L'épipédon est, du fait de la texture, plus organique et légèrement hydromorphe. La perméabilité et la stabilité structurale y sont en effet plus basses que dans les horizons A plus sableux (IS = 1,9 et K = 0,4 cm/h au lieu de 0,2-0,8 et 0,7-1,2 cm/h).

Le complexe absorbant est très désaturé mais la somme des bases échangeables, où Ca domine, est moins faible que pour la Série de Maradi à cause d'une capacité d'échange plus forte (T/A de 40 méq/100 g environ). L'effet correcteur de la végétation est important mais se localise aux deux premiers décimètres.

2.265

Les sols brun-rouge du remblai éolisé des Maggia

Leurs caractères, résumés p. 695, les situent dans cet ensemble. Ce sont des sols rubéfiés (5 YR) parfois brunis, sans accumulations discontinues, à taches ferrugineuses ou manganésifères en profondeur, quelquefois à concrétions stalagmiformes de nappe. La réaction est modérément acide (pH 6,6 en moyenne en A.1, 5,5 en B) et le calcium est relativement le plus abondant.

Conclusions

Un drainage estimé égal à celui des termes moyens et inférieurs des toposéquences de référence (horizons B 5 YR, 7,5 YR, 10 YR) et des traits de nappe pouvant affecter tous les types d'organisation définissent cet ensemble. Ce regroupement fait apparaître des similitudes dans la constitution et dans le modelé :

- les capacités d'échange de l'argile sont plus élevées que dans les unités où dominent les Séries rubéfiées précédemment étudiées. Pour les matériaux issus plus ou moins directement du socle, elles sont de 20 à 40 méq/100 g à Maradi, de 40 à 50 dans le Liptako, de 55 à 75 dans le Kadzel; elles sont de l'ordre de 40 sur le Crétacé de Souloulou et de 45 dans l'Ader Douchi.

- le calcium domine dans le complexe absorbant

- les ensablements minces et aplanis sont très étendus, aussi bien dans les flats que sur les bas-glacis.

Les glacis sont entaillés dans des roches argileuses, ou à sols et à altérations argileuses et partiellement smectitiques. La fourniture en sables y a été modérée. La mollesse et l'imperméabilité des pentes y ont généralisé l'engorgement de la base de la couverture. La nappe a pu véhiculer le calcium du substrat à cette dernière. Le flat de Maradi est né d'une couverture pédologique plus riche en sols ferrugineux kaoliniques, mais la nappe sous-alluviale le relie à des matériaux plus récents, moins altérés, saturés en calcium. Au centre d'une cuvette endoréique, le flat du Kadzel a reçu des argiles gonflantes et a baigné dans une nappe carbonatée calcique et sodique.

La nature des argiles, le chimisme, le modelé ont donc quelque analogie avec celle des toposéquences à sols ferrugineux et sols smectitiques qui sont souvent à la source de ces matériaux. Cette parenté ne se manifeste qu'au niveau du drainage général, qui est ralenti par rapport aux ensablements issus de sols purement kaoliniques. Il n'est pas impossible que la fréquence plus élevée, mais toujours faible, des sols brunis doive quelque chose au type d'argile. Les sols pléniques du Kadzel montrent une convergence d'aspect avec les sols halomorphes qui n'est pas due au sodium mais à la même combinaison du lessivage et de l'érosion. La texture ne permet qu'une seule forme d'évolution, en sol

ferrugineux peu lessivé. Le classement le plus naturel des profils subordonne l'hydromorphie aux formes prises par le lessivage et par l'accumulation et ne tient compte qu'en troisième rang des transformations actuelles des horizons de surface. Le premier critère fournit trois groupements de Séries, où la répartition du plasma minéral est toujours de type lessivé (3 a-b-c). Elles se disposent en toposéquences ordonnées sur les modelés déclives, en mosaïques sur les plaines sableuses et les flats où les nuances locales de la topographie se substituent à la position relative sur une pente générale. Nous résumons leurs caractéristiques morphologiques ci-dessous, abstraction faite des effets de l'hydromorphie :

Séries rubéfiées

	A.1	A.2	B.21	B.22	B.C	C
			couleur	texture structure		
cotes (cm)			20-40	150-160		
teintes	7,5 YR		5 YR			7,5 YR

Elles se développent aussi bien sur les crêtes des modelés dunaires que dans les remblais du Kadzel ou de Maradi.

Séries rubéfiées à raies

Leur organisation est semblable; les teintes sont moins rouges (horizon A, 10 YR, horizons B, 5 et 7,5 YR). Les raies se situent depuis l'horizon A.2 jusqu'à la base des horizons B. Leur formation nécessite un régime hydrique compris entre certaines limites car elle disparaît des sites extrêmes : crêtes et inversement points bas où l'action de nappe est prononcée.

Séries à horizon B discontinu

Les bandes apparaissent dans une matrice très éluvée. Leur constitution est celle d'un horizon B normal, à ceci près qu'elles sont légèrement plus riches en matière organique. Elles se situent soit au sommet, soit à la base des horizons B, où s'y substituent plus ou moins complètement :

	A.1	A.2	E/B.21	E/B.22	B.22	B.23
	raies	raies	raies		(raies) couleur, texture, structure	compact
teintes	10 YR				5 YR	

Le ralentissement du drainage dû à ces discontinuités peut produire une seconde génération de raies à plasma différent ou situées dans les bandes elles-mêmes. Les sols à bandes apparaissent plus bas dans le modelé que les sols à raies mais sont également exclus des points où la nappe séjourne longuement (Maradi).

On a constaté la présence effective de la nappe qu'à plus de 600 mm de pluies, aussi est-elle tenue pour inactuelle le plus souvent. Elle est déterminée par le drainage général et l'évolution propre du profil. Elle n'en modifie guère l'organisation qui peut être celle de l'un des trois types de base. Pour des causes non élucidées, ses effets ne sont jamais aussi prononcés qu'à la base de Séries rubéfiées. Ce sont :

- un accroissement de la compacité et de la cohésion des horizons B situés au toit, parfois accompagné de ségrégations ferrugineuses et manganésifères de petites dimensions; cet effet est attribué à l'arrêt des solutions du sol car il existe, identique, au-dessus de substrats imperméables;
- une hydratation (jaunissement) de la zone correspondant à la frange capillaire et un blanchiment, une éluviation du plasma minéral du magasin proprement dit;
- un concrétionnement ferrugineux et manganésifère qui se situe et prend de l'importance surtout dans la zone jaunie, où il revêt des formes caractéristiques (tubulaires, stalagniformes);
- un accroissement de la saturation et de la proportion de calcium, parfois le dépôt d'amas calcaires et l'alcalinisation (Kadzel).

On admet que dans les Séries à horizon B discontinu, l'orientation des concrétions sur les discontinuités illuviales et la forte décoloration des niveaux éluxiaux sont des effets de nappe postérieurs à l'organisation du profil.

Le brunissement et l'accroissement des taux de matière organique sont deux conséquences concomitantes de la saturation calcique (épipedons du Liptako) et de la diminution du drainage interne (sols brunis du Kadzel, de l'Ader Douchi, du Liptako). Il pourrait leur correspondre l'augmentation des proportions des acides humiques gris (h.2, h.3, cf. p. 98) stables et polymérisés, bien qu'ils soient sans effet sur la répartition du plasma minéral.

Les sols tronqués et fossilisés sahéliens révèlent l'actualité de mécanismes s'exerçant lors de périodes successives d'érosion et de reconstitution. Le ruissellement et le vent amaigrissent les épipédons ou dénudent les horizons B qui durcissent avec compaction; des sables appauvris d'environ 50% de leurs fines (A = 1,5% dans le Kadzel, 3% dans le Liptako) se substituent avec plus ou moins de continuité aux épipédons "en place". Ensuite le profil de la matière organique et de la porosité s'y reconstituent. Des stries, des raies, plus douteusement une certaine rubéfaction, attestent une mobilité plasmi- que qui tend à produire un profil sommital A-B. Normalement ces phases sont synchrones mais les aires correspondantes sont réparties en mosaïque sur le terrain. La continuité et l'extension considérable de ces croûtes d'érosion fossiles suggèrent que des périodes d'érosion généralisées ont pu se produire avec l'homme comme témoin ou comme participant. La pression agricole reste forte sur ces terroirs à humidité et à réserves minérales relativement élevées.

2.27 Toposéquences à minorité de sols rubéfiés et à majorité de sols moins bien drainés (horizons B 7,5 YR et 10 YR) souvent à ségrégations, concrétions, raies

2.271 Les sols ferrugineux peu lessivés des interfluves de la dépression de Dosso

Au nord-est de Dosso la surface supérieure sur grès (Ct.3) s'abaisse de 20 m au plus sur un diamètre moyen de 80 km. Le réseau hydrographique converge au sud vers le Dallol Fogha qui drainait autrefois cette vaste dépression en direction du Dallol Maouri. Les versants de ces vallées se raccordent progressivement au plateau qui n'a pas été découpé en buttes escarpées mais incisé de pentes longues et faibles (ex. : 0,5% sur 5 km). Sur les interfluves, la surface supérieure n'apparaît plus qu'en panneaux isolés de brousse tigrée ou n'est décelable que par le dessin de cirques d'effondrements encore visible sous une couverture meuble qui l'a presque entièrement recouverte. La base de ce recouvrement est formée de graviers de quartz et de grès, de sables grossiers roulés,

parfois cimentés en une carapace ferrugineuse. Ces proluvions sont fossilisés par des dunes très basses (hauteur : 3 m, diamètre : 0,5 à 1 km) orientées d'est en ouest. La pluviosité est comprise entre 600 et 700 mm. Arbres et arbustes se concentrent dans les points bas, d'où un aspect réticulé très net. Aux espèces des dunes rouges des plateaux escarpés : *Combretum nigricans*, *Acacia macrostachya* (cf. p.727) s'ajoutent des essences annonçant un régime hydrique moins sec : *Bauhinia reticulata*, *Prosopis africana*, *Sclerocarya*. Dans le tapis prairial à *Heteropogon*, apparaissent des touffes d'*Andropogon gayanus*. Les cultures sont rares et dans les jachères croissent le *Guiera* et les *Annone*.

Il n'y a de sols rouges que sur la partie supérieure et moyenne des versants qui portent la toposéquence type (p.700 et suiv.). Presque tous les sols des plateaux sont analogues aux termes inférieurs à horizon B 7,5 YR et à base engorgée. Cette inversion de la disposition habituelle des sols, qui a permis de découvrir cette dépression, ne peut être attribuée au drainage local car un modèle dunaire analogue existe sur les ensablements à sols rouges des plateaux profondément et plus abruptement entaillés situés à la même latitude. Les épandages grossiers, les sols jaunis, la végétation moins xérophile révèlent donc une continuité dans la médiocrité du drainage général de ces interfluves, due à la topographie.

Les profils sont suffisamment semblables pour que l'on puisse en donner une description synthétique (NI 21, NJ 4-7) :

Surface

Croûte pluviale grise; quelques mm de sables particuliers dus aux rejets.

Horizon A.1

- 16 à 17 cm
- brun-jaune (10 YR 5-6/5-4) et beige (10 YR 6/3)
- très sableux
- débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne ou faible; porosité très fine assez bien développée.

M = 0,21-0,30 A = 3,0-3,5 Fl = 0,29-0,38 S = 1,04-1,34 pH=5,6-6,8
 C/N = 10,9-13,8 L = 1,5-2,5 Fl/Ft= 58-66 Ca = 0,48-0,63 V = 71-81

Horizon A2.B

- 20 à 23 cm
- brun-jaune rougeâtre (entre 10 YR et 7,5 YR 5/4-5)
- parfois raies rougeâtres, fines (2-5 mm) peu distinctes
- sableux
- débit plus irrégulier; même cohésion ou plus faible, généralement moyenne; porosité plus grossière et forte

M = 0,22-0,24 A = 6,5-8,0 Fl = 0,45-0,49 S = 0,80-1,06 pH=5,0-5,4
C/N = 9-12 L = 1,5-2,0 Fl/Ft=55-70 Ca=0,33-0,60 V = 53-68

Horizon B.21 t

- 60 à 65 cm; sommet entre 32 et 40 cm
- jaune rougeâtre (7,5 YR 5-5, 5/5-6) ou brun rougeâtre (7,5 à 10 YR 5,5/4); parfois mêmes raies que ci-dessus
- moins sableux
- débit mamelonné; cohésion moyenne à faible; des volumes durcis; porosité plus fine mais encore bien développée

M = 0,12-0,13 A = 9,0-9,0 Fl = 0,50-0,51 S = 0,68-0,81
C/N = 7,4 -8,9 L = 1,0-1,5 Fl/Ft = 59-67 Ca = 0,26-0,33
pH = 4,7-5,3
V = 50-60

Horizon B.22 (g)

- de 35 à 135 cm
- sommet entre 93 et 105 cm
- la teinte vire très progressivement, vers la base, à des jaunes plus ou moins pâles (10 YR 6/8, 7/4-5)
- plus sableux
- débit semblable ou plus régulier; cohésion moyenne à forte; porosité analogue

M = 0,03-0,05 A = 6,5-8,5 Fl = 0,27-0,40 S = 0,61-0,76
C/N = 5,0 -8,3 L = 1,5-1,5 Fl/Ft = 50-63 Ca = 0,20-0,23
pH = 5,0-5,3
V = 59-61

Horizon 11B.3 t (g)

- 60 cm au minimum
- sommet entre 130 et 230 cm
- jaune clair (10 YR 7/4-5) parfois à taches rouges diffuses (5 YR 5/6)
- sableux à sablo-argileux; la fraction grossière est formée d'un mélange de sables éoliens (60 à 70% de sables fins par rapport aux sables totaux) et d'une proportion, croissant progressivement vers la base

(5 à 40%) de graviers friables de quartz (0,3-1 cm)
- même structure que ci-dessus

M = 0,05-0,06 A = 9,0-15,0 Fl = 0,51-0,54 S = 0,88-1,50
C/N = 5,9 - 10 L = 2,0-3,0 Fl/Ft = 45-68 Ca = 0,16-0,83
pH = 5,3-5,5
V = 63-81

Les graviers de base sont cimentés en une carapace ferrugineuse jaune et rouge (10 YR 7/5 et 2,5 YR 4/6) ou prolongent le profil par des horizons hydromorphes à taches rouges dont les rapports avec la carapace n'ont pas été déterminés.

Il n'existe qu'une différence morphologique notable avec le profil inférieur de la toposéquence de référence (p. 714) un second horizon B textural (B.3) dans la couche où les sables éoliens se sont mêlés aux proluvions. Il y a probablement relation de cause à effet entre cette granulométrie et cette localisation car les accumulations discontinues, raies et bandes, sont presque toujours situées dans des niveaux légèrement plus grossiers que la matrice (cf. tableau 135).

On attribue également au ralentissement du drainage la saturation et les pH plus élevés, notamment dans les horizons A.1 et (g). Leur ordre de grandeur et leurs variations verticales restent proches de ce qu'ils sont habituellement dans les sols issus des grès continentaux; les horizons B sont également pauvres en calcium.

2.272

Les sols ferrugineux peu lessivés à concrétions de la Série de Koutoumbou

Le substratum est formé de grès argileux et d'argilites appartenant soit au complexe argilo-sableux du Continental Terminal (Ct.2) soit à des niveaux très locaux des grès du Moyen Niger (Ct.3). La topographie fossile est toujours très peu déclinée. La plus grande part en est constituée de bas glacis (Ct.2) sur de très grandes surfaces entre le plateau des Maggia et le Dallol Bosso. Le reste, situé au sud-est de Dosso, est un ensemble de dépressions légèrement creusées dans la surface supérieure et localisées en tête de vallées. Les sols autochtones sont des sols ferrugineux lessivés peu perméables (p. 264 et suiv.). L'ensablement est généralement mince (2-4 m) et prend l'aspect de massifs d'ondulations réticulées. Sur les bas glacis, il peut se relever en massifs dunaires plus accidentés. Le ruissellement est important et

l'érosion en nappe a mis sa marque sur la surface de la plupart des sols. Les affleurements du substrat, les nombreuses termitières arasées, conséquences de la minceur de la couverture, les favorisent. La pluviosité varie de 425 à 750 mm. Il n'y a presque pas de cultures. Sur les ondulations basses, croît une savane arbustive xérophile, contractée dans les points bas, à Commiphora et Combretum nigricans, avec tapis prairial à Ctenium et Heteropogon. Le Combretum glutinosum domine sur les dunes les plus hautes.

Tous les sols possèdent des horizons B peu colorés (7,5 YR). Le concrétionnement de nappe s'étend à la totalité des ondulations basses, points hauts compris. Ces caractères sont l'expression d'un drainage général médiocre.

Site de Kafi (Série de Koutoumbou, NJ 49-50)

Lat. : 12° 51' 30" N.
 Long. : 3° 17' 40" E.
 Cotes : 205 m (NJ 50)
 202 m (NJ 49)

Dépression pratiquement aréique de la surface supérieure, en tête d'un affluent du Dallol Fogha; buttes éoliennes (+ 3 m); savane arbustive dense, 760 mm.

NJ 50 (sommet)

Surface : croûte grise; rejets rouge clair

0-21 cm : brun jaunâtre (10 YR 5,5/4); très sableux; débit régulier; cohésion moyenne; porosité très fine
 A.1

21-42 cm : brun vif (7,5 YR 5,5/5); raies homochromes fines (2 mm); sableux; débit mamelonné à polyédrique; cohésion moyenne à forte; volumes durcis; porosité plus grossière, bien développée
 A.2-B

Contraste moyen, transition de 10 cm

42-95 cm : jaune-rouge (7,5 YR à 5 YR 6/6); raies homochromes; sableux; débit polyédrique (3 cm); cohésion moyenne à faible; porosité plus fine
 B.21 t

Contraste moyen, transition de 35 cm

95-155cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 6,5/6); sableux; débit moins aisé; cohésion moyenne à faible; volumes
 B.22

durcis; porosité plus fine

Contraste moyen, transition de 5 cm

155-230 cm : jaune clair (10 YR 7/5); plus sableux;
BC g cn concrétions tendres, nombreuses, jaune rou-
geâtre (7,5 YR 6/6) isodiamétriques (1-5
cm) mamelonnées; débit régulier; cohésion
moyenne à faible; encore finement poreux

racines : abondantes jusqu'à 50 cm, absentes au dessous
de 150 cm.

NJ 49 (base)

Surface : croûte gris foncé; sables particulières
blancs; termitières brunes

0-1 cm : lits sableux fins (2 mm) alternativement
gris foncé et gris clair

1-10 cm : gris-brun clair (10 YR 6,5/2); très sableux;
A.1 débit légèrement irrégulier; cohésion moyen-
ne; porosité intergranulaire fine

Contraste très faible; transition de 5 cm

10-31 cm : brun pâle (10 YR 6/3); débit mamelonné; co-
A.2 hésion moyenne à forte; porosité semi-tubu-
laire grossière bien développée

Contraste faible; transition de 15 cm

31-82 cm : brun très pâle (10 YR 6,5/3); sableux; débit
B.21 très mamelonné; cohésion forte; volumes dur-
cis; porosité semi-tubulaire plus grossière

Contraste très faible, transition de 3 cm

82-115 cm : brun pâle (10 YR 6,5/3); concrétions ferru-
B.22 (g) gineuses dures, assez nombreuses, jaune rou-
cn geâtre (7,5 YR 5,5/6) verticalement allon-
gées (6 x 3 cm); sableux à sablo-argileux;
débit mamelonné; cohésion forte; volumes dur-
cis; porosité semi-tubulaire et tubulaire;
cutines de pores; horizon durci

115-210 cm : noyaux de grès argileux blanc à taches jau-
11 C nes (10 YR 6/8) dans un matériau de délapi-
dification beige (10 YR 6,2/2) et sablo-

argileux, à porosité alvéolaire (close) à cohésion forte

Ce profil est un bon exemple de sol bruni à organisation de sol ferrugineux. L'état moyen, définissant la Série de Koutoumbou, des sols des ondulations basses des bas glacis du Ct.2 se situe entre les deux termes de cette toposéquence. Une croûte pluviale épaisse recouvre l'horizon A.1. Les raies s'étendent de l'horizon A.2 à l'horizon B.21, toujours peu individualisées (on ne peut les séparer de leur matrice). L'horizon B est toujours jaune rougeâtre (7,5 YR 6/5). L'horizon concrétionné et jauni est légèrement durci.

L'identification avec les termes inférieurs de la toposéquence-type est immédiate. Il est singulier que l'ensemble de ces paysages soit concrétionné alors que les interfluves de la dépression de Dosso, topographiquement et pédologiquement si semblables, ne le sont pas. Du moins cela signifie-t-il qu'il existe bien un drainage général propre à chaque système de sol, avec des nuances aussi subtiles qu'étendues. De même le remplacement, au nord, sur le même modelé et sur le même substrat de la Série de Koutoumbou par une Série rubéfiée à raies (Chinielga, p. 756) ne peut guère être attribué qu'à la proximité plus grande de la seconde des bordures de la vaste cuvette gréseuse précisément centrée sur l'aire des Séries de Koutoumbou et de Dosso.

Les effets du drainage local sont perceptibles dans les cas extrêmes d'épaisseur du manteau sableux. Le profil brunit dans les interdunes où les grès sont proches de la surface de moins d'un mètre, le concrétionnement disparaît des buttes hautes de plus de quatre mètres. Sur ces dernières, l'organisation est : A.1 - A.2 (structure) - B.21 (texture et couleur) - B.22 ou B.C - C; l'épipédon est clair, beige (10 YR 6/3) plus épais (45 cm); l'horizon B.21 est toujours jaune-rouge (7,5 YR 5/5); l'horizon C, à 175 cm, est moins jauni (10 YR 5/7). Du fait de l'habituelle relation inverse entre les taux de fines et la puissance des sables, les textures sont plus sableuses (A + L = 8% en B.21, 5,8% en C) et les structures moins développées. On rapporte ces sols à la Série compréhensive de Dadoria, qui ne possède aucun caractère saillant.

Les données analytiques de la Série de Koutoumbou sont très proches de celles des profils de référence des vallées du Moyen Niger, à horizon B 7,5 YR (cf. p.716).

- les taux de matière organique sont du même ordre de

grandeur, bien que la Série de Koutoumbou ne soit pas cultivée

- les répartitions du plasma minéral sont de type lessivé ou lessivé profond (sol bruni); les taux, très bas dans l'horizon A.1, proches de ceux du B dans l'horizon A2-B, sont le syndrome d'une érosion lente (NJ 50) sous l'effet du ruissellement
- les taux de fer sont plus élevés que dans la topo-séquence-type mais comme dans cette dernière, ils diminuent dans les points bas; le concrétionnement, égal partout, est donc indépendant de cette migration éventuelle du fer hors de la séquence
- l'acidité, la désaturation, la déficience calcique constitutionnelles sont nettement corrigées en A.1, plus faiblement dans les horizons à action de nappe; le taux des bases est moins bas que dans les sols de référence
- la perméabilité superficielle est faible (1 cm/h).

Les sols ont évolué dans un milieu plus confiné sur les bas glacis du Ct.2 que sur la partie inférieure des versants des vallées du Moyen Niger. La nappe a disparu, remplacée par un engorgement pluvial car la végétation, loin de contenir des phréatophytes, est dominée par des espèces xérophiiles, de sols compacts. La fertilité chimique en reste accrue, ce qui déjà pouvait être constaté, pour la même raison, sur les interfluves de la dépression de Dosso. Mais, faute d'eau, ces régions ne sont guère habitées. Contrairement à l'opinion commune, cette déshérence n'est pas favorable à une bonne conservation des sols et il ne faut pas en attendre une amélioration quelconque. L'encroûtement superficiel, le ruissellement, l'érosion en nappe, sans être aussi graves qu'en zone sahélienne, s'étendent largement sous le couvert végétal qui ne peut les réduire à un niveau acceptable. M. BOULET, qui a défini la Série, a constaté que le tapis prérial, clairsemé, ne remplissait pas sa fonction de protection et d'ameublissement des horizons A à cause de la concurrence d'une strate ligneuse trop dense. En augmentant la perméabilité superficielle et en éliminant cette consommatrice d'eau inutile, la culture accroîtrait l'humidité moyenne des sols dont l'insuffisance donne une apparence de stérilité à ces terroirs.

Elle prolonge la Série de Souloulou vers le nord, le long du Goulbi de Tarka jusqu'à Dakoro. Le substrat passe des grès du Turonien supérieur continental aux argilites et aux lumachelles du Turonien inférieur et du Cenomanien, variation à laquelle la couverture sableuse doit sa relative richesse en calcium, en oxyde de manganèse, sa fertilité. Peu épaisse, elle ne modifie pas les pentes (3-4%) longues et régulières des bas glacis fossiles qui affleurent vers le nord-est avec des vertisols lithomorphes (cf. p.347). Bien que la pluviosité soit près d'être marginale (400 à 500 mm) la Série est entièrement cultivée, avec des durées de jachère très courtes, et ne présente pas de traces évidentes d'érosion. Le mélange d'espèces sahéliennes et soudaniennes dans ce qui reste de la végétation naturelle correspond au caractère composite de la Série qui a un épipédon épais et meuble de sol ferrugineux peu lessivé mais des pH, une richesse en bases de sol suberide :

- le *Sclerocarya* et le *Combretum glutinosum* de la strate arborée primitive sont le couvert normal pour cette pluviosité des sols de la famille 2 qui ont une bonne perméabilité
- la prairie à *Ctenium* est remplacée dans les jachères par des arbustes et herbacées psammophiles sahéliens : *Callotropis*, *Chrozophora*, *Requiena*, *Cassia Ashrek*, *Cenchrus*
- le seyal se mêle au *Bauhinia reticulata* dans les points bas à sols neutres, plus compacts et plus humides

Les sols, de teinte d'ensemble jaunâtre, varient peu le long de la pente; leurs horizons profonds, mal drainés, renferment tous des dépôts à oxyde de manganèse, cutines de grains ou concrétions en tubes.

Site de Ajekoria (NE 41 et 42)

Lat. : 14° 24' 46" N.
 Long. : 6° 46' 6" E.
 Cotes : 417 m (NE 41)
 415 m (NE 42)

glacis à couverture sableuse aplanie; pente 3%; jachère à *Callotropis*; 450 mm; partie inférieure (NE 42) incultivée; seyal

NE 41 (sommet)

- Surface : 4 cm de sables particulaires
- 0-18 cm : brun jaunâtre (10 YR 5/4); stries; très
A.1 p sableux; débit horizontal; cohésion moyenne à faible; forte porosité intergranulaire
- Contraste faible, transition de 2 cm
- 18-46 cm : brun rougeâtre (7,5 à 10 YR 5/4); stries
A.2 ou grises (2 mm) onduleuses discontinues; sa-
A.12 bleux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; même porosité
- Contraste fort; transition de 12 cm
- 46-106 cm : jaune-rouge (7,5 à 5 YR 5/6); raies brunes
à sommet gris (e = 0,5 cm, d = 10 cm);
B.21 t moins sableux; débit mamelonné à polyédrique; cohésion irrégulièrement faible; volumes à cohésion forte; porosités semi-tubulaire et intergranulaire plus développées et grossières
- Contraste faible; transition diffuse
- 106-155 cm : rouge jaunâtre (5 YR 5/6); raies rougies peu
contrastées (e = 1 cm, d = 20 cm); quelques
B.22 taches noires (Mn); plus sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire bien développée
- Contraste faible; transition diffuse
- 155-190 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/8); moucheté de fines
taches noires (1 à 2 mm, cutines de grains);
BC (g) sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne; porosité intergranulaire très fine; réduite

NE 42 (base)

- Surface : 1 cm de sables particulaires
- 0-15 cm : brun-gris foncé (10 YR 4,5/2); sableux; débit
A.1 lamellaire sur 5 cm puis polyédrique; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire peu développée
- Contraste moyen, transition de 2 cm

15-30 cm = brun foncé (10 YR 3,5/3); raies ocres très peu contrastées (e = 0,5 cm, d = 10 cm);
A.2 sableux; débit polyédrique aisé; cohésion moyenne; porosité plus grossière et forte

Contraste moyen

30-65 cm : brun vif (7,5 YR 4/3); sableux; polyédrique
B.21 en assemblage compact (3 cm); cohésion moyenne; porosité plus grossière et forte

Contraste faible

65-130 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); moins sableux; débit
B.22 mamelonné, cohésion moyenne à forte; durci; porosités tubulaire (0,5 mm) et intergranulaire; volumes compacts

Contraste moyen

130- 200cm : brun jaunâtre (10 YR 5/6): taches noires
B3 (g) nombreuses et fines (cutines de grains); sablo-argileux; débit régulier; cohésion moyenne à forte; plus compact et durci

Dans ce dernier horizon, s'étend un niveau discontinu de blocs (hauteur : 6 cm, largeur : 15 cm) de concrétions dures coalescentes, tubulaires (1 à 3 cm) verticales, noires à cortex jaune. Elles sont dues à la cimentation cutinique des grains de quartz par un plasma ferrugineux et manganésifère, localement siliceux (lame 249) :

squelette : quartz (0,1-0,4 mm) émoussés, rarement subanguleux ou ronds, non cariés ni fissurés, à une exception près; microcline très rare; grains ferrugineux et une micro-oolithe provenant de cuirasses

vides : orthomacrovolumes très fins ménagés par l'assemblage très lâche (50 à 40% de la surface) du squelette; les parois le plus souvent lissées par le plasma; rares pores tubulaires (1 mm) emplis

plasma : noir, opaque, intertextique, en cutines de grains de 25 d'épaisseur moyenne, emplissant environ 15% de la porosité

traits authigènes

- globules tubulaires concrétionnées : vide central,

plasma argilo-ferrugineux orangé inondulique, néocutines noires; rarement plasma jaune argilasepique autour du vide central;

- néocutine (= cortex macroscopique) à plasma goethitique rouge à orientation parfois forte, continue et parallèle;
- dans la néocutine, parfois cutines de grains calcaires, impures (jaune clair) sphérolitiques.

composition approchée (attaque triacide)

	"concrétion" tubulaire	matrice enrobante
quartz	77,5 %	] 89
autres minéraux	4	
argile	7 à 10	9-10
Fe ₂ O ₃ H 20	9,7	1,55
MnO ₂	2,2	t
TiO ₂	0,22	

La succession des plasma paraît la suivante : cutines de grains et remplissages de pores argilo-ferrugineux, peu orientés, "réduits"; surcharge en fer "oxydé" autour de pores, au contact de grains, à la périphérie des concrétions; surcharge en fer et manganèse de la plus grande partie des cutines de grains. La majorité des sols de la toposéquence ont un aspect moyen, définissant la Série, proche de celui du profil sommital : épipédon épais (40-50 cm) brun à brun-jaune (10 YR 5/3-4); horizons B rouge-jaune à brun-rouge (5 à 7,5 YR 5/4-6) parfois avec raies, toujours avec cutines à oxyde de manganèse; porosité élevée, structure bien développée pour la texture (B.21) pas d'encroûtement superficiel. Les sols brunis de bas de pente, d'extension restreinte, diffèrent par un horizon textural plus profond (B.3) compact et cohérent, irrégulièrement concrétionné, pouvant contenir des grains calcaires.

L'organisation, la répartition du plasma minéral sont celles de sols ferrugineux peu lessivés mais le profil des couleurs est celui de sols subarides bruns et brun-rouge. Cette caractéristique est liée à des capacités d'échange assez fortes (T/A de 45 à 60), au calcium comme base dominante, à des pH proches de la neutralité en surface ou partout (sols brunis). Comme dans les sols du Liptako (p.775) cet ensemble de caractères réputés subarides correspond à une constitution minéralogique et chimique du complexe absorbant, voisine de celle des

sols autochtones mais sans incidence importante du fait de la texture, sur la pédogenèse (cf. p. 805). La comparaison avec la Série de Souloulou (p. 800) montre qu'on peut lui ajouter la stabilité structurale et qu'il est sensible à ces faibles variations minéralogiques qui ont été produites, dans la région d'Ajekoria par la proximité des formations marines, dans la région de Souloulou par le voisinage de dépôts continentaux plus purement kaoliniques. Les sols sont là, en effet, un peu plus acides, un peu moins riches en bases, plus régulièrement rubéfiés, sur un modelé comparable et avec le même type d'engorgement profond. Comme leurs sables ont la même granulométrie, il est probable que leur stabilité structurale plus basse est responsable de l'érosion en nappe dont la mineur des horizons de surface et l'encroûtement superficiel sont les effets absents de la Série d'Ajekoria :

	NE 41	Ajekoria	NE 9	Souloulou
	5 cm	27	5	30
Instabilité structurale	0,24	0,54	0,84	0,87
Perméabilité, cm/h	1,7	1,5	0,7	0,5
Sables fins/totaux %	38	41	43	51

2.274

Les toposéquences à sols à horizons B discontinus
et/ou à horizons éluviaux très épais

Des sols qui sont habituellement cantonnés aux secteurs humides des toposéquences, pp. 772 - 779 - 797 ont été observés en toutes positions topographiques dans deux cantons du Niger central. Le premier est à l'ouest du Damer-gou, sur des bas-glacis des grès du Tégama couverts d'ondulations réticulées basses et longues (+ 3 m, 1 km) portant la Série de Belbedji, séparées par des plaines sableuses où la Série de Tagae s'est différenciée. La pluviosité est de 350 à 400 mm. La steppe arbustive à Commiphora et euphorbes est très largement défrichée en bordure du Goulbi de Tarka pour la culture du mil. Le second est encore sur des bas-glacis des grès crétacés, dans la partie centrale de l'interfluve des Goulbi N'Kaba et de Tarka. C'est une plaine sableuse (Série de Samia Andi) où un réseau hydrographique désorganisé et de multiples mares décèlent la proximité du substrat; elle est parcourue de rides (+ 3 m, 2 km) surbaissées. La pluviosité est de 475 mm. La texture moyenne très sableuse du solum explique que le couvert végétal soit la prairie vivace psammophile à *Aristida longiflora*, parsemée de quelques *Combretum glutinosum*. Plus à l'ouest, ces sols peu colorés, à

bandes, sont remplacés par des Séries rubéfiées à raies (Dakoro, p. 754) sur le même modelé, les mêmes substrats, les mêmes sables. Il faut donc que la situation géographique différente corresponde à un drainage général plus faible dont d'autres manifestations sont les cailloutis situés à la base de la Série de Tagae, les mares de la plaine de Samia Andi.

2.2741 Série de Tagae
.....

Site de Boudeji (ND 58)

Lat. : 14° 53' 54" N.
Long. : 7° 59' 6" E.
Cote : 443 m

Petite plaine sableuse dominée de dunes basses; steppe à Commiphora, Boscia; tapis à Aristida mutabilis et Schoenefeldia; 375 mm

- Surface : crôte pluviale de 1 cm
- 0-5 cm : brun-jaune (10 YR 5,5/4); stries grises (2 mm); sableux; débit horizontal aisé; cohésion moyenne; porosité intergranulaire très fine
A.11
Contraste faible; transition de 1 cm
- 5-17 cm : brun vif (7,5 YR 5,5/6); stries gris rougeâtre; sableux; débit régulier; cohésion moyenne; porosité plus forte
A.12
Contraste moyen; transition de 3 cm
- 17-55 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5,5/8); stries; sableux; débit polyédrique; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire très forte
B.1
Contraste faible; transition de 5 cm
- 55-125 cm : même couleur; sableux; bandes sablo-argileuses plus foncées (7,5 YR 5,5/7) s'épaississant graduellement vers la base (e = 2 à 5 cm, d = 5 cm); débit très polyédrique; cohésion forte; bonne porosité semi-tubulaire (0,25 cm)
E/B.2
Contraste très faible; transition 10 cm
- 125-200 cm : jaune-rouge (7,5 YR 6,5/8); même texture que dans les bandes précédentes; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne à forte; porosité
B.2

intergranulaire réduite

200-205 cm : graviers émoussés (1,5 cm) de quartz; em-
11.B r ballage sableux jaune-rouge peu abondant

Les horizons A, minces, peu organiques, neutres et saturés sont du type subaride le plus commun au Niger. L'acidité s'accroît progressivement vers la profondeur où les bandes concentrant l'argile et le fer passent progressivement à un horizon B continu ayant à peu près la même constitution (T/A = 20-25) la même texture.

2.2742 Série de Belbedji

Site de Boudeji (ND 59)

Lat. : 14° 52' 56" N.

Long. : 7° 59' 13" E.

Cote : 445 m

Sommet de dune basse; steppe à Commiphora, euphorbes, Boscia; tapis à Aristida mutabilis; 375 mm

Surface : croûte pluviale de 1 cm

0-24 cm : brun vif (7,5 YR 5/6); stries très nombreuses;
A.1 très sableux; débit régulier; cohésion faible;
porosité intergranulaire forte

Contraste faible, transition de 1 cm

24-69 cm : jaune rougeâtre clair (7,5 YR 6,5/5); stries;
E-A.2 très sableux; débit mamelonné; cohésion faible
à moyenne; porosité plus grossière

Contraste très faible

69-98 cm : rosé (7,5 YR 7/5); raies rougies (e = 0,2 cm,
d = 10 cm); marbrures rougies; très sableux;
E/B débit plus régulier; même cohésion; porosité
plus faible

Contraste fort

98-200cm : blanc (10 YR 8/4); raies très nombreuses rou-
gies (au sommet e = 0,7 cm, teinte 7,5 YR 6/4,
E/B (g) à la base e = 1 cm, teinte 5 YR 5/6); très sa-
bleux; particulaire; cohésion très faible

racines : quelques unes jusqu'à 35 cm.

Dans ce type d'organisation fort curieux, la concentration exclusive du plasma minéral en raies s'accompagne d'un épaissement extraordinaire des horizons éluviaux sommitaux (d'où la lettre E pour indiquer cet accroissement par rapport à l'épaisseur "normale") et d'une texture moyenne fort sableuse. L'ensemble des horizons A et E-A peut atteindre 100 cm. Les variations de couleurs des raies sont parallèles à celles d'horizons B continus. Elles peuvent se concentrer suffisamment dans la partie médiane des horizons E/B (150-200 cm) pour produire un maximum de couleur (5 YR 5/8) de texture et de structure (débit polyédrique). L'engorgement qui ci-dessus avait décoloré la matrice est alors plus profond, plus modéré et produit des taches jaunies. Bien que les taux d'argile soient très faibles et que la perméabilité mesurée en laboratoire soit bonne (1,3 à 3,2 cm/h) le comportement hydrique de cette Série n'est pas celui des sols des dunes hautes (F.1) mais bien celui des dunes basses (F.1): elle ruisselle fortement, elle se dessèche jusqu'à la base du solum ou apparaissent des fissures en saison sèche; elle ne porte pas d'espèce fortement psammophile en dehors des jachères (Callotropis). On admet ordinairement que le lessivage oblique est à l'origine de cette organisation et de la différence des textures entre points hauts et bas. Cette hypothèse n'est pas ici vérifiable faute de connaître la totalité du profil sommital et reste, a priori, très douteuse parce que les sols sont indépendants de l'extension relative des dunes et des plaines sableuses.

Les sols des dunes sont aussi pauvres en matière organique que ceux des plaines et sa répartition tend à y être irrégulièrement isohumique, fait déjà noté dans les sols à bandes de la terrasse de Maradi. Ils sont neutres et saturés sur toute leur épaisseur, caractéristique apparaissant toujours plus facilement sur les dunes que dans les dépressions associées (cf. p. 755).

2.2743

La Série de Samia Andi

Site de Samia (ND 51)

Lat. : 14° 21' 05" N.
 Long. : 7° 40' 06" E.
 Cote : 435 m

Plaine sableuse dominée de rides dunaires; prairie à *Aristida longiflora* avec *Combretum glutinosum*; 475 mm.

- Surface : 1 cm de sables particulières
- 0-20 cm : brun grisâtre (10 YR 5/2); stries; très sa-
 A.1 bleux; débit régulier; cohésion faible;
 forte porosité intergranulaire
- Contraste très faible
- 20-50 cm : brun pâle (10 YR 5,5/3); stries à face su-
 A.1 ou périeure compacte très nombreuses; très sa-
 A.2 bleux; débit mamelonné; cohésion moyenne à
 faible; porosité plus grossière
- Contraste faible; transition de 5 cm
- 50-170 cm : brun vif (7,5 YR 5/4); raies ou stries rou-
 B.1 gies fines (e = 0,3 cm, d = 5 cm); sableux;
 débit plus irrégulier, cohésion faible; po-
 rosité semi-tubulaire moyennement développée
- Contraste moyen, transition diffuse
- 170-200 .. : beige très clair (10 YR 7,5/3,5); raies
 E/B.2 jaune-rouge plus épaisses et nombreuses
 (e = 0,5 cm, d = 9 cm); très sableux; dé-
 bit mamelonné; cohésion moyenne à faible;
 moins poreux
- racines : chevelu jusqu'à 25 cm, radicelles jusqu'à
 60 cm.

La formation de bandes dans l'horizon E/B.2 a été notée. La Série, brunie, est cependant acide, caractère corrélable avec l'absence de sols halomorphes sur les glacis fossiles, alors qu'il en existe au voisinage de la Série de Tagae. C'est moins un effet climatique qu'une conséquence lointaine du chimisme des sols autochtones. Les sols des crêtes dunaires ont des horizons B très profonds de telle sorte que, la végétation aidant, ils avaient été initialement attribués à la famille 1 :

ND 52

Lat. : 14° 21' 05" N.
 Long. : 7° 40' 06" E.
 Cote : 438 m

Sommet de ride sableuse; prairie à *Aristida longiflora* et *Ctenium*, avec *Guiera*; 475 mm.

- Surface : sables particulaires
- 0-27 cm : brun jaunâtre clair (10 YR 5,5/4); stries;
A.1 très sableux; débit régulier; forte poro-
sité intergranulaire
- Contraste moyen
- 27-54 cm : jaune-brun clair (7,5 YR 6/5); très sa-
E A.2 bleux; légèrement mamelonné; cohésion
moyenne; moins poreux
- Contraste moyen, transition de 5 cm
- 54-125 cm : jaune-rouge (7,5 à 5 YR 5,5/6); raies rou-
E/B gies (e = 0,5 cm, d = 5 cm); très sableux;
débit légèrement mamelonné; cohésion
moyenne à faible; moins poreux
- Contraste faible; transition diffuse
- 125-200 .. : jaune-rouge (7,5 YR 6/6); sableux; débit
B régulier; cohésion faible

Les horizons B peuvent être plus colorés (2,5 YR) en limite nord de l'unité et être fossilisés par les horizons éluviaux, la ligne de contact étant semée de fragments de poteries (ND 54) :

- 0-15 cm : brun-jaune clair (10 YR 6,5/4); très sableux
A (A = 1,8%); débit régulier
- 15-40 cm : rouge-jaune; stries gris-rouge (e = 2 mm,
d = 5 mm); très sableux; débit légèrement
mamelonné
- 40-85 cm : légèrement plus rouge (5 YR 5/6); très sa-
(B) bleux; raies rouges (e = 0,3 cm, d = 7 cm);
débit mamelonné
- 85 cm : lit de débris de poteries coiffant un hori-
zon E/B rouge (2,5 YR 5/8) sableux (A = 5,5).

Dans la couche remaniée, un profil A-(B) avec stries et raies s'est reconstitué. La partie supérieure du solum est ainsi semblable au profil des dunes transversales voisines (Série de Taguiriss, F.1) très sableux, de teinte générale jaune-brun (7,5 YR 5/6) à stries, à structure très peu différenciée.

Ces sols dunaires sont pauvres en matière organique (0,14-0,21% en A.1) la répartition du plasma minéral y est de type lessivé profond comme l'indique la morphologie. L'acidité, la désaturation, la carence calcique plus accentuées en profondeur indiquent que le chimisme s'apparente à celui des sols issus des formations continentales kaoliniques (T/A = 20-30 méq/100 g).

2.2744 Conclusions
.....

Le schéma d'organisation le plus général de ces solum est le suivant :

A	E/AB	E/B	B.t
stries	stries et raies	raies et bandes	

La couche éluviale E, très pauvre en fines, striée, est brunie par de la matière organique à sa partie supérieure (A.11-A.12) elle peut être déjà colorée à sa partie inférieure (B.1). Son agencement se reconstitue après les brassages mécaniques auxquels sa texture l'expose. L'horizon le plus caractéristique, E/B, apparaît à une profondeur comprise entre 50 et 55 cm dans les plaines, entre 50 et 100 cm dans les dunes. Les bandes, le brunissement y sont particuliers aux sols de plaines sans y être constants ; des raies nombreuses et une matrice dont la texture et la structure approchent de celles des horizons E le caractérisent. L'horizon B textural continu a été observé aussi bien en position haute (dune de Samia) que basse (Tagae).

Cette morphologie de sols lessivés s'accompagne de réactions acides ou neutres dépendant plus du chimisme local que de la pluviosité, étant donné le voisinage en latitude des sites. Le comportement physique reste celui des sols de la famille 2 ou est analogue à celui des sols de la famille 1, différence non corrélable avec des données morphologiques ou analytiques connues.

2.275 Les Séries à horizon B discontinu très décolorées
(Zouzourma, Gayakoli)

On attribue au même type de différenciation les sols très décolorés des petites vallées entaillant les grès du Niger moyen (Zouzourma, p.551) et les alluvions anciennes de Maradi (Gayakoli, p.555). Comme ils n'existent pas dans les grands Dallols et Goulbis, si ce n'est sur

leurs rives mêmes, on les suppose liés à une forte humidité et à des possibilités de circulation latérale. Il arrive qu'ils soient en continuité physique avec les toposéquences de la famille 2 (Tanchia, Maradi, Waka-sou); cette dernière est plus souvent rompue par une granulométrie proche de celle des sables alluviaux, par un modelé spécifique, généralement constitué de buttes très distinctes mais basses (0,5-2 m). Leur formation est probablement très rapide, car nous avons observé deux fois des horizons à raies épaisses de 7 mm au-dessus de niveaux à poteries. Il y a donc de bonnes chances pour que ces sols puissent appartenir à des générations différentes. Tous les sites connus sont situés à plus de 450 mm de pluies et très recherchés par les agriculteurs, bien que leurs réserves minérales et hydriques soient faibles à cause de la texture et de l'acidité des horizons E. On y voit une autre évidence d'un régime hydrique particulièrement favorable.

2.2751

Série attribuée à la génération S.1

Site de Yeldou (NJ 36)

Lat. : 12° 44' 45" N.
 Long. : 3° 41' 10" E.
 Cote : 191 m

Fond d'une petite vallée affluente du Dallol Maouri; succède à une toposéquence-type dont le terme inférieur, à horizon B 7,5 YR, était concrétionné; surface plane; savane arborée à *Sclerocarya*, *Combretum*, avec tapis à *Aristida longiflora* et *mutabilis*; 780 mm.

Surface : croûte pluviale grise

0-30 cm : gris-brun clair (10 YR 6,5/2); très sableux;
 A.1 débit régulier; cohésion moyenne à faible;
 compact

30-80 cm : gris très clair (10 YR 6,5/2,5); raies brunes flexueuses (e = 0,2 cm, d = 20 cm) peu contrastées; sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à forte; des volumes durcis, polyédriques, ayant la couleur des raies; porosité semi-tubulaire très fine moyennement développée; nombreux pores tubulaires (0,5 mm)

80-180 cm : matrice gris clair (10 YR 6/3) et bandes
E/B brunes (10 YR 5/3) distantes de 15 cm jusqu'
à 135 cm, puis confluentes (e = 5 cm); le
sommet en est décoloré sur 2 mm, la porosi-
té grossièrement semi-tubulaire; texture
moyenne sableuse; débit mamelonné; cohésion
forte; porosité fine et intergranulaire hors
des bandes

180-200 cm : brun-jaune clair (10 YR 6/4); les bandes
B-C g passent à des volumes de section lenticu-
laires bruns; amas de taches ferrugineuses
jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6) de 3 cm, ta-
ches jaunes (10 YR 5/6) petites (5 mm) et
isolées; sableux; débit mamelonné; cohésion
forte

Les sables sont les mêmes que ceux de la toposéquence
des versants, les taux moyen d'argile sont identiques,
les taux de fer sont de deux à trois fois plus faibles,
ce qui confirme la tendance à l'élimination déjà notée
dans ces suites de sols.

2.2752

Séries jugées plus récentes (S.2 ou S.3)
.....

Site de Tourobon (NI 10, Zouzourma)

Lat. : 12° 58' 9" N.
Long. : 3° 26' 40" E.
Cote : 208 m

Petite banquette alluviale séparée du versant par un bour-
relet à sols F.1; cultures avec réserve à Faidherbia,
Hyphaene; 740 mm.

0-34 cm : gris clair (10 YR 6,5/2,5); très sableux;
A débit régulier; cohésion moyenne à faible;
porosité intergranulaire bien développée

34-118 cm : gris très clair; raies brunes (e = 0,5 cm,
E/B d = 10 cm) fines et sinueuses; débit légè-
rement mamelonné; mêmes cohésion et porosité

118-220 .. : blanc (10 YR 8/1); des raies brunes (10 YR
C (g) 5/3); très sableux; particulaire

Les taux de plasma minéral sont plus faibles et varient
selon la répartition l, enrichie. Les sables sont plus

fins, comme ceux des alluvions hydromorphes qui s'emboîtent dans la banquette. Bien que la texture ait aggravé la pauvreté minérale propre aux sols issus des grès, il y a toujours des cultures. Dans un site analogue mais plus ondulé (NK 36, Birni N'Gaouré) les raies de l'horizon E/B, déjà épaisses et bien formées (2-7 mm) recouvraient des tessons épars entre 65 et 105 cm, en même temps qu'un plasma identique s'était insinué dans d'anciennes fissures de retrait ou dans des pores.

La Série de Gayakoli ne diffère que par des teintes qui peuvent être moins neutres et par une désaturation moins forte tenant à l'environnement lithologique local :

site de Gidan Tchadou (ND 37)

Lat. : 13° 24' 1" N.
 Long. : 7° 30' 13" E.

Cours très effacé, mais jalonné d'un bourrelet éolien, d'un affluent méridional du Goulbi N'Kaba; restes de savane arborée à Prosopis, Bombax, Diospyros; jachère à Eragrostis après arachide; 620 mm

- 0-12 cm : gris clair (10 YR 6/2,5); très sableux;
 A.11 structure nuciforme; cohésion faible; porosité intergranulaire .
- 12-40 cm : gris très clair ou "beige" (10 YR 6,5/3);
 A.12 réseau de pores gris; stries flexueuses; très sableux; débit régulier; cohésion moyenne à faible; quelques volumes durcis; très fortement poreux
- 40-107 cm : brun très pâle ou "beige" jaunâtre (10 YR
 E/B.1 7/3,5); réseau de pores gris rosé; traces de litage oblique; raies subhorizontales brun rougeâtre (5 YR 6/4) épaisses de 2 mm au sommet, de 5 mm à la base, distantes de 10 cm; très sableux; à 60 cm tessons, à plat; débit régulier; cohésion moyenne à faible; moins poreux
- 107-205 cm : jaune pâle (10 YR 7,5/4); mêmes raies,
 E/B.2 moins contrastées à la base; débit mame-
 (g) ? lonné; cohésion moyenne; porosité intergranulaire très fine

La répartition du plasma minéral est ici de type appauvri. Les sables sont grossiers et semblables à ceux des alluvions de Goulbi. Le jaunissement de la base pourrait être l'effet d'un ancien engorgement de nappe.

2.276

Les effets maxima de la réduction du drainage dans la famille 2

Un drainage moyen estimé égal à celui des termes inférieurs de la toposéquence de référence (horizons B de 7,5 à 10 YR) définit cet ensemble qui n'est homogène ni dans sa constitution minéralogique, ni dans son organisation morphologique : la situation géographique intervient autant que la nature du substrat dans cet accroissement de l'humidité moyenne des sols dont les effets sont des plus variables.

Les grands traits de l'organisation de référence sont conservés dans les sols ferrugineux peu lessivés acides et à basse capacité d'échange des ensablements sur grès continentaux (Ct.2-3). Il s'y ajoute un début d'accumulation discontinue dans un niveau profond grossier (Dosso) un concrétionnement de nappe en toutes positions et un brunissement en bas de pente (Koutoumbou) :

Série de Dosso

	A1	A2-B	B.21	B.22 (g)	2 B3 (g)r
		raies	raies couleur texture structure		texture
cotes (cm)		32-40		130-230	
teintes		10 YR	7,5 YR		10 YR

Série de Koutoumbou

	A.1	A.2-B	B.21	B.22	BC g cn
		raies	raies couleur texture structure		concrétions
cotes (cm)			40	150	
teintes		10 YR 5/4	7,5 YR 6/5		10 YR 7/5

sols brunis associés

	A.1	A.2	B.21	B22 g cn	III C
			structure	concrétions texture	
cotes (cm)		30	30		115
teintes	10 YR 6/2		10 YR 6/3		

On admet que la diminution du drainage interne enregistrée par les sols par rapport à des Séries rubéfiées situées sur les mêmes ensablements et sur les mêmes substrats est due à la situation en cuvette (Dosso) au centre du bassin sédimentaire (Koutoumbou).

Cette organisation est conservée dans la Série d'Ajekoria dont la constitution est différente. Aux capacités d'échange, aux taux de calcium plus élevés on associe le brunissement des épipédons, leur stabilité structurale plus grande et comme conséquence leur résistance au ruissellement et leur épaisseur. La variation du drainage local produit des sols brunis en bas de pente où les cutines à oxydes de manganèse présentes dans toute la toposéquence se concentrent en concrétions tubulaires de nappe.

Série d'Ajekoria

	A.1	A.2	B.21	B.22	B.C (g)
	stries	stries	raies texture struct.	raies couleur	cutines noires
cotes (cm)		40-50		135-155	
teintes	10 YR 5/3			6YR 5/5	7,5 YR 5/7

sols brunis associés

	A.1	A.2	B.2.1	B.2.2	B.3 g cn
		raies	structure	couleur	cutines, concrét. texture
cotes (cm)			30	115-130	
teintes	10 YR 4/2			7,5 YR 4/4	10 YR 5/6

La diminution du drainage général qui ne peut être attribuée qu'au substrat, à sols localement smectitiques, y est cependant plus accentuée que dans la majorité des sols sableux situés sur de pareils supports (cf. p.803

L'épaisseur considérable des horizons éluviaux et la disposition du plasma minéral font l'originalité des Séries à accumulations discontinues, ces dernières conservant les textures et les couleurs de leurs homologues continus et pouvant, de ce fait, brunir en position basse. Les pH et les proportions de calcium peuvent être élevés mais les capacités d'échange sont médiocres.

	A	E/AB	E/B	B	
<u>Série de Belbedji</u>					
	A.1	A.2	E/B	E/B(g)	
	stries	stries	raies	raies	
couleurs	7,5 YR 5/6	structure	couleur	texture	
cotes (cm)			7,5 YR 7/5 5 YR 5/8	10 YR 8/4	
			70-100		
<u>Série de Tagae</u>					
	A.1.1	A.1.2	B.1	E/B.2	B.2
	stries	stries	stries	bandes	
couleurs	10 YR 5/4			couleur	texture
cotes (cm)				7,5 YR 5/8	
			50-55		125

Série des dunes de Samia

	A.1	A.2	E/B	B
	stries	stries	raies	
			couleur	texture
couleurs	10 YR 5/4		structure	
cotes (cm)		55-85	6 YR 5/6	125

Série de Samia Andi (brunie)

	A.1	A.2	B.1	E/B.2
	stries	stries	raies	raies
			couleur	
couleurs	10YR 5/2		structure	
cotes (cm)		50	7,5YR 5/4	

On admet que ces sols ont davantage évolué dans le sens qu'indiquaient les Séries rubéfiées à raies et qu'ils s'y substituent à la faveur d'une diminution du drainage général d'origine topographique.

Rien n'indique qu'une nappe séjourne encore longuement à la base des sols dont, au contraire, la végétation peut être xérophile. Ses effets sont les mêmes que dans l'unité précédente : jaunissement, décoloration, apport éventuel de calcium, concrétionnement ferrugineux et manganésifère, ce dernier par imprégnation d'un plasma cutinique argilo-ferrugineux "réduit". Il est absent des sols à horizon B discontinu.

Les sols de Dosso, de Koutoumbou, sont voués à une érosion hydrique lente bien que sous une végétation "naturelle". Désaturés, riches en sables fins, ils ont une stabilité structurale médiocre et ruissellent fortement. La sécheresse édaphique qui en résulte est aggravée par une strate ligneuse surabondante. Elle limite la strate prairiale qui, clairsemée, ne suffit pas à empêcher l'érosion en nappe. Cette apparence de stérilité repousse la colonisation agricole plus encore que la faiblesse des réserves en bases dont on se satisfait ailleurs. Les sols d'Ajekoria ont des caractéristiques opposées; ils supportent d'être cultivés sans que leurs épipédons très épais montrent des traces évidentes d'érosion. Il n'est guère explicable que le développement

accru des horizons éluviaux n'unifie pas davantage le comportement physique des sols à horizons discontinus. Les uns ruissellent (Tagae, Belbedji) les autres réagissent comme des sols très sableux, perméables et éolifiables de la famille 1 (dunes de Samia) ce qui accroît d'autant la ressemblance de la partie supérieure du solum avec un sol non lessivé.

Dans cet ensemble aux caractéristiques extrêmes, la compatibilité de traits ou de données qui en théorie sont spécifiques des sols subarides ou des sols ferrugineux prend plus de relief : une Série peut être acide et brunie (Koutoumbou) avoir une morphologie fortement marquée par le lessivage mais être saturée (Belbedji, Tagae, Ajekoria). Elle justifie que les caractères subarides soient subordonnés à l'organisation en sol ferrugineux, situés au niveau de faciès exprimant soit une retouche du profil (Tagae) soit une convergence d'ordre constitutionnel (Ajekoria).

2.28

T o p o s é q u e n c e s d e s a i r e s à
m a s s i f s d u n a i r e s l o n g i t u d i n a u x
d u N i g e r o r i e n t a l e t c e n t r a l

Lorsque la densité des observations est insuffisante pour la variabilité des toposéquences, ces dernières sont analysées par référence aux aires plus homogènes où un ordre constant des Séries a pu être décrit. La première de ces surfaces complexes correspond aux massifs dunaires longitudinaux qui prennent en écharpe, le Niger méridional entre le Damagaram à l'est et les plateaux du Continental Terminal (Ct.3) et qui recouvrent essentiellement le Crétacé, mais aussi le socle, le Quaternaire ancien de Maradi, les grès argileux du Ct. 2. Elle a été cartographiée en unités compréhensives; sols ferrugineux peu lessivés sur ergs orientés au Niger oriental, Série de Dadoria au Niger central, pour les plus importantes. Les éléments caractéristiques du modelé sont des trains de rides transversales plus ou moins effacés (cf. p. 522) limités sur l'une des marges par un cordon lui-même diversement remanié, séparés par des plaines sableuses (cf. p. 523) ou par de longues fenêtres dénudées. La diversité de l'épaisseur du manteau sableux (1 à 17 m) des pentes (0 à 7%) de la situation

dans les bassins fossiles entraîne celle des profils en modifiant le drainage local et général. Comprise entre les isohyètes 450 mm et 650 mm, cette zone renferme une majorité de sols ferrugineux peu lessivés et quelques faciès subarides au nord, dans le bassin du Goulbi N' Kaba. La végétation naturelle, généralement dégradée, est formée de savanes arborées à Prosopis et Butyrospermum, à Combretum glutinosum, à Sclerocarya (Crétacé); les jachères sont à Guiera et à Bauhinia reticulata (plus de 575 mm); le tapis prairial est à base de Ctenium, Heteropogon, Loudetia, avec des graminées vivaces psammophiles sur les cordons rajeunis. Ces terres sont recherchées pour la culture du mil et de l'arachide, surtout sur les modelés méridionaux aplanis (sud de Zinder, sud-est de Gazaoua).

2.281 Toposéquences à Séries rubéfiées

Elles n'ont été observées que sur de courts glacis à couverture aplanie adossés aux buttes gréseuses du massif de Korgom et sur des cordons longitudinaux situés en limite nord du Damagaram.

Site de Korgom (NE 4)

Lat. : 13° 31' 24" N.
 Long. : 8° 22' 13" E.
 Cote : 450 m

Versant ensablé adossé à une petite butte de grès; à mi-pente; jachère à Eragrostis avec Faidherbia, Sclerocarya, Bauhinia; 620 mm

Surface : sables particuliers

0-22 cm : brun (7,5 YR 5,5/4); très sableux; débit mamelonné; cohésion faible; porosité intergranulaire médiocre

M = 0,17 A = 1,0 Fl = 0,26 S = 0,43 pH = 6,3
 C/N = 7,1 L = 0,5 Fl/Ft = 84 V = 61 Ca = 0,32

22-43 cm : brun (7,5 YR 5/4); sableux; raies brunes (e = 0,5 cm, d = 10 cm); débit légèrement mamelonné; cohésion faible; porosité meilleure; semi-tubulaire

43-62 cm : brun rougeâtre (5 YR 5/4); raies rougeâtres
 BA ou B.1 (e = 0,5 cm); sableux; débit mamelonné; cohésion

moyenne; volumes durcis; plus poreux
 M = 0,17 A = 5,5 Fl = 0,45 S = 0,78 pH = 6,1
 C/N = 11,1 L = 0,8 Fl/Ft = 82 V = 65 Ca = 0,54

62-134 cm : rouge (2,5 YR 4,5/6); sableux à sablo-argileux; débit polyédrique (2 cm); cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire fine; dur
 B.21

M = 0,21 A = 14,5 Fl = 0,81 S = 1,59 pH = 5,8
 C/N = 10,9 L = 1,5 Fl/Ft = 80 V = 84 Ca = 1,0

134-180... . rouge plus vif (2,5 YR 4,5/8); sableux à sablo-argileux; débit plus régulier; cohésion moyenne; peu poreux; moins dur
 B.22

M = 0,15 A = 15,0 Fl = 0,81 S = 1,52 pH = 6,6
 C/N = 6,0 L = 1,9 Fl/Ft = 84 V = 84 Ca = 1,03

Le sol moyen de ces toposéquences est comparable au profil sommital des toposéquences méridionales types (cf. p. 718). Les raies sont probablement dues au fort contraste textural entre les horizons A et B; elles disparaissent de types plus sableux où, les mêmes horizons étant conservés, les taux d'argile s'abaissent à 5,3% en B.22. Il est probable que la culture indéfiniment répétée de l'arachide est responsable de l'appauvrissement en matière organique (elle ne dépasse pas 0,3% en A.1) et en fines en surface.

Les sols des cordons du Damagaram ont les mêmes horizons B très rouges (2,5 YR 6/6) jusqu'à plus de 200 cm mais leurs horizons A ont un faciès subaride, la pluviosité étant de 400 mm (NB 1) :

0-15 cm : brun-jaune (7,5 YR 6/4); stries; très sableux; A débit régulier; cohésion faible; finement poreux

M = 0,17 A = 2,7 Fl = 0,53 S = 0,96 pH = 6,9
 C/N = 11,1 L = 0 Fl/Ft = 63 V = 100 Ca = 0,65

15-40 cm : horizon BA brun-rouge (5 YR 6/5) sableux

40-220.. : horizons B.2 rouges (2,5 YR 6/8)

2.282

Les toposéquences à Séries rubéfiées, souvent remaniées,
à Séries rubéfiées à raies, à Séries à horizons B
discontinus rubéfiées ou brunies

Des sols rouges (5 YR) admettant un développement modéré de raies au niveau du contact A/B occupent les sommets et les versants de la plupart des dunes des massifs longitudinaux recouvrant le Crétacé et le Quaternaire ancien de Maradi. Sur les cordons, ils ont souvent des textures plus sableuses, un faciès plus juvénile associé à des traces évidentes de brassage éolien; des sols de la famille 1 peuvent leur être substitués. Dans les interdunes et sur les replats que forment les "socles" supportant les cordons (cf. p.575) on observe un premier type de profil à horizon B discontinu, encore rubéfié (5 YR) : A - E/B - B, qui accentue une localisation particulière des raies et bandes déjà présente en haut de pente. Si le modèle général est lui-même plus aplani, les zones basses, qui prennent alors facilement l'aspect de plaines, offrent un second type, bruni, où les bandes se situent plus profondément ou encore forment l'essentiel du profil : A - B - E/B.

2.2821

Séries rubéfiées à raies
.....

Site de Tessaoua (NB 81)

Lat. : 13° 43' 2" N.
Long. : 8° 2' 0" E.
Cote : 424 m

Ride dunaire basse (+ 5 m); sommet; savane arborée à Prosopis, Sclerocarya, avec tapis herbacé à Ctenium; 590 mm

Surface : sables particulières, rejets

0-17 cm : brun grisâtre (7,5 à 10 YR 5,5/4); stries ondulées; réseau de pores fins, à parois décolorées grises, divisant la matrice plus jaune et compacte; très sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à faible; très poreux

Contraste faible, transition de 10 cm

17-40 cm : brun (7,5 YR 5/4); stries; réseau rougeâtre; sableux; débit polyédrique; cohésion moyenne;

A.2 volumes durcis; porosité semi-tubulaire
(0,25 mm) très forte

Contraste fort, transition de 5 cm

- 40-107 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); raies fines et rouges (e = 0,2 cm, d = 5 cm); moins sableux; B t débit de plus en plus régulier vers la base; cohésion moyenne; volumes durcis; porosité intergranulaire moyennement développée
- 107-180 cm : rouge-jaune clair (5 à 7,5 YR 6/8); plus BC sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire toujours bonne
- 180-210 cm : jaune-rouge (7,5 YR 6,5/6); très sableux; C débit régulier; cohésion très faible; très poreux

Les données analytiques sont aussi caractéristiques d'un sol ferrugineux peu lessivé à drainage moyen que les traits morphologiques : taux de matière organique décroissant progressivement, répartition du plasma de type lessivé, désaturation et acidité maxima dans l'horizon B, déficience calcique corrigée en A.1, perméabilité minimum en surface. On peut classer les variantes à partir de ce type de base en fonction de la latitude, du drainage. Au sud de Zinder, sur un modelé très bas, des ségrégations diffuses et le développement des raies indiquent une humidité plus grande de sols très utilisés pour la culture de l'arachide et par là très importante :

site de Zinder (NA 28)

Lat. : 13° 41' 26" N.
Long. : 9° 1' 20" E.
Cote : 446 m

Dunes très basses; interdunes très courts; mi-pente (4 %); parc à *Faidherbia* et champs d'arachide; recré à *Bauhinia*; 530 mm.

Surface : fissures fines tous les 30 cm (pénètrent jusqu'à 140 cm); 4 cm de sables particuliers; termitières rouges (1,5 m)

C-15 cm : brun-jaune clair; très sableux; feuilleté au A.1 p sommet; débit régulier; cohésion faible; chevelu abondant

M = 0,19 A = 1,5 Fl = 0,30 S = 1,05 pH = 5,6
 C/N = 6,2 L = 1,5 Fl/Ft = 63 Ca = 0,64 V = 39

15-30 cm : brun; taches diffuses jaune rougeâtre; raies fines et discontinues; débit mamelonné; cohésion plus forte; porosité semi-tubulaire bien développée
 A.2

30-62 cm : jaune-rouge; taches rouges diffuses (4 cm); raies; sableux; débit polyédrique; cohésion moyenne; volumes durcis; bonne porosité intergranulaire; moins de radicelles
 B.1 (g)
 structure

M = 0,15 A = 6,0 Fl = 0,64 S = 1,21 pH = 5,3
 C/N = 6,5 L = 6,5 Fl/Ft = 78,5 Ca = 0,69 V = 48

62-195 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/8) moins rouge à plus de 157 cm; sableux; débit régulier; cohésion moyenne à faible; moins poreux; peu de radicelles
 B.2 t

à 95 cm : M = 0,11 A = 7,0 Fl = 0,64 S = 1,25 pH = 5,8
 C/N = 5,6 L = 0,6 Fl/Ft = 81 Ca = 0,69 V = 29

195-210 cm : rouge-jaune (5 YR 6/8); très sableux; débit régulier, cohésion très faible (= particulière); moins poreux; grosses racines d'arbres
 B.C
 A = 3,5 Fl = 0,43 S = 1,11 pH = 6,2
 L = 3,0 Fl/Ft = 65 Ca = 0,58 V = 51

A cette latitude et dans ce type morphologique, les taux de matière organique et de fines sont au-dessous de la moyenne dans l'horizon A.1. Cette insuffisance s'étend à toute la toposéquence, à sols brunis à horizon B discontinu (M = 0,16%). Elle est une des formes de l'usure des terres du pays Haoussa, anciennement et densément peuplé (cf. p. 76).

Les sols des dunes situées au sud du Goulbi de Maradi sont également moins bien drainés que le type. La teinte des horizons B varie entre 5 YR et 7,5 YR; les raies peuvent être très développées. La pluviosité étant plus forte (620 mm) et les cultures moins denses, les taux de matière organique sont plus élevés (0,3-0,4%) dans les horizons A.1 plus sombres (10 YR 5/3) et moins appauvris (A = 3,5%).

La pluviosité diminuant, on constate l'habituel amenuisement des horizons A et l'augmentation des coefficients de saturation caractéristiques des faciès subarides. Sur le méridien de Zinder, vers la latitude 14° 20' N et l'isohyète 410 mm, les épipédons, brun-jaune clair (7,5

YR 5-6/4) peuvent ne pas dépasser 15 cm et les coefficients de saturation excèdent 85% en A.1. Simultanément les premiers îlots de la steppe à Commiphora apparaissent au milieu des cultures de pénicillaires à très grand écartement (2 x 2 m).

2.2822 Séries rubéfiées remaniées
.....

Les plus différenciées se situent sur les rides transversales les plus élevées (400-500 mm) :

	A	B.A	B	B.C
cotes (cm)	13-20	45	140-170	200...
couleurs	5 YR 5/5 7,5 YR 6/4	5 YR 5/4-6	5 YR 6/6	5 YR 6-7/6
	feuilleté	stries	stries ou raies légèrement mamelonné	particulaires
	A=1,5-2%		A=5,5-5	A=3,5-4,5
	M=0,27-0,3		M=0,13-0,21	
	pH=6,3-6,7		pH=5,9-6,5	

Les sols des cordons sont plus jeunes et complexes :

site de Tirmini (NA 33)

Lat. : 13° 44' 53" N.
Long. : 8° 41' 6" E.
Cote = 475 mm

Cordon longitudinal; sommet; savane lâchement arborée à Terminalia, Combretum; prairie psammophile à Aristida longiflora et Cenchrus; 532 mm.

Surface : sables particulières; de fines fissures tous les 45 cm pénétrant jusqu'à 200 cm

0-25 cm : brun-jaune clair (10 YR 6/4); lits cendreaux très fins; très sableux; feuilleté sur 2 cm
A.1 p puis débit régulier; cohésion faible; fort chevelu

25-40 cm : brun clair (7,5 YR 6/4); stries gris-rouge discontinues (e = 0,1 cm, d = 1 cm); sableux;
A.2 débit légèrement irrégulier; cohésion faible à moyenne; porosité intergranulaire plus grossière

- 40-110 cm : jaune-rouge (7,5 YR 6/6); stries gris-rouge jusqu'à 85 cm, profondeur à laquelle apparaissent des structures obliques finement feuilletées longues de 15 cm, gris-rouge (litage); sableux; débit régulier; cohésion moyenne; moins poreux
- (B)
couleur
- 110-180 .. : jaune-rouge plus vif (7,5 YR 6/8); sableux; débit régulier; cohésion moyenne à faible; moins poreux
- 11 BC

Un profil de la matière organique, de la couleur, de la porosité s'est reconstitué sur la base tronquée et fossilisée d'un sol dont la texture était celle des Séries rubéfiées. Des charbons, des débris de poteries peuvent indiquer la discontinuité à la base de l'horizon (B).

Selon le principe qu'à site semblable il ne saurait y avoir de sols différents, on sépare de ces formes les cordons E.2 de la même région où le niveau de différenciation de toute la toposéquence reste inférieur à celui des Séries rubéfiées : la base de l'horizon B (5 YR) se situe à 90 cm, la structure est presque entièrement particulière à cause de taux d'argile qui ne dépassent pas 2,5%. L'abondance des sols tronqués et fossilisés a montré le cumul des actions éoliennes sur les crêtes dunaires. On a admis que le même mécanisme, agissant sur les sols évolués, avait produit les Séries rubéfiées et les formes E.2, selon son intensité. Ce principe général au Niger peut également rendre compte de formes intermédiaires locales où les sols évolués du "socle" dunaire passent brusquement aux sols moins différenciés de la crête, parfois de type E.2, à sables de granulométrie différente.

Les Séries rubéfiées, en place ou remaniées, sont plus saturées en moyenne que les sols situés plus bas. Cela compensant leurs taux de fines plus bas, elles ont une richesse en bases égale sinon supérieure. Leurs épipedons étant également plus minces, elles acquièrent plus facilement un faciès subaride, dès 450 mm de pluies (S = 1,5-2,7).

2.2823

Séries à horizon B discontinu
.....

Site de Tirmini (NA 34)

Lat. : 13° 44' 53" N.
Long. : 8° 41' 6" E.
Cote : 470 mm

Replat à mi-pente d'un cordon dunaire (sommet du "socle"); 5 m au-dessus du glacis; savane arborée à *Combretum glutinosum*; 530 mm.

- Surface : sables particuliers
- 0-17 cm : brun-jaune (7,5 YR 6/4); stries gris-rouge; très sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire bien développée; chevelu très dense
- A.1
- 17-50 cm : brun-jaune (7,5 YR 6/4); stries gris-rouge réticulées plus poreuses que la matrice; très sableux; débit irrégulier; cohésion moyenne; très forte porosité semi-tubulaire
- A.2
- 50-165 cm : jaune rougeâtre (5 YR 6,5/6); stries gris-rouge diffuses; raies (e = 1 cm, d = 10 cm) rouges (2,5 YR 5/6) fusionnant vers la base; leur corps est plus poreux que la matrice, leur sommet est compact et surmonté de un ou deux films argileux; sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne ou forte (raies); bonne porosité semi-tubulaire; quelques radicelles
- E/B
- 165-250 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); volumes plus rouges à limites diffuses, lenticulaires, dus à la coalescence de bandes; sableux à sablo-argileux; débit polyédrique (3 cm); cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire plus élevée dans les zones rouges; pas de radicelles
- B
- 250-325 cm : plus clair (5 YR 5,5/8); plus sableux; débit régulier
- B.C

Le maximum des taux de fer est plus profond (225 cm) que celui de l'argile (205 cm). Les pH et la saturation marquent un minimum prononcé dans l'horizon E/B. La même organisation peut être observée dans des interdunes où les taux d'argile peuvent atteindre 12% dans l'horizon B vers 190 cm (NA 91, bassin du Goulbi N'Kaba). On considère que les sols analogues mais brunis et à raies situés à la base du B correspondent à un drainage moins bon :

Site de Tessaoua (ND 82)

Lat. : 13° 43' 2" N.
Long. : 8° 2' 0" E.
Cote : 420 m

Petite plaine sableuse dans un modelé de dunes basses; jachère à Bauhinia et Guiera; grandes Andropogonées; 590 mm.

Surface : croûte pluviale

0-11 cm : gris-brun (10 YR 6/2); très sableux; débit
A.1 régulier; cohésion moyenne à faible; bonne
porosité intergranulaire

11-45 cm : brun (10 YR 5/3); striés grisés; très sa-
A.2 bleux; débit mamelonné; cohésion moyenne;
porosité plus grossière (0,25 mm)

45-80 cm : brun vif (7,5 YR 5/5); des raies brun-rouge;
B sableux; débit très mamelonné; cohésion
moyenne à forte; porosité plus forte et
grossière; pas de radicelles au dessous
de 70 cm

80-136 cm : brun clair; raies brun-rouge très nombreu-
E/B ses (e = 0,3 cm, d = 5 cm); mêmes texture
et structure, la porosité diminuant au-des-
sous de 120 cm

136-200 cm : brun très clair; plus sableux; débit plus
B.C régulier; porosité plus fine et réduite

Les raies peuvent être présentes jusqu'à la base du profil qui est alors fort clair (10 YR 6/6 et 7/4). Cette variante a été observée à la base de massifs longitudinaux du Damagaram, sur des modelés encore ondulés situés en aval de la masse dunaire (NA 23 et 47). Elle est la plus sableuse de cet ensemble de sols brunis (Série de Baoudeta) qui sont eux-mêmes toujours moins argileux que les sols rubéfiés à horizon B discontinu (taux d'argile moyens en B compris entre 2,5 et 6,3% contre 7 à 12%). Cela rejoint une observation faite sur la terrasse du Goulbi de Maradi (p. 799) : au delà d'une certaine humidité, la formation de raies ne s'accompagne plus d'une accumulation d'argile et de fer par rapport à l'ensemble de la toposéquence, mais au contraire d'une diminution. Les données analytiques qui ne sont pas corrélées avec la texture sont les mêmes que dans les sols rubéfiés.

Les Séries rubéfiées de cuvettes interdunaires

Les sols brunis peuvent être remplacés, dans quelques dépressions interdunaires situées, par rapport à Zinder, à moins de 25 km au nord et à moins de 50 km vers l'ouest, par des sols rouges qui peuvent être fortement et diffusément enrichis en fer :

site de Takieta (NA 54)

Lat. : 13° 40' 0" N.
 Long. : 8° 27' 35" E.
 Cote : 442 m.

Cuvette interdunaire transversale; aréique; jachère à *Combretum glutinosum* et *Bauhinia*; 560 mm

0-5 cm : brun rougeâtre (5 YR 4/4); sableux; débit
 A p régulier; cohésion et porosité faibles;
 nombreuses radicelles

M = 0,33 A = 6,0 Fl = 1,42 S = 3,2 pH = 6,7
 C/N = 12,6 L = 0,5 Fl/Ft = 85 Ca = 2,3 V = 90

5-22 cm : brun-rouge foncé (5 YR 3/4); sableux; débit
 A polyédrique; cohésion moyenne; plus poreux;
 moins de radicelles

22-120 cm : rouge-jaune (5 YR 4/6); moins sableux; po-
 lyédrique en assemblage compact; cohésion
 B t faible jusqu'à 83 cm, moyenne en dessous;
 porosité intergranulaire forte au sommet

M = 0,20 A = 11,5 Fl = 2,24 S = 3,6 pH = 6,1
 C/N = 10 L = 0,5 Fl/Ft = 78 Ca = 2,46 V = 80

120-170 .. : jaune-rouge (7,5 YR 5/6); plus sableux; débit
 B.C régulier; compact

M = 0,11 A = 6,5 Fl = 2,17 S = 4,2 pH = 6,1
 C/N = 16,8 L = 2,0 Fl/Ft = 87 Ca = 3,24 V = 87

Des concrétions brunes ont été décrites dans un horizon C (g) jaune-brun (7,5 YR 5,5/6) très sableux (A = 3,5 Fl = 2,2) à plus de 190 cm (NA 24); l'horizon B peut être brun-rouge (5 YR 3/4, NA 4).

La granulométrie des sables et les capacités d'échange sont les mêmes que dans les sols des reliefs dunaires mais les taux de fer sont dans tous les horizons et relativement à l'argile de deux à trois fois plus élevés. L'origine de cette singularité constitutionnelle, unique au Niger, n'est pas connue : les apports d'hydroxydes

sont en effet soit proportionnels à ceux de l'argile (horizons B, matériaux ruisselés) soit figurés en concrétions. Les coefficients de saturation sont également plus élevés ce qui, joint à la faible épaisseur des horizons A (20-25 cm) confère à ces profils un faciès brun-rouge à la fois paradoxal car coïncidant avec un pédoclimat plus humide que celui des sols ferrugineux voisins et conforme à la théorie classique des sols subarides qui en fait des sols d'accumulation. Dans le cadre nigérien, ces profils doivent être rapprochés des sols où des apports de nappe (bases, hydroxydes) sont compatibles avec une rubéfaction prononcée, tels les sols de remblai.

2.2825 Les Séries à concrétions

Site de Bakimaram (NA 79)

Lat. : 14° 5' 10" N.
 Long. : 8° 55' 25" E.
 Cote : 473 m

Glacis sur grès crétacé subhorizontal à voile sableux; steppe arbustive contractée à saxicoles : Combretum micranthum, Acacia ataxacantha, Dichrostrachys et Commiphora; 470 mm; terrain de parcours

Surface : termitières

0-23 cm : gris rougeâtre (5 YR 5,5/3); raies rougeâtres (5-10 mm) de même structure que la matrice; A dépôts de sables très fins blancs dans les pores (néosquelettines); sableux, avec grains éolisés et grains plus grossiers et anguleux issus des grès; débit polyédrique (3 cm); cohésion moyenne; porosité intergranulaire grossière; des pores de 2 mm; peu de racines

M = 0,26 A = 5,2 Fl = 0,59 S = 1,88 pH = 6,8
 C/N = 12,6 L = 4,4 Fl/Ft = 77 Ca = 1,58 V = 90

23-48 cm : brun rougeâtre pâle (2,5 YR 6/3); raies rougeâtres plus distinctes; sableux; débit polyédrique plus accusé (4 cm); cohésion moyenne à forte; porosité plus grossière et hétérogène A-B

M = 0,21 A = 8,5 Fl = 0,64 S = 1,30 pH = 6,2
 C/N = 11,3 L = 4,2 Fl/Ft = 72 Ca = 0,74 V = 81

48-110cm : brun rougeâtre (2,5 YR 5,5/4); sableux à sablo-argileux; polyédrique en assemblage compact B.1

(1-5 cm); cohésion forte; porosité tubulaire avec cutines plus rouges que la matrice

M = 0,17 A = 12,5 Fl = 0,64 S = 0,78 pH = 5,0
 C/N = 8,1 L = 3,8 Fl/Ft = 66,7 V = 43 Ca = 0,38

110-125 cm : brun rougeâtre clair (2,5 YR 6/4); taches diffusées rouges; sablo-argileux; débit polyédrique; cohésion forte; bonne porosité tubulaire; niveau discontinu de concrétions noires à mince cortex jaune, en tubes (1-3 cm) ou en nodules (5 cm) modérément durcies, en place

B.2 cm (g) A = 19 Fl = 0,94 S = 1,89 pH = 5,3
 L = 1,5 Fl/Ft = 60 V = 82 Ca 1,03

125 .. : galets de quartz éolisés (concentrés des grès); fragments arrondis de grès ferritisés à cortex rougeâtre; concrétions noires (5 cm) à cortex jaune craquelé, à squelette plus grossier que dans le profil.

11 r cm

Les caractères communs de ces sols des glacis sur Crétacé faiblement couverts sont :

- une couverture peu épaisse (80-150 cm) très plané, où les sables éoliens se mêlent aux sables des grès;
- en profondeur un cailloutis formé par concentration des éléments grossiers des grès, concrétionné ou cuirassé;
- un horizon B textural sablo-argileux (A = 15-20%) situé immédiatement au contact du cailloutis, à concrétions ferrugineuses et manganésifères nodulaires et tubulaires
- des coefficients de saturation élevés, au moins dans l'épipédon (V = 90-95%, pH = 5,9-6,8) et dans l'horizon concrétionné (V = 80-95, pH = 5,3-6) caractères acquis grâce à l'immédiate proximité des grès.

Les différences sont dans la couleur de l'horizon B, plus rouge en haut de pente (5 YR 6/8) et dans le développement inégal de l'épipédon, soit très sableux (A = 2%) et épais (30-50 cm) de type ferrugineux (A.1 + A.2) soit comme ci-dessus plus mince probablement du fait de l'érosion superficielle.

Toposéquences des aires à
massifs dunaires longitudinaux
du Niger occidental

Après avoir perdu beaucoup de leur individualité dans la couverture sableuse des vallées et des plateaux gréseux du Niger occidental, les massifs longitudinaux réapparaissent en rive ouest du Niger sur les glacis plus dégagés du socle. Toute une partie, sur granites, est caractérisée par un drainage général relativement réduit et a été étudiée à ce titre (cf. pp. 767 - 783). Le reste, sur les schistes et les roches basiques du Birrimien et accessoirement sur les schistes du Nigérien, est mieux drainé et de façon plus diverse, à en juger par les sols, à cause d'une topographie fossile plus accidentée. Les ergs longitudinaux, orientés d'est en ouest, donnent les lignes directrices de l'ensemblement. Leur surface est confusément ondulée et n'a conservé de rides transversales que tout au nord. Dans les massifs de collines tabulaires, ils se prolongent en cordons filiformes ou bien se dispersent en dunes d'obstacles et en voiles sableux sur cuirasses. L'ensemblement se généralise vers le nord, à moins de 475 mm de pluies environ, où les glacis sont en même temps plus aplanis. Des plaines sableuses apparaissent ainsi, entre les ergs longitudinaux proprement dits identifiables par leur limite nord linéaire et relevée et par un modelé superficiel ondulé. L'ensemble est recoupé par les puissantes rides longitudinales E.2. Vers le sud, les massifs dunaires se restreignent à des cordons espacés qui finissent par disparaître vers 13° 40' N (575 mm). Des dunes d'obstacles, des ensablements de versants dont l'érosion hydrique a pu effacer complètement le modelé en buttes sont les ultimes formations éoliennes, jusqu'à la latitude 13° N (650 mm).

Dans cet ensemble de sols ferrugineux peu lessivés, situés entre 400 et 650 mm, les faciès subarides apparaissent vers 450 mm sur les sites les plus exposés à l'érosion; crêtes dunaires, voiles sableux, terroirs surcultivés ou surpâturés. Les formations végétales caractéristiques des dunes varient en latitude :

- à 650 mm de pluies, on a une savane boisée à Bombax, Sterculia, Sclerocarya, Combretum avec prairie à Ctenium et Heteropogon;
- à 550 mm, la savane arborée ne renferme plus que le

Sclerocarya et le Combretum glutinosum, le tapis herbacé étant identique;

- entre 400 et 475 mm, les Commiphora, Acacia raddiana, Acacia senegal se mêlent aux Combretum; le Cenchrus apparaît dans la prairie; les jachères sont à Guiera.

Entre 550 et 400 mm, dans les bassins du Gorouol, du Dargol, du Niger, ces sols sont cultivés, souvent avec excès au voisinage de ces cours d'eaux où les dégâts sont aggravés en saison sèche par les passages du bétail.

2.291

Toposéquences à Séries rubéfiées dominantes

Des sols ferrugineux rouges, à horizon B sableux à sablo-argileux, relativement bien structuré et cohérent, se sont formés sur la plupart des sites, bien drainés, des ensembles sur Birrimien: massifs longitudinaux, cordons, dunes d'obstacles, voiles sableux sur cuirasses ou roches vertes:

site de Ouro-Sawabe (NK 95)

Lat. : 13° 2' 30" N.
Long.: 1° 2' 40" E.
Cote : 254 m

Couverture sableuse aplanie sur glacis; à mi-pente (0,5%); savane boisée à Bombax; tapis herbacé à Ctenium; inculte; 645 mm

Surface : croûte pluviale noire

0-25 cm : brun (10 YR 5,5/3); très sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire
A

25-45 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 5/4); sableux; débit finement mamelonné; cohésion moyenne; des volumes durcis; porosité semi-tubulaire bien développée; durci
A2-B

Contraste fort; transition de 10 cm

45-95 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); sablo-argileux; débit polyédrique; cohésion moyenne à forte;
B.21

volumes durcis nombreux; porosité semi-tubulaire plus grossière

Contraste très faible; transition de 20 cm

95-150 cm : même couleur; plages plus rouges, diffuses; sablo-argileux; polyédrique (1-5 cm) en assemblage compact; cohésion forte à très forte; porosité semi-tubulaire très grossière et réduite; volumes compacts très nombreux; très dur

B.22

En bas de pente, ou au contact immédiat d'altérites argileuses fossiles, on a décrit, sous ce même horizon B (2,5 et 5 YR 3-5/6-8, A = 11-15%) un horizon C g jauni ou bariolé à concrétions manganésifères (7,5 à 10 YR 5/8, A = 5%, Fl = 0,88%). Les sables sont fins, l'acidité est forte, davantage corrigée dans l'horizon C g (pH = 6,4, V = 90) qu'en surface.

Cette organisation est conservée sur les cuirasses pratiquement sans limite d'épaisseur du voile sableux (NO 28) :

0-28 cm : brun foncé (10 YR 5/3); sableux; débit régulier; compact
A

28-40 cm : brun vif (7,5 YR 5/5); sableux; débit polyédrique
A.B

40-70 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); sablo-argileux; polyédrique en assemblage compact; forte porosité semi-tubulaire
B

70 cm : cuirasse ferrugineuse

Des sols analogues ont été observés sur des reliefs dunaires septentrionaux :

site de Dolbel-Sonti (GA 56)

Lat. : 14° 37' 40" N.

Long. : 0° 21' 0" E.

Cote : 281 m

Massif dunaire longitudinal; crête nord, relevée en cordon; jachère à *Combretum glutinosum*, gommiers; tapis à *Schoenefeldia*; 450 mm.

Surface : croûte pluviale; sables particuliers en ridules et rebdhou

0-18 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 5,5/6); très sa-
 A.1 bleux; débit légèrement mamelonné; cohé-
 sion moyenne
 M = 0,23 A = 3,7 S = 1,43 pH = 6,6 IS = 0,55
 C/N = 5,9 L = 13,2 Ca = 1,03 V = 60 K = 1,0

18-40 cm : brun rougeâtre (5 YR 4/4); sableux; débit
 A2-B très mamelonné; cohésion moyenne; volumes
 durcis; porosité intergranulaire forte
 M = 0,17 A = 8,2 S = 2,40 pH = 5,8 IS = 1,3
 C/N = 4,5 L = 4,5 Ca = 1,19 V = 75 K = 1,1

40-152 cm : rouge-jaune (5 YR 5/5); sableux; débit po-
 B.21 lyédrique; cohésion moyenne; porosité semi-
 tubulaire, réduite
 M = 0,15 A = 11,0 S = 2,85 pH = 6,2
 C/N = 3,6 L = 6,2 Ca = 1,30 V = 100

152-200 .. : rouge-jaune (5 YR 5/6); sablo-argileux; dé-
 B.22 bit polyédrique; cohésion moyenne à forte;
 dur et compact; taches noirâtres et nids
 d'insectes
 M = 0,11 A = 15,2 S = 4,75 pH = 6,1
 C/N = 2,6 M = 8,7 Ca = 2,84 V = 100

Les textures et les structures se conservent dans toute la toposéquence dont le terme inférieur est simplement moins rouge (5 YR 4/4). Elles sont corrélées et varient d'un massif dunaire à l'autre. Dans le même bassin du Gorouol existe un type plus léger et rubéfié (A = 8%, 5 YR 5/8) à épipédon ferrugineux plus épais (40-50 cm). Au contact des glacis, il produit un terme brun (7,5 YR 5/4) à raies dans les horizons A.2 et B.21, le sens du drainage étant de la dune vers le substrat. Dans les sillons intradunaires, où la couverture sableuse est encore épaisse (2 m) l'horizon B reste coloré (5 YR 4/4-6) et des concrétions ferrugineuses stalagmiformes peuvent apparaître dans un horizon C g (A = 4%) jauni, au contact de la nappe détritique recouvrant le glacis (GA 36). L'humidité de ce dernier site, persistant en saison sèche, accreditte l'existence d'une nappe jadis plus largement étendue où de telles concrétions existent encore.

Ces sols ne sont pas des plus perméables et s'érodent facilement. Tout au sud, les dunes d'obstacles montrent des profils tronqués dans les horizons B; l'épipédon est mince (15 cm) relativement argileux et peu organique (A = 11%, M = 0,21%). Au nord, les sols sont tronqués et fossilisés; l'épipédon est épais et reconstitué. Un très

bel exemple en est donné par le massif longitudinal situé en rive est du Niger au nord d'Ayorou, dont tous les sols sont ainsi modifiés.

2.292 Séries à action de nappe en profondeur

Elles caractérisent les plaines sableuses du bassin du Gorouol :

site de Boundiere (GB 32)

Lat. : 14° 43' 35" N.

Long. : 0° 27' 0" E.

Cote : 252 m

Aspect de plaine sableuse; glacis à pente très faible (0,03%); pente locale 0,2%; prairie à *Cenchrus* et *Ctenium*, avec *Combretum glutinosum*, gommier, *Balanites*; 430 mm.

Surface : fortement déformée par de petites accumulations éoliennes autour de touffes d'herbes; termitières brunes (1,5 m)

0-10 cm : brun (10 YR 5/4); sableux; feuilleté; cohésion moyenne; produit par le travail à la houé
A.p

10-20 cm : brun-rouge (7,5 YR 4/4); sableux; débit régulier à faces mamelonnées; cohésion moyenne; compact; assez dur
A.B

20-40 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire fine bien développée; radicelles nombreuses
B.21

40-158 cm : couleur de transition brun-jaune; sableux; débit mamelonné; cohésion devenant forte au-dessous de 97 cm; plus compact
B.22

158-200 cm : jaune-brun (10 YR 5/8); plus sableux; porosité intergranulaire; moins dur
B.3 (g)

L'épipédon est de type subaride; le profil, brun-rouge en conséquence, est saturé. Le jaunissement et le durcissement de la base des horizons B sont attribués à une action de nappe inactuelle. Le concrétionnement, ferrugineux, a été observé dans un horizon C g (A = 5%)

identiquement jauni (GB 56) au niveau du thalweg fossile; le profil était également brun (7,5 YR 4/4). Sur la banquette surplombant l'entaille d'un affluent du Gorouol, ce ne sont plus des concrétions mais des raies qui se sont formées à la base de l'horizon B.21, rouge (GB 59).

2.293

Les toposéquences à sols peu évolués de la famille 1.
"Séries intermédiaires"

Dans la même zone d'ensablement généralisé du bassin du Gorouol, des modelés dunaires ont la disposition et l'orientation des dunes basses E.1 mais l'aspect superficiel et des traits pédologiques des dunes hautes E.2. Le plus notable est l'erg de Ouazerbé qui jadis barra la vallée du Gorouol à la latitude 14° 44' N. Large de 5 km, orienté rigoureusement d'ouest en est, il est formé de dunes rondes individualisables sur photographie par le réseau réticulé des dépressions interdunaires où se concentrent les arbustes. La surface de ces croupes, basses et peu pentues (5 m, 1%) est excessivement dégradée par le piétinement du bétail, par le vent et le ruissellement. Les sables particuliers y forment une couche d'épaisseur moyenne considérable (7 cm) ramassée en petites buttes autour des végétaux (rebhou). Où elle disparaît, s'étendent des plages décapées et mêmes ravinnées au contact des reliefs rocheux. Autour du village de Ouazerbé, on peut voir en saison sèche un petit désert de sables vifs avec nekbas à des états variables de fixation. Il est limité vers le nord par des cordons E.2 obliques sur sa propre direction, vers le sud par une plaine sableuse qui le sépare d'un massif longitudinal analogue. Sur une coupe, on a pu estimer la puissance de l'ensablement à 20 m sous les cordons E.2, à 6 m sous l'erg de dunes rondes, à moins de 3 m dans la plaine sableuse. La végétation est une savane très lâchement arborée, plus dense dans les dépressions, dont la plupart des constituants sont caractéristiques des sables très meubles :

- *Combretum glutinosum*, *Terminalia avicennoides*,
Commiphora africana et *Balanites*
- *Aristida longiflora*, *Andropogon* sp. aff. *gayanus*,
Cenchrus biflorus, *Eragrostis*
- *Leptadenia*, *Chrozophora*, *Borreria*.

L'absence de cultures est un autre indice de la pauvreté en fines des sols. La toposéquence est la suivante :

site de Ouanzerbé (GB 17-18-19)

Lat. : 14° 46' 36" N.
Long. : 0° 17' 30" E.
Cotes : 258 m (GB 18)
 255 m (GB 17)
 253 m (GB 19)

Modelé en buttes arrondies; 440 mm

Sol subaride brun-rouge peu différencié (F.1); sommet
(GB 18)

- 0-15 cm : brun (7,5 YR 4/4); très sableux; feuilleté
A.11 puis débit régulier; cohésion très faible;
porosité intergranulaire
- 15-30 cm : plus vif; très sableux; débit mamelonné;
A.12 cohésion moyenne; porosité finement semi-
tubulaire
- 30-67 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/6); débit mamelonné;
B cohésion faible; même porosité
- 67-180 cm : horizon de transition; très sableux; poro-
B.C sité intergranulaire
- 180-225 cm : jaune-rouge pâle (7,5 YR 5,5/6); très sa-
C bleux; cohésion très faible (particulaire)

Ce profil, où seules la couleur et la porosité varient nettement, sans cohésion, est identique aux sols des grandes rides dunaires E.2.

Sol subaride brun-rouge "intermédiaire"; mi-pente (GB L7)

- 0-15 cm : brun (7,5 YR 4/4); très sableux; débit mame-
A lonné; cohésion faible; porosité intergranu-
laire
- 15-84 cm : rouge-jaune (5 YR 4/8); sableux; débit très
B mamelonné; cohésion faible; très nombreuses
racines
- 84-137cm : brun-jaune foncé (10 YR 4/4); sableux; débit
B (g) plus régulier; cohésion moyenne; durci

137-205 cm : sables particulières jaunes jusqu'à 150
BC et C cm puis blancs (10 YR 6,5/4)
(g)

Lorsqu'il n'y a pas d'action de nappe, les horizons BC et C reprennent leurs couleurs normales (jaune-rouge, 7,5 YR 5/8, puis jaunâtre 10 YR 6,5/6) et la base de l'horizon B n'est plus durcie. Ce type de sol s'étend à la plus grande partie du modelé et peut se substituer au précédent en position sommitale lorsque le modelé est localement plus aplani. Les traits morphologiques et les taux de fines sont intermédiaires entre ceux des sols des familles 1 et 2.

Sol subaride brun, à raies; creux interdunaire (GB 19)

0-15 cm : brun (10 YR 5/3,5); sableux; débit mame-
A lonné; cohésion moyenne; porosité semi-
tubulaire; assez dur

15-72 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); sableux; débit très
B mamelonné; cohésion moyenne; même porosité;
tendre

72-120 cm : horizon de transition, durci

120-200 cm : blanc (10 YR 7/3); raies brunes fines et
E/B (g) nombreuses (e = 0,2 cm, d = 5 cm); très
sableux; débit régulier; porosité inter-
granulaire; durci

La continuité latérale entre le sol rouge et le sol brun aboutit à des profils dont les horizons homologues sont passablement superposables. Cette liaison n'existe pas avec le profil sommital qui, inhabituellement moins rubéfié, est tenu pour plus jeune alors que le reste de la toposéquence est considéré comme un type textural de la famille 2 (cf. p.582).

2.210

Les toposéquences à sols sub-
arides brun-rouge des massifs
d'ondulations dunaire s réti-
culés

Au nord de l'isohyète de 400 mm, les bas-glacis sur

grès du Crétacé, du Continental Terminal et sur schistes nigériens, libres de reliefs, sont fossilisés par une nappe continue de dunes rondes, basses, orientées du nord-est au sud-ouest (cf. p. 521). Elle s'imbrique dans les massifs longitudinaux méridionaux à l'ouest du Dallol Bosso. Ce contact est jalonné par des alignements de grosses dunes en boucliers (cf. p. 523) aux pieds du Damergou et à l'ouest du Koutous. Des plaines sableuses et quelques crêtes mettent quelque variété dans ce moutonnement monotone et le structurent. A moins de 360 mm de pluies, ce relief est rongé par une érosion complexe hydrique et éolienne qui fossilise les sols sous leurs propres débris, ravive les crêtes dunaires, crée une couche meuble saisonnièrement instable distincte par son organisation et par son équilibre topographique aussi bien des sols totalement fixés méridionaux que des sables vifs du désert (cf. pp. 530-532). La végétation est, uniformément, la steppe arbustive à Commiphora (cf. p. 597). Sa strate prairiale donne le pâturage le meilleur et le plus étendu du Niger. Les précipitations sont trop faibles pour que les cultures soient nombreuses et permanentes. Les défrichements progressent pendant les années pluvieuses puis sont abandonnés. Des restes de sites habités, témoins de cette pratique ou de périodes plus reculées et favorables, parsèment cet énorme espace actuellement désert au fort de la saison sèche.

A l'exception de la région située entre le Damergou et l'Ader Douchi, où l'extension des Séries à raies ou à horizon B discontinu (Dakoro, Dan Makao, Tagae, Belbedji) indique une diminution du drainage général, cette zone possède une couverture pédologique dont l'uniformité répond à celle du paysage. Elle se résume à une toposéquence à sols rubéfiés et à sols brunis, dont les divers termes diffèrent dans leur extension et dans leur degré de remaniement selon les conditions locales.

2.2101 La toposéquence

Site de Wella Safan Gari (NI 39-40-41)

Lat.	: 14° 52' 0" N.	Dunes basses sur grès Ct.2, affleu-
Long.	: 3° 43' 10" E.	rant dans quelques dépressions;
Cotes	: relatives (m)	pente moyenne de 3,5%; steppe ar-
	0 NI 41	bustive à Commiphora, Boscia,
	+ 1,5 NI 40	Guiera; prairie dégradée à Blepha-
	+ 4 NI 39	ris; pâturage; 390 mm

Sol subaride brun-rouge, Série rubéfiée (NI 39, sommet)

- Surface : 3 cm de sables particuliers brun-jaune
- 0-13 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 5,5/6); très sableux; débit irrégulier; cohésion moyenne, plus forte sur les 5 premiers centimètres; porosité intergranulaire fine, moyennement développée
- A.1
- Contraste moyen à faible; transition de 5 cm
- 13-35 cm : légèrement plus rouge que 7,5 YR 5,5/6; une raie brun-rouge; sableux; débit finement mamelonné; cohésion moyenne à forte; porosité plus forte et grossière
- A.2/B t
- Contraste moyen; transition de 10 cm
- 35-85 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/8); une raie peu distincte; plus sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à forte jusqu'à 63 cm, profondeur au delà de laquelle elle diminue linéairement jusqu'à être moyenne à faible; porosité plus fine; pas de racines au delà de 90 cm
- B
- 85-160 cm : horizon BC de transition
- 160-200 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5,5/8); très sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire très fine
- C

Sol subaride brun-rouge à brun (NI 40, 1/3 inférieur de pente)

- Surface : 1 cm de sables particuliers; des termitières arasées blanches
- 0-17 cm : brun (7,5 YR 5,5/6); très sableux; débit régulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire fine et forte
- A
- Contraste moyen, transition de 5 cm
- 17-32 cm : brun légèrement plus rouge que 7,5 YR 5,5/6; deux raies rouges; sableux; débit très mamelonné; cohésion plus que moyenne; irrégulière,
- A/B.1

localement forte; porosité plus grossière et développée

Contraste faible, transition de 10 cm

- 32-77 cm : jaune-rouge ou brun vif (7,5 YR 5,5/8); une raie brun-rouge (e = 3 mm); sableux; débit très mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité plus fine
B.1
- 77-170 cm : plus jaune; moins sableux; débit plus régulier; porosité plus fine; pas de radicules au delà de 120 cm
B.2
- 170-200 .. : jaune rougeâtre (10 YR 6/8); volumes légèrement rubéfiés, à texture plus fine, de cohésion moyenne à forte (5 cm); plus sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité très fine
B.3 (cn)

Sol ferrugineux bruni, à concrétions de nappe
(NI 41, interdune)

Surface : croûte pluviale grise

- 0-16 cm : beige (10 YR 6/4); très sableux; débit légèrement irrégulier; cohésion moyenne à forte; porosité intergranulaire peu développée
A.1

Contraste moyen; transition de 10 cm

- 16-40 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 5,5/6); très sableux; débit très irrégulier; cohésion moyenne à forte; porosité semi-tubulaire grossière moyennement développée
A.2

Contraste moyen à faible; transition de 2 cm

- 40-118 cm : brun plus vif (7,5 YR 5,5/6); volumes brun-rouge irréguliers distincts légèrement durcis; sableux; débit irrégulier; cohésion variant de moyenne à très forte; porosité semi-tubulaire peu développée; le chevelu radiculaire s'arrête à 50 cm
B t

Contraste moyen; transition linéaire

- 118-184cm : jaune rougeâtre (10 YR 6/8); sableux; débit irrégulier; cohésion moyenne; porosité tubulaire peu développée; très nombreuses
B g cn

concrétions rouges (10 R 5/4) allongées et verticales (8 x 3 cm) sans cortex, modérément indurées, à surface irrégulière

Contraste moyen, transition de 5 cm

184-
234/274 cm : brun jaunâtre (10 YR 5,5/8); plus sableux; des taches rouges; particulière; humide
BC g (cn) (12-1963)

234/
274-300 cm : horizon gravillonnaire à limite supérieure sinueuse formé de concrétions rondes ou mamelonnées rouge foncé (7,5 R 3/6) à cortex brun (7,5 YR 4/4) dans un emballage sableux brun-jaune (10 YR 5,5/8) à taches rouges, humide
11 r g

Cette suite est identifiable par la plupart de ses caractères aux termes moyens et inférieurs de la toposéquence de référence des sols ferrugineux peu lessivés. Le concrétionnement ferrugineux a été nourri par une nappe reposant sur le substrat gréseux au-dessus duquel l'humidité est encore plus forte et persistante. L'acidité, la pauvreté en bases (T/A de 12 à 20) spécialement en calcium, la richesse relative en fer sont propres à la sous-famille fossilisant ces roches. Les sols de la dune sont en voie d'érosion lente : le sommet des horizons B est quelque peu brun; il est durci; des raies secondaires s'y forment; il est le siège de l'activité biologique maximum; l'horizon A₁, mince et très sableux, le recouvre sans transition et peut même être au contact du maximum textural. Le sol d'interdune est brun, plus riche en matière organique mais a des horizons A mieux conservés et épais de sol ferrugineux car il est moins bien drainé et davantage protégé de l'érosion. Il est aussi plus acide car ce n'est que sur les substrats saturés que, en règle générale, l'apport de bases par les solutions accroît le pH des sols des points bas (comparer Ajekoria, p. 814 et Koutoumbou, p. 810). Il n'apparaît donc de faciès subaride, brun-rouge, que sur le relief.

2.2102

Variations locales et régionales

Le modelé local détermine la répartition des termes de la toposéquence. Les sols rouges s'étendent à la totalité des dunes et des plaines sableuses, les sols brunis étant limités à quelques sillons interdunaires. Le type sommital,

à base bien drainée, plus pauvre en fines, s'étend largement sur les reliefs dunaires élevés, spécialement sur les dunes en bouclier, où il peut être encore plus rubéfié (2,5 YR 5/8). Le type de bas de pente, plus argileux, à base diversement modifiée par réduction du drainage, domine sur les modelés les plus bas (moins de 3 m d'amplitude) et sur les plaines. L'allègement de la texture moyenne en fonction de l'élévation relative est maximum sur des crêtes dunaires septentrionales où le degré d'évolution du solum (0-2 m) est en même temps plus faible. Il ne possède pas d'horizon B textural et/ou n'est pas nettement rubéfié (horizon (B) 7,5 YR 5/6); la structure est partout près d'être particulière. On admet que ces sols, intermédiaires dans leur ensemble entre ceux des familles 1 et 2, sporadiquement distribués au sommet de dunes E.1, ont été rajeunis par un brassage éolien plus important et ancien que celui qui actuellement atteint les épipédons.

Les variations d'ordre régional les plus importantes sont celles du drainage et du chimisme. Les premières ont produit les Séries à raies, à horizon B discontinu précédemment étudiées. Les secondes consistent en ce que les sols sur Crétacé sont plus facilement et profondément saturés que les sols sur Continental Terminal.

Les horizons de surface diffèrent beaucoup selon qu'ils sont en voie d'érosion, cas le plus fréquent, ou bien tronqués et plus ou moins anciennement fossilisés. Les sols enfouis sont plus communs sur les sommets élevés, en bordure de grandes dépressions mais peuvent également être présents sur des modelés fort aplanis :

site de Tamatchi (N1 62)

Lat. : 14° 57' 0" N.

Long. : 3° 12' 10" E.

Modelé de 3 m d'amplitude; sommet; steppe arbustive à *Comphora*, prairie à *Cenchrus* avec des touffes d'*Hypparhenia dissoluta*, élément des prairies vivaces psammophiles; 380 mm.

Surface : 1 cm de sables particulières; plages d'érosion en nappe

0-32 cm : brun-jaune clair (10 YR 6/5); sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire fine et forte
A

M = 0,20 A = 5,0 Sf = 75 Fl = 0,40 S = 0,95
 C/N = 10,4 L = 0,5 Sg = 18 Fl/Ft = 67 Ca = 0,36
 pH = 5,9
 V = 70

Contraste moyen, transition de 10 cm

32-72 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 6/5); raies très fines (e = 0,3 mm, d = 9 cm) homochromes, (B) légèrement plus cohérentes; sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne à faible; porosité plus grossière et forte

M = 0,10 A = 5,0 Sf = 74 Fl = 0,54 S = 0,49
 C/N = 8,0 L = 1,0 Sg = 18 Fl/Ft = 65 Ca = 0,18
 pH = 5,2
 V = 51

Contraste fort, transition de 5 cm

72-138 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/6); trois raies jusqu'à 105 cm; moins sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à forte; nettement durci; porosité intergranulaire plus grossière et moins forte; quelques pores tubulaires
 2.B1

M = 0,10 A = 11,0 Sf = 57 Fl = 0,97 S = 0,86
 C/N = 6 L = 3,0 Sg = 26 Fl/Ft = 73 Ca = 0,23
 pH = 4,9
 V = 55

contraste faible, transition de 17 cm

138-200 .. : jaune-rouge; même texture; débit régulier; B.2 cohésion faible; porosité intergranulaire bien développée

M = 0,07 A = 11,5 Sf = 67 Fl = 1,01 S = 0,80
 C/N = 7 L = 2,0 Sg = 18 Fl/Ft = 79 Ca = 0,56
 pH = 5,0
 V = 49

Les horizons très sableux et peu colorés sont inhabituellement épais, le sommet de l'horizon B est durci, les variations granulométriques sont discontinues; il y a donc eu remaniement fossilisant. Un profil juvénile à raies A-(B) s'est reconstitué, l'érosion est actuellement hydrique : la fossilisation éolienne est déjà ancienne et ne correspond plus aux conditions locales de couvert et d'humidité. Ces sols rajeunis peuvent être anthropiques; ils sont fréquents au sud du Damergou où la discontinuité de l'ensablement concentra les agriculteurs sur

des surfaces plus petites. Les uns sont à cendres et à débris de poteries; ils sont bruns (10 YR 4,5/4) très sableux (A + L = 4%). Les autres se sont formés dans cette aréole très dégradée centrée sur l'habitat. Ils sont de teinte jaune très clair (10 YR 7/6) lités, très sableux (A + L = 2-3,5%) à horizon A très peu distinct bien que normalement organique (M = 0,25). Des ségrégations très fines conformes au litage sont interprétées comme un premier stade de formation des raies.

2.2103 Aspect modal des sols subarides brun-rouge du Niger

L'étendue de cette unité permet d'y définir les caractères pédologiques que l'on trouve sur les plus grandes surfaces en zone sahélienne. Ce sont ceux de Séries rubéfiées homologues des sols ferrugineux peu lessivés à drainage moyen de la toposéquence de référence de la famille 2. Les Séries rubéfiées à raies et les Séries brunies sont bien plus rares et hors du domaine modal. L'épipédon est en voie d'érosion lente; sa partie inférieure, correspondant au A.2 ferrugineux, coïncide le plus souvent avec le sommet des horizons B. Les horizons ou les solums du brassage éolien sont plus strictement localisés dans le temps et dans l'espace et sont éliminés de la synthèse ci-dessous :

Horizon A

- Epaisseur : 7 - 14 - 20 cm (minimum, médiane, maximum)
- brun rougeâtre (5 YR 4,5 - 5,5/4)
 brun, teinte modale (7,5 YR 5-5,5/4-6)
 brun à beige (10 YR 5-6/4)
- très sableux (cf. tableau 152); pH et saturation maximale pour un substrat donné et taux de matière organique minima pour un type d'utilisation donné
- débit horizontal, ou structure feuilletée, en surface; au dessous débit régulier de cohésion faible, plus rarement moyenne
- porosité de type intergranulaire

Horizon A en B

- cotes de la base : 20 - 32 - 49 cm
- rouge-jaune (5 YR 5-5,5/6)
 brun vif ou brun rougeâtre (modal : 7,5 YR 5/4 ou 4,5-5,5/6)
- texture semblable ou proche de celle de l'horizon B rouge

- stries, raies, réseau de pores à parois décolorées
- débit légèrement à fortement mamelonné; cohésion moyenne ou moyenne à forte; très souvent durci
- porosité plus grossière et forte, intergranulaire et semi-tubulaire

Horizon B

- cotes de la base : 60 - 130 - plus de 200 cm
- rouge (2,5 YR 5/8)
rouge-jaune (modal : 5 YR 4-6/6-8)
- répartitions du plasma minéral les plus diverses, dues à l'érosion variable d'un profil lessivé normal
- débit légèrement à fortement mamelonné; cohésion faible à forte, le plus souvent inférieure à celle de l'horizon ci-dessus
- porosité souvent plus grossière et réduite

Horizon B.C

- défini par des taux d'argile plus faibles et un débit devenant progressivement régulier. La couleur est généralement ou moins rouge, ou plus claire

Horizon C

- généralement plus profond que deux mètres ou absent; observé trois fois sur 15 entre 120 et 180 cm
- jaune rougeâtre (7,5 YR 5,5/6/6-8)
- très sableux
- débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire

2.211 Principales caractéristiques
des sols ferrugineux peu lessivés et
de leurs faciès subarides (F.2)

2.2111 L'organisation du profil

Elle est en premier lieu celle de sols lessivés, en second lieu celle de sols ferrugineux au sens commun du terme, c'est-à-dire vivement colorés par les hydroxydes de fer. Son unité est dans l'invariance des profils de structure, de couleur, de texture.

En surface une structure particulière se manifeste à

l'échelle macroscopique par des débits réguliers, ou laminaires, ou nuciformes dus à une compaction et à une distribution variable des grains du squelette par l'effet des agents météoriques et des êtres vivants. Une cimentation par le plasma minéral, faible mais décelée par les analyses d'agrégats, apparaît en profondeur où des structures intertexturées ont pu être observées. Il lui correspond des débits mamelonnés ou polyédriques qui révèlent également des volumes structuraux sans limites définies, nés de tassements locaux du squelette et/ou d'une concentration du plasma. La distribution de ce dernier devient très progressivement plus homogène vers la base du profil si elle est hors d'atteinte des racines et des foyers. Le débit est alors régulier et correspond à une structure particulière, caractéristique de l'horizon C structural sinon du matériau lui-même, si les taux ont suffisamment diminués.

La porosité varie parallèlement à la structure. Elle est minimum, intergranulaire au sommet et à la base du profil. Elle passe par un maximum à quelques décimètres de profondeur où aux vides de tassement s'ajoutent des méta-vides, des agrotubules très fines, des pores tubulaires, ces derniers d'autant plus abondants que l'horizon est plus compact.

Le rougissement de la partie moyenne du profil, entre les horizons A gris et le matériau plus clair ou jaune, est le caractère le plus évident. Dans la notation Munsell, il correspond à une diminution de 2,5 YR de la teinte et/ou à un accroissement de 0,5 à 2 unités des deux coordonnées, par rapport à l'horizon C ou à la base du solum. Il dépend moins des taux d'hydroxydes de fer que de leur état physique et de leur distribution.

Les taux de plasma minéral croissent vers des horizons d'accumulation pour lesquels des rapports B/C et B/A de l'ordre de 1,5 à 3 ont été souvent calculés, situés à des profondeurs variables :

sommet : 21-42-100 cm, base : 80-150-plus de 200 cm.

La fréquence des répartitions de type 3 (cf. p.15) est attribuée au lessivage. Leurs formes b, c, d et la répartition 2 sont des modalités dues aux remaniements, à la nappe, à l'épaisseur du matériau. Les variations du fer et de l'argile sont liées positivement en grande partie. Un taux résiduel d'indépendance est dû à la localisation d'une fraction du fer dans le squelette, à sa possibilité de migrer plus profondément de quelques décimètres ou

d'être exporté ou importé par la nappe.

La concentration du plasma en raies ou en bandes plus complexes dans une matrice plus ou moins éluvée est caractéristique de la famille et d'une bonne proportion de Séries. Ces micro-horizons ou groupes de micro-horizons se substituent aux horizons d'accumulation normaux dont ils ont toutes les propriétés, à l'exception de taux de matière organique éventuellement plus élevés.

Les horizons B brunissent et durcissent au contact des eaux météoriques et phréatiques. Au toit des nappes on observe une hydratation (jaunissement) un concrétionnement en hydroxydes et oxydes de fer et de manganèse, accessoirement siliceux, dont la configuration est totalement indépendante de la macro-structure de l'horizon. Le magasin est souvent fortement lavé. L'évapotranspiration étend à une plus grande partie du profil les apports de calcium et ceux, moins communs, de sodium.

Ces profils partiels se superposent de diverses façons et peuvent être partiellement oblitérés, souvent en raison du manque d'épaisseur du matériau. Il en résulte une grande variété d'horizons et de combinaisons d'horizons, c'est-à-dire de Séries. Il n'y a guère que l'horizon A.1 pour être constant dans ses caractères. Les maxima des taux de fer, d'argile, de structure, de couleur sont variablement décalés, la succession modale étant la suivante :

	A.1	A.2	B.1	B.21	B.22	B.C	C
minima	texture						texture
maxima		porosité	structure	couleur	texture		

Plus généralement, désignant par Ps, Pc, Pt les cotes des maxima de la structure, de la couleur, de la texture, les successions définies par :

$$Ps < Pc < Pt$$

sont celles de 65% des Séries, fréquence significativement plus élevée que celle qui ne serait due qu'au seul hasard (37%). Il apparaît ainsi que le développement structural et que la rubéfaction sont partiellement indépendants du taux de plasma minéral et liés, pour l'un à l'activité biologique, pour l'autre à une humidité moyenne point trop forte.

Les raies tendent à se localiser vers le contact A/B, où le drainage est ralenti, ou bien à la base même du profil. Leur développement va de pair avec l'éluviatation et l'épaississement d'horizons E très sableux et particuliers. Il produit deux types de profils correspondant aux deux localisations précitées. L'un, rubéfié, possède un horizon B textural sablo-argileux très profond :

A.1 E-A.2 E/B B

stries stries raies

l'autre, bruni et bien plus sableux, est presque entièrement formé d'un horizon à raies :

E-A E/B

raies

Des raies secondaires peuvent naître à la suite de ces discontinuités primaires ainsi qu'au-dessus de contacts planiques créés ou accentués par l'érosion.

Lorsque l'hydromorphose apparaît dans de telles organisations, la disposition des concrétions indique qu'elle leur est postérieure.

2.2102

La toposéquence, effet des variations du drainage local

Les profils varient continûment le long d'une même pente, sont définis pour des caractères stationnels donnés de déclivité, de substrat, d'épaisseur, sont indépendants de l'extension relative des diverses parties d'un même modèle, des Séries associées. La pédogenèse dépend donc plus du régime hydrique local que de migrations latérales.

Les couleurs sont systématiquement modifiées. La composante rouge diminue dans tous les horizons vers le bas de pente. Ce brunissement est souvent concomitant mais distinct d'un accroissement des taux de matière organique, d'argile, d'une diminution des taux de fer. Sur substrat désaturé, les bases décroissent et l'acidité augmente. La variation est inverse sur substrat saturé et/ou en présence d'une nappe.

La pédogenèse conserve le sens des différences de régime hydrique dues aux facteurs externes. Les sols sommitaux sont plus perméables parce que les maxima de structure et de texture sont moins accusés, comme dilués dans des horizons B plus épais et uniformes. Inversement des stries, des

réseaux de pores à parois décolorées, des ségrégations indiquent que le drainage des sols de bas de pente est ralenti par les variations plus rapides au niveau du contact A/B. La relation entre les sols et les sites est donc stable.

La formation des raies admet des limites supérieures et inférieures de l'humidité des sols car elle disparaît de sites extrêmes : crêtes ou flats longuement engorgés. La situation fréquente des sols brunis à raies et bandes en banquettes est révélatrice d'une forte humidité mais du maintien de possibilités de drainage.

La nappe peut apparaître à la base de n'importe quel type d'organisation, qu'elle ne modifie guère en dehors des niveaux directement baignés. Ses effets sont toujours subordonnés à ceux du lessivage.

2.2103

Les effets du drainage général : nature et extension
relative des Séries

Les toposéquences sont aussi diverses que les profils. Les Séries qui les composent ont de nombreux points communs et se succèdent dans le même ordre. Il est possible de les ordonner toutes dans la même suite en fonction du drainage relatif; de situer leur régime hydrique par rapport à ceux des thèmes d'une séquence de référence. Le drainage moyen d'une toposéquence est alors égal à celui de la portion homologue de cette base de comparaison. Il est relativement peu variable sur les modelés accusés des massifs longitudinaux à cordons, des dunes d'obstacles, sans y être rigoureusement constant. Il est plus diversifié sur les modelés plans. On admet alors que le drainage moyen y est une composition du drainage local, déterminé par la géométrie dunaire, et du drainage général déterminé par la nature lithologique et pédologique, par la topographie, par la situation du relief fossile dans le bassin.

Les Séries rubéfiées, à horizon B 2,5 et 5 YR, très épais, à maximum structural et textural relativement mince par rapport à la zone rubéfiée, souvent peu marqué, dominant sur des plateaux gréseux, au sommet d'interfluves (Madaroumfa) sur les ensablements d'obstacles, tous sites à niveau phréatique nul ou très bas, à substrat perméable ou en position de bon drainage externe. Les Séries rubéfiées à raies, à épipédon 10 YR, à

horizons B 5 et 2,5 YR, à maximum textural et structural plus accentué, sont caractéristiques des bas-glacis sur Crétacé à modelé dunaire ondulé. Les Séries rubéfiées à raies et à action de nappe, à horizons B 5 et 7,5 YR, s'étendent largement sur les bas-glacis à sols smectitiques (granites, Crétacé) sur des flats alluviaux (remblais du Kadzel, de Maradi). La généralisation de Séries à horizons B 7,5 et 10 YR, à action de nappe, ou à raies et bandes, a été observée dans la dépression centrale des grès continentaux (Ct. 2-3) et en quelques points des bas-glacis crétacés. Sur les pentes plus longues ou fortes des vallées du Moyen Niger, des cordons, toutes les Séries, du sol très rouge au sol brun, peuvent apparaître.

2.2104 Un héritage des sols fossiles : la fertilité potentielle

Le substrat ne modifie l'organisation des sols de la famille 2 que s'il agit sur le drainage général, sinon il ne se manifeste que par des caractères secondaires mais de grande importance pratique. Sur les roches ou les toposéquences smectitiques les capacités d'échange, les taux de bases, de calcium, les pH sont plus élevés. Les épipédons sont plus bruns, plus organiques, plus stables et résistent mieux à l'érosion anthropique. Les propriétés inverses apparaissent sur les substrats kaoliniques, ce qui leur vaut d'être souvent déserts. Cet héritage des sols anciens est en quelque sorte différé lorsque c'est l'eau de la nappe, ou même le vent, qui véhiculent les éléments fertilisants : cela a été observé sur le remblai de Maradi, du Kadzel, sur le "plateau" de Bandé.

2.2105 Les variations en latitude, effet de l'évolution actuelle

On a admis hors de toute autre considération, que les sols de la famille 2 s'étaient formés sous un climat plus humide parce que leurs horizons B restaient invariables alors que les épipédons se dégradent lorsque la pluviosité diminuait. Ces derniers deviennent plus minces, plus clairs (cf. tableau 64) moins organiques, moins acides. La transformation est continue mais, l'environnement biologique et pédologique aidant, on y voit des paliers, l'un vers 750 mm de pluies, l'autre vers 400-450 mm. Tous deux ont été utilisés pour le découpage latitudinal des toposéquences de référence; seul le second entre dans la classification pour définir les faciès subarides.

Cette évolution a pu être analysée grâce au cas extrême

des sols tronqués et fossilisés sahéliens. On y a vu :

- des mécanismes de dégradation : les horizons A sont amincis par l'érosion hydrique; les horizons B exposés aux eaux météoriques brunissent et durcissent; la finesse des sables aggrave cette érosion;

- une fossilisation par des sables ruisselés ou éoliens prélevés sur le sol lui-même;

- des mécanismes de reconstitution : accumulation de matière organique, développement de la porosité, formation de stries et de raies; la mobilité plasmique qu'impliquent ces dernières, plus douteusement un début de rubéfaction, apparentent cette néo-évolution à celle des sols ferrugineux peu lessivés, bien que la lixiviation des bases soit moins forte.

Les phases d'érosion, de fossilisation, de reconstitution se succèdent sans synchronisme, les aires correspondantes se juxtaposent en mosaïque. Il semble cependant qu'il y ait eu des périodes de destruction généralisée auxquelles des populations d'agriculteurs ont participé.

L'érosion des épipédons méridionaux, ferrugineux, est lente. La fossilisation n'y est pas immédiatement décelable. Leur épaisseur reste suffisante pour que la zone d'activité biologique maximum y soit entièrement contenue dans un horizon A.2. En milieu sahélien, l'équilibre est déplacé vers la destruction. L'horizon A repose presque directement sur les horizons B. Ce faciès, le plus fréquent, peut donner lieu à une définition modale du "sol brun-rouge d'érosion" où on fait la part des différences de chimisme héritées du substrat (cf. p. 259). Un second aspect, de "brun-rouge par fossilisation" est moins commun mais tout aussi caractéristique; son profil est complexe : A - (B)-2.B durci; les caractères de l'horizon A sont les mêmes que dans le faciès modal. Les épipédons subarides apparaissent en premier lieu sur les crêtes dunaires puis s'étendent à l'ensemble du modelé. Leur insertion dans la classification officielle est d'autant plus facile que le chimisme approche davantage de celui de sols saturés et calciques, ce qui ne se produit que sur les substrats à sols smectitiques. Des convergences naissent de ces brassages, les unes avec les sols planiques lessivés, voire halomorphes (Kadzel) les autres avec les sols peu évolués de la famille 1 ou de la génération S.3.

Les sols tronqués et fossilisés sont les précurseurs des sols péri-désertiques en milieu sahélien. Lorsqu'ils s'étendront des sommets de dunes à tout le paysage, ils perdront les traits nés de la mobilité plasmique et formeront une nappe saisonnièrement mobilisée, moins organisée que les épipédons méridionaux, en équilibre avec des pentes plus faibles que celles des sables vifs du désert.

2.2106

Le choix des terrains de cultures et ses conséquences

Si l'on en juge par la répartition actuelle des agriculteurs, la frange septentrionale de la zone des cultures, vers 400 mm, a toujours été densément occupée. Les conditions sanitaires y sont meilleures que dans le sud, on s'y défend mieux contre la végétation naturelle. Les variations pluviométriques l'ont déplacée en latitude dans le passé. Plus près de nous, pendant la dernière décennie, on a pu voir les agriculteurs Haoussa grignoter la steppe à Commiphora puis la désertifier. Les traces de ces déplacements se sont inscrites dans les sols et elles peuvent être utiles à une préhistoire de la colonisation agricole de ces régions.

Au moins une des deux caractéristiques suivantes est présente dans les terroirs incultes : le drainage élevé, égal à celui des Séries rubéfiées de référence (Madaroumfa, Chinielga), la pauvreté en bases et l'acidité (Koutoumbou). Les propriétés inverses apparaissent dans les terroirs très peuplés : un drainage moyen ou faible (horizons B 5 à 10 YR, raies, concrétions : Maradi), des taux de bases plus importants, spécialement de calcium (Bandé, Ajekoria, Liptako). La deshérence des sols les plus secs et les moins fertiles ne les protègent pas de l'érosion; de ce point de vue, l'équilibre naturel n'est pas un optimum. Les graminées sont éliminées partiellement par une strate ligneuse s'accommodant d'un fort ruissellement. Les excès culturaux ont pu avoir des effets catastrophiques sur les marges sahéliennes en accélérant le brassage des épipédons. Plus au sud, on observe un appauvrissement en matière organique d'autant plus sensible que le sol était constitutionnellement plus pauvre en bases (Maradi). Le capital en terres se dégrade donc quel que soit l'usage qui en est fait dans le régime agronomique traditionnel. Le régime pastoral paraît plus bénin dans ses effets, sauf au voisinage des points d'eau permanents où une véritable désertification peut se produire (Oussa, Ouanzerbé).

Références cartographiquesToposéquences de référence du Niger moyen

Les Sols Ferrugineux Peu Lessivés Evolués sur formation sableuse du Moyen Niger. Série de Tanchia et toposéquence des vallées	Feuille Niamey
Les Sols Ferrugineux Lessivés en fer typiques sur la formation sableuse des ergs anciens. Série de Tanchia	Feuille Maradi
La Série de Samberra. Association à sols gravillonnaires, à sols ferrugineux lessivés sur grès argileux	Feuille Niamey
Les Sols Brun-Rouge Evolués sur formation sableuse du Moyen Niger. Toposéquence des vallées	Feuille Niamey
La Série de Dan Gona	Feuille Maradi

Toposéquences à sols bien drainés et rubéfiés

Les Sols Ferrugineux Peu Lessivés Evolués sur formation sableuse du Moyen Niger. Les Series très rubéfiées de plateau	Feuille Niamey
Sols Ferrugineux Tropicaux Non ou Peu Lessivés. Sols à profils épais et homogènes, sur formation sableuse de Bandé	Feuille Zinder
Sols Ferrugineux Lessivés en Fer typiques sur la formation des sables faiblement argileux de Maradi. Série de Madaroumfa	Feuille Maradi
Sols Ferrugineux Non Lessivés typiques sur la formation sableuse des ergs anciens (plateaux sur Ct.1)	Feuille Maradi

Toposéquences à sols rubéfiés à raies

Les Sols Ferrugineux Lessivés en Fer typiques sur la formation des sables de Maradi. Séries de Maradi, de Waka-sou, de Dan Ise (non cartographiée) Feuille Maradi

Les Sols Brun-Rouge typiques sur la formation sableuse des ergs anciens. Séries de Dakoro, de Dan Makao Série de Chinielga Feuille Maradi

Les Séries rubéfiées des dunes d'obstacles

Les Sols Brun-Rouge complexes sur ensablements des massifs rocheux, en association avec des Sols Peu Evolués d'Apport et des Sols Hydromorphes du Koutous Feuille Zinder

En association avec des sols de glacis et des Sols Peu Evolués d'Apport du Mounio Feuille Zinder

Les Sols Ferrugineux Tropicaux Non ou Peu Lessivés sur mélange de sables éoliens et de matériaux issus de roches métamorphiques du Damagaram. Feuille Zinder

Sur mélange de sables éoliens et de matériaux issus des granites alcalins de Zinder Feuille Zinder

Les Sols Brun-Rouge typiques sur la formation sableuse des ergs anciens. Série de Koukalata Feuille Maradi

Sols Brun-Rouge Evolués, sur sables éoliens (ergs anciens) association à sols brun-rouge durcis. Inclusions, sur schistes de Yassane Feuille Niamey

Sols Ferrugineux Peu Lessivés, sur sables éoliens (ergs anciens). Autres Séries. Inclusions, sur Birrimien Feuille Niamey

Toposéquences à Séries rubéfiées, à raies et/ou
à action de nappe en profondeur

Sols Brun-Rouge à concrétions, sur sables éoliens à éléments d'arène granitique, association à Sols Brun-Rouge à profils durcis	Feuille Niamey
Sols Brun-Rouge Subarides, sur sables quartzeux à éléments d'arène granitique. Séries foncées à raies, taches, à base jaunie	Carte du Gorouol
Sols Ferrugineux Peu Lessivés Evolués, sur sables éoliens à éléments d'arène granitique, association à Sols Ferrugineux à profils durcis	Feuille Niamey
Sols Brun-Rouge complexes sur recouvrements sableux du Kadzel	Feuille Zinder
Sols Peu Evolués d'Apport Mal Drainés. En association avec des Sols Ferrugineux Peu Lessivés sur alluvions sableuses anciennes	Feuille Maradi
Sols Ferrugineux Lessivés en fer à marbrures sur la formation sableuse des ergs anciens. Série de Souloulou	Feuille Maradi
Association Sols Brun-Rouge et Sols Brun-Rouge à marbrures sur dépôts sableux anciens remaniés par le vent	Ader Douchi

Toposéquences à minorité de sols bien drainés
et à majorité de sols moins bien drainés souvent
à ségrégations, concrétions, raies

Les Sols Ferrugineux Peu Lessivés des interfluves de la dépression de Dosso. Inclus dans les Séries très rubéfiées de plateau	Feuille Niamey
Les Sols Ferrugineux Lessivés en fer à concrétions Série de Koutoumbou Série de Ajekoria	Feuille Maradi

Toposéquences à sols à horizons B discontinus
et/ou à horizons éluviaux très épais

Sols Brun-Rouge typiques de la formation
sableuse des ergs anciens. Séries de
Tagae, de Belbedji Feuille Maradi

Sols Ferrugineux Lessivés en fer typiques
sur la formation sableuse des ergs anciens
Série de Samia Andi Feuille Maradi

Toposéquences des aires à massifs dunaires
longitudinaux du Niger oriental et central

Sols Ferrugineux Non ou Peu Lessivés
typiques sur formation sableuse des
ergs orientés Feuille Zinder

Sols Ferrugineux Tropicaux Peu Lessivés
Evolués sur sables éoliens (ergs anciens).
Série de Dadoria Feuille Maradi

Sols Ferrugineux Peu Lessivés Evolués
sur sables éoliens (ergs anciens).
Autres Séries Feuille Niamey

Sols Brun-Rouge Evolués à profils durcis
sur sables éoliens. Association à sols
Brun-Rouge à action de nappe Feuille Niamey

Sols Brun-Rouge peu différenciés. Série
légèrement structurée Feuille Niamey

Sols de transition Brun-Rouge Subarides
à Ferrugineux Peu Lessivés. Sur sables
quartzeux. Séries rubéfiées, rubéfiées
à base durcie, à base jaunie, raies et
concrétions Carte du Gorouol

Toposéquences à sols subarides brun-rouge des
massifs d'ondulations réticulées

Sols Brun-Rouge typiques sur formation
sableuse des ergs orientés Feuille Zinder

Sols Brun-Rouge évolués. Sur sables éoliens
(ergs anciens). Série modale rubéfiée. Asso-
ciations à sols Brun-Rouge durcis, à Sols
Brun-Rouge à concrétions Feuille Niamey

2.3 LES SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES A NON LESSIVES
ET LEURS FACIES SUBARIDES (F.1)

2.31 Les toposéquences à majorité
de sols bien drainés et / ou
rubéfiés

2.311 Les sols des cordons longitudinaux

La géométrie (p. 525) et la texture de ces formations les ont mises à l'abri des actions de nappe et leur assurent en tous points un bon drainage. Les parties basses du modelé en sont distinctes. Comme de surcroît les sols sont peu différenciés, il n'est généralement pas possible de définir plusieurs termes dans leurs séquences, si l'on excepte les sols rajeunis des crêtes (p. 529). D'un cordon à l'autre, on ne peut mettre en évidence que des différences dans la couleur des horizons B.

2.3111 Séries à horizon B 5 YR
.....

Site de Garagounza (NA 55)

Lat. : 13° 41' 50" N.
Long. : 8° 20' 0" E.
Cote : 460 m

Très long cordon limitant vers le sud-ouest un massif de dunes transversales E.1; haut de pente; prairie à *Aristida longiflora* et *Otenium*; des *Terminalia*; pâturage; 580 mm.

Surface : couche de sables bruns particuliers

O-10 cm : brun-gris (10 YR 5/3,5); sables de terriers
A.11 plus clairs; très sableux; structure feuilletée en surface; débit régulier horizontal en

profondeur; cohésion faible; porosité intergranulaire très fine moyennement développée; chevelu radiculaire et radicelles horizontales

- 10-30 cm : brun foncé (7,5 YR 4,5/4); très sableux; débit légèrement irrégulier; cohésion faible; porosité intergranulaire plus forte; chevelu plus abondant; radicelles verticales
A.12
- 30-50 cm : brun-rouge (5 YR 4/4); très sableux; débit irrégulier; cohésion à peine moins faible; mêmes porosité et enracinement
(B)
structure
- 50-90 cm : rouge-jaune (à 60 cm : 5 YR 5/6, à 80 cm : 5 YR 5/8); très sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité plus fine; moins de radicelles
(B)
couleur
- 90-175 cm : jaune-rouge (de 7,5 YR 5/8 au sommet à 7,5 YR 6/6 à la base); très sableux; débit très régulier; pas de radicelles au-dessous de 150 cm
(B)-C
- 175-205 .. : jaune rougeâtre clair (7,5 YR 6,5/6); très sableux; particulière
C

Le profil est celui d'un sol ferrugineux peu lessivé mais la petitesse des taux de fines, qui se concentrent légèrement dans l'horizon (B) rouge, réduit à peu de choses l'expression structurale : le litage et la compaction dus aux agents météoriques sont perceptibles au sommet des horizons A, le niveau de développement maximum de l'enracinement et de la porosité reste décelable à la base de l'épipédon, la structure n'est plus strictement particulière au sommet des horizons (B). La couleur, rouge, et l'absence de raies, de traits de nappe, définissent la Série de Garagoumza, qui s'étend à la plupart des dunes E.2.

2.3112 Série à horizon B 7,5 YR
.....

Site de Bandio (NN 3)

Lat. : 13° 50' 30" N.
Long. : 1° 4' 30" E.

Cordon en aval d'une dépression argileuse (Kero); sommet de ride longitudinale secondaire; prairie dégradée à *Aristida longiflora*; des *Combretum glutinosum*; 525 mm.

Surface : 5 cm de sables particuliers brun-jaune

0-23 cm : brun-jaune clair (10 YR 6,5/5) ; très sableux; structure feuilletée sur 5 cm, puis
A.11 débit régulier; cohésion faible; forte porosité intergranulaire

Contraste moyen, transition de 3 cm

23-39 cm : brun (7,5 YR 5/5); très sableux; débit légèrement irrégulier; cohésion faible; porosité moins fine
A.12/B

Contraste faible, transition de 10 cm

39-63 cm : brun vif (7,5 YR 5/6) à brun-rouge; très
(B) sableux; débit légèrement mamelonné; mêmes
structure cohésion et porosité

Contraste faible; transition de 15 cm

63-138 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/8); très sableux; débit régulier; cohésion très faible; porosité intergranulaire très fine
(B)
couleur

138-184 cm : horizon de transition
(B)-C

184-200 .. : jaune-rouge clair (7,5 YR 6,5/6); très sableux; particulière
C

La couleur jaune-rouge de l'horizon (B) définit la Série de Kornaka dont le déterminisme n'est ni dans le drainage local, ni dans le taux en oxydes de fer, mais dans le drainage général si l'on se réfère aux massifs de dunes E.2 plus étendus. L'organisation et les données analytiques en sont les mêmes que celles des sols rouges. La localisation du maximum structural y est en particulier aussi aléatoire et sans relation très précise avec le profil morphologique.

2.3113 Synthèse

Horizons A

- Epaisseur : 17-22-40 cm (minimum, médiane, maximum) au total; 7-12-23 cm pour l'horizon A.11, plus foncé ou gris
- Texture : très sableuse; il en est de même dans le reste du sol
- Structure : feuilletée ou nuciforme en A.11; la structure nuciforme est due à l'adhérence des sables aux racines, supérieure à celle des sables entre eux; débit régulier en A.12; cohésion faible; parfois faible à moyenne; porosité intergranulaire
- Couleur : brun et brun vif (7,5 YR 4-5/4-6) brun-jaune (10 YR 5-6/4-5) gris-brun (A.11 : 10 YR 5/3); rejets colorés provenant du reste du profil très nombreux

Horizons (B)

- Epaisseur : 20-35 cm pour la partie supérieure plus structurée et poreuse
20-50-65 cm pour l'horizon (B) de couleur dont le sommet est situé à 36-43-65 cm
- Structure : débit régulier à légèrement mamelonné; cohésion faible ou moyenne, plus élevée qu'en A; porosité intersticielle plus grossière, parfois semi-tubulaire
- Couleur : rouge-jaune (Garagoumza : 5 YR 4-5/6-8) et jaune-rouge (Kornaka : 7,5 YR 5-6/6-8)

Horizon (B)-C

Variation très progressive de la couleur dans un matériel dont la structure est celle de l'horizon C.

Horizon C

- Cote du sommet : 110-165-190 cm; cette médiocre épaisseur est caractéristique de la famille 1
- Structure : débit très régulier; cohésion faible à très faible : particulière
- Couleur : jaune-rouge (7,5 YR 5-6/6-8) rarement 5 YR 6/8 pour la Série de Garagoumza; jaune-rouge (7,5 YR 5-6/6) et jaunâtre (10 YR 7/6 et

6/8) pour la Série de Kornaka .

Sur ces sols sans cohésion, l'érosion sahélienne apparaît plus tôt pour des pluviosités plus fortes que sur les dunes E.1 (475 mm dans le Liptako). Hors des aires à sols éoliens ou fossilisés, ses effets ne sont pas des plus évidents car ils modifient des caractères déjà inconsistants. Le faciès subaride de ces épipédons se ramène surtout à des épaisseurs plus faibles :

base des horizons A : 11-16-25 cm
sommet de l'horizon (B) de couleur : 12-31-65 cm

et à des teintes de valeur en moyenne plus élevée, centrées sur 7,5 YR 5/5.

2.3114 Données analytiques
.....

Elles montrent des taux de matière organique régulièrement décroissants, des répartitions des fines de types enrichi (1) ou appauvri (2) dans près de la moitié des cas, sinon de types lessivés (3) des répartitions du fer de type le plus souvent lessivé (il migre plus profondément) une concentration des bases en surface où les pH sont plus élevés. Ce dernier caractère est plus accentué dans les sols à faciès subaride.

2.312 Les sols des grands massifs de dunes transversales

L'extension plus grande de la couverture sableuse et l'apparition de conditions hydromorphes dans les interdunes a permis un début de différenciation de la toposéquence, variable selon le massif (cf. p.523).

2.3121 Le massif de Yagadji
.....

Il est situé en limite de zone sahélienne, sur Crétacé, en aval du Damergou. Les interdunes ne sont pas colmatés. Tous les sols sont rouges, d'autant moins sableux que leur cote relative est plus basse. Les épipédons, de type subaride sur les reliefs, s'épaississent et ont un faciès ferrugineux sur les "plateaux" sableux raccordant le massif aux glacis.

Site de Garare (ND 70-71-72)

Lat. : 14° 21' 18" N. Long. : 8° 10' 46" E.

Prairie à *Aristida longiflora* (crêtes, plateau) à *Aristida mutabilis* (interdunes) avec *Albizzia* (crêtes) gom-miers (interdunes) *Sclerocarya* *Commiphora* (plateau);
470 mm.

Sol Subaride Brun-Rouge, Série de Yagadji (ND 71, sommet)

Surface : 3 cm de sables particulières

0-6 cm : brun (7,5 YR 4,5/4); très sableux; lamellai-
A.11 re (0,5-5 cm); cohésion faible; forte poro-
sité intergranulaire
M = 0,27 A = 3,0 Fl = 0,34 S = 1,71 pH = 7,0
C/N = 10,7 L = 0,7 Fl/Ft = 68 Ca = 1,00 V = 100

6-17 cm : brun-rouge (5 YR 4,5/6); très sableux; débit
A.12 régulier; cohésion moyenne à faible; moins
poreux
M = 0,19 A = 2,8 Fl = 0,40 S = 1,80 pH = 6,7
C/N = 8,5 L = 1,2 Fl/Ft = 66 Ca = 1,21 V = 100

17-46 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/8); très sableux; débit
(B) légèrement mamelonné; cohésion faible; poro-
structure couleur sité intergranulaire très forte
M = 0,14 A = 2,7 Fl = 0,43 S = 1,60 pH = 7,0
C/N = 10 L = 1,0 Fl/Ft = 78 Ca = 1,04 V = 100

46-85 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/8); très sableux; dé-
(B) bit très régulier; cohésion faible à très
couleur faible; même porosité
M = 0,08 A = 2,8 Fl = 0,34 S = 1,35 pH = 7,3
C/N = 6,3 L = 1,0 Fl/Ft = 58 Ca = 0,78 V = 100

85-140 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5,5/6); particulaire
(B)-C
M = 0,08 A = 1,7 Fl = 0,20 S = 1,07 pH = 7,3
C/N = 5,6 L = 0,8 Fl/Ft = 69 Ca = 0,50 V = 100

140-200 .. : jaune rougeâtre clair (7,5 YR 6,5/6); par-
ticulaire
M = 0,05 A = 0,8 Fl = 0,25 S = 1,08 pH = 7,6
C/N = 7,5 L = 0,2 Fl/Ft = 81 Ca = 0,42 V = 100

Sol Subaride Brun-Rouge, type moins sableux d'interdune
(ND 72)

Surface : 1 cm de sables particulières

0-7 cm : brun grisâtre foncé (10 YR 4,5/2); stries
ondulées; sableux; débit horizontal ou très
régulier; cohésion moyenne à faible; peu
poreux
A.11

M = 0,57 A = 6,0 Fl = 0,53 S = 3,44 pH = 6,9
C/N = 12,2 L = 2,5 Fl/Ft = 67 Ca = 2,36 V = 98

7-24 cm : brun vif (7,5 YR 4/3); stries; sableux; dé-
bit régulier; cohésion faible; porosité in-
tergranulaire forte
A.12

M = 0,26 A = 4,7 Fl = 0,59 S = 3,17 pH = 6,8
C/N = 10 L = 3,0 Fl/Ft = 72 Ca = 2,27 V = 100

24-62 cm : rouge-jaune à brun-rouge (5 YR 4/6); très
sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion
faible; très poreux; décroissance très rapi-
de du nombre de radicelles au-dessous de 60
cm
(B)

M = 0,14 A = 5,3 Fl = 0,57 S = 2,98 pH = 7,1
C/N = 8,9 L = 1,7 Fl/Ft = 76 Ca = 2,14 V = 100

62-115 cm : décoloration très progressive; très sableux;
cohésion faible à moyenne; moins poreux
(B)-C

115-170cm : brun jaunâtre clair (10 YR 6,5/4); très sa-
bleux; mêmes débit et cohésion
C (?)

M = 0,05 A = 3,0 Fl = 0,29 S = 1,47 pH = 7,6
C/N = 4,3 L = 0,5 Fl/Ft = 81 Ca = 0,89 V = 100

Sol Ferrugineux Peu Lessivé. Série de Garagoumza

(ND 70, plateau)

Surface : 3 cm de sables particulières

0-15 cm : brun-jaune (10 YR 5,5/4); très sableux; débit
régulier, nuciforme au contact de racines;
cohésion faible; porosité intergranulaire
A.11

M = 0,19 A = 1,5 Fl = 0,26 S = 1,42 pH = 6,5
C/N = 12,2 L = 0,8 Fl/Ft = 42 V = 89 Ca = 0,73

15-33 cm : brun vif (7,5 YR 5/5); très sableux; débit
régulier; cohésion faible à moyenne; porosité
plus grossière
A.12

33-62 cm : jaune-rouge; sableux; débit légèrement mame-
lonné; cohésion moyenne à faible; base du
chevelu à 40 cm
(B).1

62-150 cm : rouge-jaune (5 YR 5,5/6); sableux; même
(B).2 structure avec volumes plus rubéfiés et co-
couleur hérents

structure

M = 0,09 A = 5,0 Fl = 0,45 S = 1,75 pH = 5,6
C/N = 5,6 L = 1,0 Fl/Ft = 69 Ca = 0,72 V = 56

150-185 cm : jaune rougeâtre (5 YR 6,5/8); sableux; débit
(B)-C régulier; cohésion moyenne; porosité très
réduite

M = 0,09 A = 4,0 Fl = 0,43 S = 1,49 pH = 4,9
C/N = 6,3 L = 1,5 Fl/Ft = 57 Ca = 0,56 V = 43

Lorsque l'accroissement de l'humidité est dans cette fa-
mille le seul effet de la topographie, l'organisation du
profil, semblable tout au long de la séquence, n'est pas
modifiée par les variations habituellement notées sur
tous les modèles, dont le brunissement des couleurs, l'ac-
croissement des taux de fines, l'acidification des sols
des aires relativement basses. Les répartitions plasmiques
de type enrichi sont, par leur fréquence, caractéristiques;
elles n'ont pas d'expression morphologique différente de
celle des répartitions de type lessivé.

2.3122 Le massif de Guezaoua

Il est plus méridional (600 mm) sur Crétacé, dans une
dépression en rive ouest du Goulbi de Guezaoua. Les in-
terdunes ont été colmatés de sables et d'argiles limoneu-
ses à sols hydromorphes minéraux très acides, polycycli-
ques, inactuels. Les reliefs dunaires portent la Série
rubéfiée de Garagoumza. Une légère action de nappe (jau-
nissement) se manifeste au contact de la vallée du Goulbi.

2.3123 Les sols des rides transversales bordant la cuvette tchadienne, de Gouré à Guidimouni

Le drainage de cette extrémité de l'erg du Manga (cf. p.
524) décroît vers le sud-ouest. Il n'y a plus de nappe à
l'est du Mounio, dans l'erg de Gouré. Elle affleure en
aval de l'erg de Guidimouni, elle ennoie l'erg de la Kora-
ma dont les sols brunis seront étudiés ultérieurement. La
savane à *Acacia raddiana* recouvre l'erg de Gouré (400 mm)
une prairie psammophile l'erg de Guidimouni (500 mm) aussi
les sols paraissent-ils moins stables dans l'un que dans
l'autre. L'identité des toposéquences, à sols rouges et
brunis de faciès subaride, est cependant telle que cette
minime différence ne peut être la cause mais la conséquence

d'une dégradation du couvert végétal.

Site de Goure (NB 41-42-43)

Lat. : 13° 56' 30" N.

Long. : 10° 20' 24" E.

Savane arborée à *Acacia raddiana*, gommiers, *Commiphora*, *Balanites*; prairie à *Cenchrus*, *Aristida longiflora* et *stipoides*, *Hyphaene* en interdune; 420 mm.

Sol Subaride brun-rouge (sommet, NB 41)

- Surface : 4 cm de sables particuliers bruns
- 0-5 cm : brun (7,5 YR 5/4); très sableux; lité
(alternativement brun et brun-rouge); peu
A.11 poreux; nombreuses radicelles horizontales
- 5-17 cm : brun-rouge (5 YR 5/4); très sableux; débit
A.12 régulier; plus poreux; moins de radicelles
- 17-37 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); très sableux; dé-
(B) bit légèrement mamelonné, les facettes
structure plus rouges; même porosité; cohésion fai-
ble à moyenne
- 37-75 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); débit régulier;
(B) cohésion faible; porosité plus fine
couleur
- 75-200 cm : décoloration progressive, jaune-rouge (6
(B)-C YR 6/6) à 100 cm; particulière
- 200-220 .. : jaune-rouge clair (7,5 YR 6/6); très sa-
C bleux; particulière

Sol Subaride Brun (1/3 inférieur de pente, NB 42)

- Surface : sables particuliers gris
- 0-5 cm : gris-brun (10 YR 6/2); très sableux; feuilleté
A.11 (1 cm); cohésion moyenne; porosité intergra-
nulaire très fine; très nombreuses radicelles
- 5-20 cm : brun-gris (10 YR 5/2); très sableux; débit ré-
A.12 gulier; cohésion moyenne; plus poreux; chevelu
radiculaire moyen

20-85 cm : brun (10 YR 4,5/3); très sableux; débit très
(B) régulier; cohésion moyenne à faible; moins
couleur poreux

85-220 .. : décoloration très progressive; blanc (10 YR
(B)-C (g) 8/2) à la base; très sableux; particulaire

Sol Subaride Brun à taches en profondeur (NB 43, interdune)

Surface : 2 cm de sables particulaires gris; terriers;
termitières; très petites mares temporaires
d'hivernage

0-5 cm : gris (10 YR 5,5/1); très sableux; feuilleté;
A.11 cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire
très fine; quelques radicelles

5-22 cm : brun grisâtre (10 YR 5/1,5); très sableux;
A.12 débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne;
porosité semi-tubulaire

22-110 cm : brun grisâtre foncé (10 YR 4/2); taches fer-
(B) g rugineuses jaunes et rouges en cutines de
pores; sableux; débit mamelonné; cohésion
moyenne; porosité tubulaire

110 .. : blanc (10 YR 8/2); très sableux; particulaire
(C) (g)

Site de Guidimouni (NB 15-16)

Lat. : 13° 49' 45" N. Prairie à Heteropogon et Aris-
Long. : 9° 29' 20" E. tida stipoides; des Faidherbia
Cotes : 447 m (NB 15) en interdune; 510 mm.
425 m (NB 16)

Sol Subaride Brun-Rouge (NB 15, sommet)

Surface : 5 cm de sables particulaires

0-7 cm : brun (7,5 YR 5/4); très sableux; débit feuille-
A.11 té; très forte porosité intergranulaire; che-
velu très abondant

7-20 cm : brun-rouge à rouge-jaune (5 YR 4/6); très sa-
A.12 bleux; débit régulier; quelques mottes nuci-
formes; très poreux; moins de radicelles

20-120 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); très sableux; particulaire
(B)
couleur

120-220 cm : horizon de transition, particulaire
(B)-C

220 cm : sables particulières jaune rougeâtre clair
C (7,5 YR 7/6)

Sol Subaride Brun (NB 16, interdune)

Surface : sables particulières gris très clair

0-12 cm : brun grisâtre (10 YR 5/2); très sableux; structure feuilletée; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire très forte; chevelu abondant
A.11

12-35 cm : brun (7,5 YR 5/4); très sableux; débit régulier; cohésion faible; mêmes porosité et enracinement
A.12

35-150 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); mêmes texture et structure
(B)
couleur

150-200 cm : décoloration très progressive vers les gris; très sableux et particulaire
(B)-C

200 .. : gris clair (10 YR 5/1); très sableux
(C) (g)

Les sols de transition aux sols bruns s'observent sur une légère rupture de pente longeant les dépressions. Leurs horizons (B) sont encore rouges (5 YR 5/6) mais leurs épipédons sont plus épais (45 cm) et l'horizon C (g) jauni et décoloré par la nappe apparaît dès 125 cm (10 YR 7/4). Ordinairement limités aux seuls fonds interdunaires, les sols bruns s'étendent aux chenaux de drainage de la nappe phréatique inactuels, larges (1 km) et plats, qui n'ont pas été colmatés. Il en existe de forts beaux, sous savane à *Hyphaene* et prairie à *Aristida mutabilis*, immédiatement à l'est de Gidigir. Des sols halomorphes et hydromorphes, complexes, actuels ou fossilisés par des sables ruisselés des dunes, se sont développés sur les sables et sables argileux des dépôts de colmatage.

Les taux très faibles de plasma minéral sont caractéristiques de l'erg du Manga et plus généralement des sables de la cuvette tchadienne. L'enrichissement par rapport au matériau est constant et, si l'on inclut le limon fin, il arrive qu'un horizon d'accumulation soit décelable (NB 15). Cela n'empêche pas que la différenciation morphologique soit égale à celle des dunes de l'intérieur (Série de Yagadji). L'horizon (B) de structure n'apparaît toutefois que dans l'aire la plus stable, dont la végétation arborée peut pour cela être tenue pour climacique plutôt que la prairie psammophile qu'envahissent en saison sèche des aires éolisées. Sur la toposéquence, on observe le brunissement, la remontée d'un horizon décoloré par la nappe, l'accroissement des taux de matière organique et une acidification légère vers les bas de pente.

2.313 Observations diverses

2.3131 Massifs dunaires à Séries rubéfiées
.....

Les hautes rides transversales (10-30 m) de l'erg de Toudouni fossilisent l'aval des vallées de l'Ader Douchi sur 50 km. Leurs crêtes sont fortement ravivées au voisinage des villages ou au droit des sapements taillés par les cours d'eau temporaires (cf. p.530). La pluviosité est de 400 mm; la savane lâchement arborée à *Terminalia avicemoides* est parfois cultivée. Dans les sols qui ne sont pas rajeunis ni anthropiques, on observe des épipédons de type subaride, minces (15 cm) neutres (pH = 7, V = 85) brun-jaune (7,5 YR 5/4). Les horizons (B) sont rouge-jaune (5 YR 4,5/6) à taux d'oxydes de fer très élevés imputables au sidérolithique (Fer libre = 0,95%, A + L = 4%) également neutres (V = 90, pH = 7,0).

Les dunes de hauteur médiocre d'Eidir (4 m) recouvrent les bas-glacis situés entre l'Ader Douchi et le Dallol Maouri, au nord du parallèle 14° 50' N (350-400 mm) sur grès Ct.2-1. La savane à *Combretum glutinosum* à tapis prairial annuel de *Ctenium*, *Heteropogon*, *Aristida mutabilis* est assez régulièrement cultivée, les sols de la famille 2 de la même région étant dégradés et abandonnés (Série de Chinielga, p.756). L'épipédon est de type subaride, peu épais (23 cm) brun (7,5 YR 5/5) peu désaturé (pH = 6,7, V = 85). L'horizon (B) est rouge-jaune (5 YR 4,5/6) riche en fer du fait de la présence d'oolithes et relativement bien structuré (débit mamelonné, cohésion moyenne) parce que moins pauvre en fines que la moyenne

des sols F.1 (A + L = 7%, Fer libre = 2,5%). Il est acide (pH = 5, V = 50%) caractère commun à tous les sols ayant ce même substrat. L'horizon C, jaune-rouge (7,5 YR 5/8) apparaît dès 100 cm.

2.3132 Massifs dunaires à Séries jaune-rouge (7,5 YR)
.....

Il arrive que les sols rouges (5 YR) disparaissent entièrement de massifs étendus, où les taux de fer peuvent être faibles (Toufafiram) ou normaux, à modelé d'amplitude très variable, situés souvent mais non nécessairement dans les parties basses des bassins (Markie, Taguiriss, Kornaka) des Séries rubéfiées pouvant se former dans ces mêmes positions (Guezaoua). Si donc le drainage général peut être proposé pour expliquer cette répartition par ergs, son déterminisme reste obscur.

Les dunes de Kornaka sont situées en bordure du cours moyen du Goulbi de Guezaoua et de ses affluents, sur grès crétacés. Le modelé superficiel n'est qu'ondulé, de quelques mètres d'amplitude. Avec 575 mm de pluies, croît une savane arbustive à *Terminalia avicennoides* à strate herbacée vivace (*Andropogon gayanus*, *Aristida longiflora*). Les épipédons sont de type ferrugineux, épais (40 cm) brun grisâtre (10 YR 5/3) acides (pH = 6, V = 55%). Les horizons (B) sont jaune-rouge (7,5 YR 6/6) à taux de plasma minéral normaux (A + L = 4%, Fer libre = 0,45%) acides (pH = 5, V = 40). La structure du matériau apparaît dès 140 cm.

L'erg de hautes rides transversales de Taguiriss est situé de part et d'autre du cours amont du Goulbi de Tarka, sur Crétacé. Des fourrés de gommiers y remplacent la prairie à *Aristida longiflora* dans les points bas. Les horizons A sont intermédiaires entre ceux des sols subarides et ceux des sols ferrugineux, pour une pluviosité de 400 mm. Ils sont épais (25-50 cm) brun-jaune (10 YR 5/4) mais modérément acides à neutres (pH = 6,3-6,7, V = 88-92). Les horizons (B) jaune-rouge (7,5 YR 5/7) ont une réaction voisine (pH = 6,6, V = 70-90%, A + L = 4-5%, Fer libre = 0,50-0,55%).

La Série rouge d'Eidir, citée ci-dessus, est remplacée par la Série de Markié sur le même modelé ondulé lorsqu'il fossilise une vallée aux limites indécises parce que peu incisée qui drainait vers le Dallol Maouri à l'ouest de Tebaram. La Série de Markié ne diffère que par des

horizons (B) moins colorés (7,5 YR 5/8) et à taux de fer moins élevés (1,6%). Sa situation suggère que c'est bien le drainage général, l'accroissement de l'humidité moyenne, qui sont responsables de cette variante locale.

L'erg du Manga se projette au nord du Koutous en direction du Damagaram par l'erg de Bilabitoua, aux sols rouges identiques à ceux des ergs de Gouré et de Guidimouni; il s'achève contre le môle quartzitique d'Alberkaram par l'erg de Toufafiram, situé sur la formation du Koutous, dont les énormes rides transversales se succèdent sur 25 km. La pluviosité est de 400 mm. La steppe herbeuse à *Aristida longiflora* n'est parsemée que de quelques arbres reliques (*Faidherbia*, *Acacia raddiana*); elle est remplacée par des bois armés à gommiers dans les sillons interdunaires. L'érosion éolienne n'y paraît pas spécialement importante. Les sols en sont très originaux. Ils sont entièrement particuliers; leur épipédon très épais est neutre et repose sur un matériel identique par sa couleur, par ses taux de fines à l'horizon (B) des Séries F.1 peu rubéfiées. Considérant ce dernier comme un matériau, nous les avons classés dans la légende cartographique en Sols Peu Evolués à Faciès Subaride Brun, ce qui revenait à les interpréter comme des sols remaniés ou récents de la génération S.3. Cette solution n'est pas satisfaisante car on ne peut expliquer qu'en ce seul point du Niger la couverture pédologique ancienne aurait été entièrement détruite alors qu'habituellement les sols récents sont strictement localisés à des formes mineures surimposées. Nous les rapprocherions davantage des sols F.1 peu colorés et sans structure différenciée qui se forment autour du bassin de la Korama dans les aires à haut niveau phréatique.

A		(B).1		(B).2	
50 cm		150		220..	
10 YR 6,5/2 gris-brun		7,5 YR 5,5/6 jaune rougeâtre		7,5 YR 6,5/6 jaune rougeâtre	
A+L=2,8	pH=7,7	A+L=4,0	pH=6,0	A+L=5,0	pH=5,9
Fl=0,22	V = 100	Fl=0,22	V = 85	Fl=0,25	V = 85
Fl/Ft=63	S = 1,48	Fl/Ft=54	S = 0,94	Fl/Ft=63	S = 0,94
M = 0,35	C/N=11,8				

Un grand nombre de petits ergs de dunes transversales s'est mis en place, au nord de l'isohyète 425 mm, sur les rives de l'Azéouak et de ses affluents, fossilisant les bas-glacis sur grès Ct.2. La steppe herbeuse psammophile

y est souvent à Hypparhenia. Les toposéquences y sont très généralement peu colorées et montrent, vers le bas de pente, le brunissement, l'épaississement des épipedons, l'accroissement des taux de fines et de matière organique, la diminution des taux de fer, une augmentation des pH en profondeur où se manifeste une légère action de nappe :

Sol brun-rouge (NI 71, + 7 m)

A-A.(B)		(B)-(B).C		C	
25 cm		160			
7,5 YR 5/5 brun		7,5 YR 5/6 brun rougeâtre		10 YR 6,5/8 jaune clair	
M = 0,19	C/N=9,6	M = 0,10	C/N=6,6	M = 0,03	C/N=6,7
A+L=6,0	pH= 6,9	A+L=5,0	pH=6,6	A+L=2,5	pH=5,4
Fl =0,62	V = 93	Fl =0,68	V = 88	Fl =0,66	V = 76
Fl/Ft=99	S = 1,02	Fl/Ft=62	S = 0,6	Fl/Ft=88	S = 0,19

Sol brun-rouge (NI 72, + 2 m)

A.11.A.12		(B)-(B).C		C - C (g)	
35 cm		150			
10 YR 5/5 brun		7,5 YR 5/6 brun rougeâtre		10 YR 7/6 jaune clair	
M = 0,20	C/N=10,9	M = 0,12	C/N=10	M = 0,02	C/N = 4
A+L=7,5	pH = 6,9	A+L=5,5	pH=7,1	A+L=2,5	pH = 6,4
Fl =0,48	V = 95	Fl= 0,54	V =100	Fl = 0,27	V = 85
Fl/Ft=62	S = 1,38	Fl/Ft=63	S =0,95	Fl/Ft=56	S = 0,2

Sol bruni (NI 73, 0 m)

A.11-A.12		(B)-(B).C		C (g)	
50 cm		170			
10 YR 4,5/4 brun foncé		7,5 YR 5/5 brun vif		10 YR 7/6 jaune clair	
M = 0,24	C/N =10,9	M = 0,08	C/N = 7,1	M = 0,03	C/N = 6,7
A+L=6,5	pH = 6,9	A+L=9,0	pH = 6,6	A+L=6,5	pH = 6,7
Fl = 0,42	V = 88	Fl =0,47	V = 94	Fl =0,27	V = 94
Fl/Ft=60	S = 1,10	Fl/Ft=52	S = 1,03	Fl/Ft=47	S = 0,8

Leur extrême abondance est due à la fragilité de ces sols dont ils perpétuent le manque de cohésion (cf. p. 529). Le brassage évident des épipédons en fait des horizons plus jeunes et comme distincts de la masse plus stable et colorée des horizons (B) ce qui explique l'opinion d'observateurs non spécialisés qui réduisaient le sol dunaire à la seule couche brune et humifère. Le défaut de structure gêne beaucoup l'identification certaine des sols qui ont subi des crises érosives, qui doit s'appuyer sur la fossilisation de reliques d'habitats :

site de Meana (NO 65)

Lat. : 14° 19' 40" N.
 Long. : 1° 05' 40" E.
 Cote : 275 m

Cordon longitudinal sur granites; replat sommital; prairie à *Aristida longiflora* parsemée de *Combretum glutinosum*; 465 mm.

- Surface : 4 cm de sables particuliers
- 0-15 cm : brun vif (7,5 YR 5,5/6); très sableux; débit très régulier ou nuciforme tout en surface; cohésion très faible
 A
- 15-80 cm : brun vif (7,5 YR 5/6); très sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité semi-tubulaire très fine bien développée
 C
- 80-130 cm : même horizon, mais parsemé d'éclats de quartz, plus cohérent
 C
- 130-167 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); très sableux; débit régulier; cohésion faible à moyenne; quelques pores tubulaires
 2.(B) b
- 167-215 cm : brun-jaune vif (7,5 YR 5/6); très sableux; débit très régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire
 (B).C

Sur les plateaux de l'Ader Douchi, autre foyer de peuplement dense, des sols semblables ont été décrits où la fossilisation est encore plus évidente :

site de Koloma Baba (AC 15)

Lat. : 14° 59' 39" N.

Long. : 5° 14' 03" E.

Haute dune recouvrant le plateau Ct.1; prairie dégradée à *Cenchrus*, *Aristida stipoides*; 370 mm

- Surface : 6 cm de sables particulaires; rejets de terriers rouges
- 0-5 cm : brun vif (7,5 YR 5/6); très sableux, avec oolithes ferrugineuses; débit nuciforme; cohésion faible; porosité intergranulaire
A
- 5-60 cm : brun-jaune rougeâtre (7,5 YR 5/8); très sableux; des fissures verticales fines tous les 40 cm; débit très régulier; cohésion faible (particulaire); enracinement très fin et homogène
C
- 60 cm : surface rougie parsemée de débris de poteries et de grès ferrugineux
- 60-114 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); très sableux; des fissures fines tous les 20 cm; cohésion moins faible; plus compact; radicelles moins nombreuses
(B). b
- 114-150 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); très sableux; quelques débris de poteries; plus poreux; peu de racines
(B)

Le profil a été remanié dans sa masse, puis tronqué vers le sommet de ce qui restait des horizons (B) lequel a été légèrement durci; il a été finalement fossilisé de sables éoliens plus fins dont les oolithes ferrugineuses démontrent toutefois l'origine locale. Au contact immédiat des habitations, les sols sont entièrement détruits et perdent toute rubéfaction :

site de Gidan Fako (AD 1)

Lat. : 14° 45' 13" N.

Long. : 5° 41' 1" E.

Dunes des vallées de l'Ader Douchi (Série de Toudouni); élément convexe appuyé sur un replat structural calcaire; sommet; cultures de mil; 375 mm

- Surface : 6 cm de sables particulaires bruns
- 0-12 cm : brun (10 YR 5,5/3); très sableux; nombreuses croûtes pluviales grises (1 mm) enterrées;
 A débit nuciforme en surface (4 cm) puis régulier ou horizontal; cohésion faible; porosité intergranulaire; chevelu radiculaire moyen
- 12-49 cm : brun jaunâtre (10 YR 5/4); très sableux; débris de poteries et cailloux de grès oolithiques ferrugineux; débit régulier; cohésion faible; plus poreux; chevelu radiculaire abondant et bien réparti
 C.1
- 49-174 cm : brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4); très sableux; débris de poteries jusqu'à 100 cm; débit régulier; cohésion moyenne; peu de racines
 C.2

L'effet pédologique essentiel de ces transformations est l'élimination de l'argile granulométrique qui peut être totale. Les sols jeunes A-C permettent de recenser quelques uns des caractères des sols F.1 attribuables à des mécanismes relativement rapides pour des pluviosités inférieures à 500 mm. Ce sont :

- le profil organique et un horizon A brun de 15 cm; la répartition isohumique des sols anthropiques fait exception
- la répartition des pH, de la saturation, de la somme des bases échangeables, plus élevés dans l'horizon A.1
- plus douteusement un accroissement des taux de fer vers la profondeur (NO 65)

On n'a pas observé de reconstitution d'horizon (B) rubéfié.

2.32 Les S é r i e s à r a i e s

2.321 Série rubéfiée à raies

Les raies et autres accumulations discontinues n'apparaissent qu'exceptionnellement dans cette famille. Elles sont absentes des Séries bien drainées qui lui sont

attribuables avec une entière certitude. Elles n'apparaissent que dans l'erg aux sols de statut douteux de Damarké, situé par 15° N et 4° E, sur l'isohyète 380 mm, sur les bas-glacis Ct.2 du haut bassin du Dallol Maouri. Les dunes, longitudinales, s'étagent entre 5 et 15 m. La steppe herbeuse psammophile, largement défrichée, s'adapte au relief. L'Aristida longiflora en est la base sur les dunes les plus hautes où elle n'est parsemée que de quelques Combretum glutinosum. Le Cymbopogon schoenanthus en forme le fond sur les dunes basses où elle est plus densément dominée de Commiphora, Sclerocarya. Le profil pédologique est cependant presque invariable, hormis la présence de raies sur les dunes de moins de 8 m. Les épipédons sont de type subaride, la succession des horizons et le développement structural sont ceux de la famille 1, mais le profil textural est intermédiaire avec celui des sols plus évolués de la famille 2 (synthèse) :

Horizon A.11

- 12 à 18 cm
- brun (7,5 YR 5/5)
- structure nuciforme ou débit régulier; cohésion faible; très forte porosité intersticielle

M = 0,19-0,22 A = 0,5-3,0 Fl = 0,67-1,01 S = 1,11-1,30
 C/N = 11,6-11,8 L = 3,0-4,0 Fl/Ft = 64 Ca = 0,53-0,58
 pH = 6,6-7,4
 V = 90-100

Horizon A.12

- 12 à 14 cm
- brun vif (7,5 YR 5/6)
- débit légèrement mamelonné; cohésion faible à moyenne; porosité plus grossière

M = 0,12-0,13 A = 3,5 Fl = 0,85-1,10 S = 0,69-0,76 pH = 5,5-6,7
 C/N = 10,8-11,4 L = 2,5-3,0 Fl/Ft = 69-70 Ca = 0,28-0,35 V = 81-95

Horizon B

- 30 à 55 cm; sommet entre 24 et 32 cm
- rouge-jaune (5 YR 5/6)
- débit régulier ou légèrement mamelonné; cohésion faible; même porosité

M = 0,10-0,12 A = 5,0 Fl = 0,97-1,12 S = 0,67-0,70 pH = 5,3
 C/N = 8,6-10 L = 3,0 Fl/Ft = 67-71 Ca = 0,26-0,30 V = 70

Horizon B.C

- 60 à 80 cm; sommet entre 60 et 90 cm
- transition graduelle de couleur
- pratiquement particulaire

Horizon C

- sommet entre 125 et 145 cm
- jaune-rouge (7,5 YR 5-6/6) à jaune brunâtre (10 YR 6/6)
- particulaire

M = 0,05 A = 2,5-3,0 Fl = 0,72-1,05 S = 0,70 pH = 5,3
C/N = 5,5 L = 1,0 Fl/Ft = 65 Ca = 0,15-0,18 V = 63-74

Raies

- situées dans l'horizon B ainsi que, parfois, dans l'horizon A.12 où elles peuvent se surimposer à d'anciennes croûtes pluviales fossiles;
- homochromes, peu distinctes, légèrement plus cohérentes que la matrice, fines (e = 3 mm, d = 10-20 cm).

2.322

Série brunie à raies

Elle n'a été découverte que lors de la prospection de détail du bassin du Gorouol. Elle se localise sur une bande étroite, d'au plus 1.500 m de large, longeant le front nord, très pentu, de certains cordons longitudinaux à sols F.1. L'aspect est celui d'une banquette, à pente transversale faible (1 à 0,6%) raccordant le cordon au revers du cordon suivant ou à une plaine ondulée à sols F.2. Cette disposition lui vaut d'être située au-dessus de sols rubéfiés appartenant à l'élément topographique adjacent. On admet, à cause de cette inversion de toposéquence, que les sols à raies ont évolué sous l'influence des solutions provenant de la masse dunaire amont. La végétation est très banalisée par les jachères. C'est une savane à *Combretum glutinosum*, à tapis herbacé à base de *Cenchrus*, où quelques espèces indiquent une humidité édaphique assez forte (*Bauhinia reticulata*, *Ipomea* sp.). Les épipédons sont de type subaride (pluviosité : 440 mm). L'organisation du profil : A - B - E/B, est identique à celle qui a été observée dans la famille F.2 dans les conditions d'humidité les plus élevées compatibles avec ce type de différenciation (cf. p. 839 et 862). Les taux d'argile sont plus grands que ceux des cordons adjacents ; on y verrait le résultat d'une accumulation oblique.

Horizons A.11 - A.12

- 18-25 cm
- brun grisâtre (10 YR 5/2-3)
- structure feuilletée ou nuciforme au sommet (A.11) débit légèrement mamelonné de cohésion moyenne au dessous; porosité finement semi-tubulaire, peu développée, à la base (A.12)

M = 0,38-0,40 A+L = 4,2-8,0 S=1,8-3,1 pH=5,8-6,5 IS = 0,9
C/N= 8 - 12,2 Ca=1,0-2,0 V= 90

Horizons B

- 60-90 cm
- brun vif (7,5 YR 4/4 et 5/5)
- débit régulier ou légèrement mamelonné; cohésion moyenne; la base peut être durcie; porosité réduite

à 60cm: M = 0,17-0,24 A+L=7,0-9,0 S = 2,2-3,2 pH = 6,2-7,0
C/N=8,1-9,4 Ca = 1,5-2,7 V = 97

Horizons E/B

- sommet entre 80 et 115 cm
- matrice grise à gris très clair (10 YR 5-7/2)
- raies brun vif (7,5 YR 5/5) épaisses (e = 1 cm, d = 10 cm) à limites diffuses
- débit très régulier (matrice) cohésion moyenne; moins dur

Matrice à 150cm: M = 0,05-0,12 A+L = 2,7-3,2 S=0,9-1,1 pH=5,7-7,9
Ca=0,4-0,55 V=98

La saturation élevée est un autre indice d'afflux de solutions, le substrat étant lui-même riche en bases (cf. p.863).

2.33 Les toposéquences à sols à action de nappe et / ou brunis constants et étendus : les sols des plaines sableuses du Manga au bassin de la Korama

Dans cette partie de la cuvette tchadienne, comprise entre les cotes 380 et 320 m (cf. p.534 à 548) l'homogénéité des sols est telle qu'ils peuvent être inclus

dans une toposéquence compréhensive unique où les taux infimes du plasma minéral réduisent l'essentiel des morphologies à des variations de couleur. Les termes, rougis ou brunis, dépendent dans leur répartition et pour des détails d'organisation de la cote, inactuelle ou ancienne, de la nappe, donc de la situation par rapport aux émergences phréatiques et de l'importance des dépressions. On admet sans grande certitude que cet effet du drainage général a pu être accentué par des différences d'âge. Les sols rajeunis par le vent abondent, encore la faible évolution générale ne permet-elle d'identifier que ceux qui sont assez récents pour être encore au stade A-C. Bien que la végétation et les modes d'utilisation soient sensibles au gradient pluviométrique, les hauteurs d'eau passant de 300 mm à 650 mm, la zonation latitudinale purement pédogénétique est mineure, soit qu'elle soit effectivement tenue, soit qu'on ne puisse la dégager des effets du drainage général ou du brassage éolien.

2.331 La toposéquence

Comme les sols y varient très progressivement, sa partition est statistique, fondée sur les quelques types les plus fréquents correspondant aux sites topographiques les plus étendus. Sur les plateaux, du Tchidi N' Gourbaybe à la Korama, sur les rides transversales du Tioldé, s'est formé un profil à horizon (B) de couleur, modérément rubéfié (5 et 7,5 YR) à niveau de nappe plus profond que 2,5 m. Sur la marge lacustre présumée de 360-380 m, sur les rides du bassin de la Korama, sur les pentes menant aux dépressions, sont des sols A - (B) - C (g) moins colorés (7,5 YR) à base très sableuse jaunie et blanchie par la nappe à une profondeur de l'ordre de 1,5 m. Dans les dépressions, dont les fayas, sur les surfaces non colmatées d'alluvions ou dominant légèrement ces dernières, sont des sols brunis à profil très simplifié, A-C (g) à base blanche.

2.3311 Sols ferrugineux et brun-rouge, non lessivés, parfois

 peu lessivés

Horizon A.11

- épaisseur : 3 - 6 - 9 cm
- couleur : brune, souvent mais non nécessairement plus rosée (7,5 YR 5/4-5) dans le faciès subaride (pH neutre, à moins de 475 mm de pluies) que dans le faciès ferrugineux

- (10 YR 5-5,5/4)
- texture très sableuse, ainsi que dans le reste du profil
- structure nuciforme au contact des touffes de graminées; débit ou structure feuilleté immédiatement en surface; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire, moyennement développée

Horizon A.12

- épaisseur : 9-12-14 cm
- brun à brun rosé dans le faciès subaride (7,5 YR 5/5-6 et 5 YR 5/4) brun dans le faciès ferrugineux (7,5 YR 5/5)
- débit régulier, cohésion faible; porosité égale ou supérieure, intergranulaire, rarement semi-tubulaire

Horizon (B) couleur, structure

- épaisseur : 10 à 18 cm; il manque parfois dans le faciès subaride; une épaisseur de 60 cm a été notée une fois dans un faciès ferrugineux
- brun rosé, brun-rouge dans le faciès subaride (5 YR 5/6, 7,5 YR 5/6) brun rosé dans le faciès ferrugineux (7,5 YR 4-5/6)
- débit régulier ou légèrement mamelonné; cohésion très faible; même porosité

Horizon (B) couleur

- épaisseur malaisément déterminable, de 35 à 140 cm; sommet entre 20-38-80 cm, les extrêmes appartenant respectivement aux faciès subarides et ferrugineux
- rouge-jaune (5 YR 5/6-8) et jaune-rouge (7,5 YR 5-6/6-8)
- débit régulier, cohésion faible, porosité intergranulaire

Horizon (B)-C

- transition très progressive de couleur dans un matériel par ailleurs identique à l'horizon C

Horizon C

- apparaît au plus à 220 cm
- jaune rougeâtre (7,5 YR 6-6,5/6-8)
- particulaire, cohésion très faible, très finement poreux

2.3312 Sols ferrugineux, ou subarides bruns à brun-rouge,
à action de nappe en profondeur

Horizon A.11

- 5 à 10 cm (subaride) 10 à 20 cm (ferrugineux)
- brun (10 YR 5/3-4) parfois plus rosé (7,5 YR 5/4; subaride)
- très sableux
- structure feuilletée et nuciforme; cohésion moyenne à faible; porosité intergranulaire très bonne

Horizon A.12

- tend à se confondre avec le suivant
- 0 à 8 cm (subaride) 0 à 16 cm (ferrugineux)
- brun, brun vif ou rosé (7,5 YR 5/4-5)
- débit régulier, ou très légèrement mamelonné; cohésion faible; porosité parfois plus grossière, bien développée

Horizon (B) structure ou couleur

- 0 à 15 cm (subaride) 16-28 cm (ferrugineux)
- brun vif (7,5 YR 4/6) parfois brun rougeâtre (5 YR 4/4, subaride de la marge de 360-380 m) ou jaune-rouge (7,5 YR 5/8)
- structure semblable ou légèrement mieux développée

Horizon (B) couleur

- réunit les horizons (B) et (B)-C du type précédent
- épaisseur : 40 à 90 cm
- cotes du sommet : 10-28 cm (subaride) 40-45 cm (ferrugineux)
- jaune-rouge (7,5 YR 5-6/6-8)
- particulaire

Horizon C (g)

- d'abord jaunâtre (10 YR 7/3-4, 7,5 YR 7/6) vers 90-120 cm puis blanchâtre (10 YR 8/2-4) vers 100-200 cm
- très sableux et particulaire

2.3313 Sols brunis, à action de nappe en profondeur

Le profil se simplifie encore par disparition progressive

de l'horizon (B) lorsque l'horizon C (g) se situe de plus en plus haut et vient au contact de l'horizon A. Ces sols AC paraissent ainsi plus jeunes que les sols A-(B)-C rougis des reliefs mais ils sont en parfaite continuité latérale aussi bien dans les dépressions remodelées par les eaux que dans de simples interdunes.

Horizon A

- épaisseur : 5-10-22 cm
- couleur : gris et brun (10 YR 5-6/1-2-3)
- très sableux
- structure feuilletée, parfois nuciforme; rarement fissuration prismatique; cohésion faible à moyenne; porosité souvent tubulaire, bonne

Horizon (B) et A-C

- sa couleur brune pourrait le faire interpréter comme la base de l'horizon humifère mais il est en fait l'équivalent de l'horizon (B) des sols rougis car il est le siège du maximum de la structure, des taux de plasma minéral, tant que son épaisseur n'est pas trop faible
- épaisseur : 20 à 100 cm; au dessous de 30 cm, ce n'est plus qu'un horizon A-C strictement particulière
- couleur : brun et brun-jaune (7,5 YR 4/4 et 10 YR 5-6/4)
- la partie supérieure, sur 25 cm, peut être mieux structurée avec un débit légèrement mamelonné de cohésion faible; la base est rapidement particulière

Horizon C (g)

- sommet entre 40 cm (profil A-C) et 120 cm (profil A-(B)-C)
- couleur : blanc (10 YR 8/2-4) surmonté d'un horizon jauni (10 YR 6/6 et 7/5) s'il existe un horizon (B); souvent des taches jaunes et rouges
- particulière (sec) bouillant (humide)
- la nappe phréatique a été observée entre 50 et 200 cm au-dessous du sommet de cet horizon en saison sèche, avec une frange capillaire située à la base des horizons A ou (B)

2.3314 Comparaison avec les sols des dunes E.2
.....

Une continuité physique entre les sols des plaines du Manga et ceux des dunes E.2 extérieures à la cuvette tchadienne est assurée par les rides transversales de Gouré-Guidimouni (cf. p.879). La succession des horizons est partout la même dans les Séries bien drainées (cf. p.875). Les sols du Manga ont des structures encore moins différenciées, les cohésions étant invariablement faibles. Les taux de plasma minéral y sont plus petits dans tous les horizons, les maxima étant égaux aux valeurs médianes atteintes dans les dunes extérieures. Les répartitions de type enrichi (2) sont plus fréquentes. Le degré d'évolution des sols du Manga est donc, par rapport à l'ensemble des sols F.1, situé comme celui de profils dunaires sommitaux (Yagadji, p.877) par rapport à leur toposéquence. Dans les deux cas une fragilité plus grande accompagne et perpétue une moindre différenciation qui, à l'origine, pouvait tenir à un matériau plus sableux et perméable.

La somme des bases échangeables, les pH, minima dans les horizons (B) sont plus élevés dans le Manga, notamment dans les horizons profonds. Ce caractère est associé à l'existence d'une nappe générale salée, à la circulation de sels atmosphériques.

Parmi les sols brunis, seuls les profils A-C sont caractéristiques du Manga du fait d'un niveau phréatique plus élevé. Pour les autres, on vérifie encore l'accroissement des taux d'argile à répartition plus fréquemment lessivée et un accroissement de la saturation. Ce dernier caractère disparaît de toposéquences des aires réalimentées en eau douce du bassin de la Korama, où au contraire les sols brunis sont plus acides.

2.332 Variations en latitude

La zonation de la végétation reste sensible bien que les propriétés physiques et chimiques des sols favorisent la steppe herbeuse vivace et abaissent vers le sud les limites d'espèces sahéliennes. Vers 450 mm, le Cymbopogon gigantesque apparaît dans le tapis à *Aristida longiflora*; les derniers restes des formations à *Acacia raddiana* disparaissent à 575 mm; une physionomie très claire de savane à Combrétacées et à *Prosopis* prend place à plus de 620 mm, où l'*Aristida mutabilis* est encore présente dans le tapis prairial. Parallèlement les cultures de

pénicillaire, cantonnées aux sols bruns des fayas à moins de 450mm, s'étendent à tout le paysage à plus de 600 mm, surtout au sud du bassin de la Korama, où elles s'associent à l'arachide. L'érosion se modifie elle-même. Sporadiquement de type subdésertique jusqu'à 400 mm, elle provoque un ameublissement superficiel généralisé jusqu'à 600 mm, pour être plus banalement anthropique et hydrique au delà.

Les transformations des sols sont des plus limitées. Les épipédons sahéliens sont quelque peu minces et colorés, variation qui est plus facile à mettre en évidence dans les Séries rubéfiées à action de nappe. Les pH sont également plus régulièrement neutres à moins de 475 mm.

2.333 Variations régionales

2.3331 Le Tioldé
.....

C'est la région des grandes rides transversales frangeant l'amont de la marge lacustre de 320 m. Du fait du relief et du colmatage des fonds par des diatomites et des alluvions argileuses verticales, ce sont les Séries rubéfiées qui dominent. Les épipédons sont de type subaride, avec des pH élevés (7,3). Avec moins de 400 mm de pluies, des dépressions stériles du fait de leur texture, il n'y a pratiquement pas de cultures, sauf au voisinage même de Maine Soroa. Aussi observe-t-on une savane lâchement arborée à *Acacia raddiana* et tapis prairial souvent annuel. L'érosion éolienne y est spécialement vive.

2.3332 Le Tchidi N'Gourbaybe
.....

A l'est du Mounio, entre les marges de 380 m et le Tioldé, s'étend une vaste plaine trouée de dépressions ou fayas. Au sud, près de la frontière de Nigeria, la nappe phréatique affleure dans les cuvettes du pays des salines (Mandaram). Au sud-ouest, un réseau de fayas desséchées forme le Ngatcholoul. La toposéquence est telle que nous l'avons résumée ci-dessus, tant que les alluvions limoneuses ou les mares salées n'ont pas fait disparaître les Séries brunies. Ces dernières occupent non seulement le fonds ou la banquettes des fayas mais s'élèvent encore jusqu'à près de 5 m au-dessus du thalweg sur des pentes qui peuvent atteindre 10% (région de Kelakam). C'est cette curieuse disposition qui plaide en faveur d'un niveau phréatique jadis très élevé. Les Séries rubéfiées à action de nappe en profondeur s'étendent largement sur

la plaine de 360-380 m margeant l'aval des rides transversales de Gouré. Ce contact direct laisse l'impression qu'elles sont plus juvéniles que les sols de ces reliefs. Les sols éoliens sont situés principalement sur de grosses nebka longitudinales ainsi que sur des bourrelets souvent localisés à l'ouest des cuvettes. Les épipédons sont de type subaride, mais des pH modérément acides apparaissent à proximité de la frontière de Nigeria. La pluviosité est inférieure à 500 mm. La steppe herbeuse vivace parsemée de quelques *Acacia raddiana* est remplacée dans les dépressions par des restes de savanes d'épineux largement défrichées à gommiers, jujubiers, *Faidherbia*, *Balanites*, avec tapis prairial annuel. La relative réputation de fertilité de ce pays est due aux Séries brunes, support principal des cultures. Les Séries rubéfiées peuvent être également cultivées à proximité des fayas, les bourrelets éolisés étant toutefois évités, mais les densités de plantation y sont plus faibles (6.000 à 7.500 touffes de mil à l'hectare contre 20.000 à 40.000).

2.3333 Du Mounio à la Korama

La disparition ou la diminution de taille des dépressions redonne la prééminence aux Séries rubéfiées. Un sol brun à concrétions manganésifères a été décrit au contact des granites du Mounio dont la présence se manifeste par de multiples reliefs et par une strate arborée bien plus dense (*Sclerocarya*) que dans les plaines sabieuses s'étendant jusqu'à la Korama, uniformément herbeuses. Bien que la pluviosité convienne aux cultures (500-600 mm) cette région est inhabitée sauf au voisinage des points d'eau situés près du Mounio ou sur la ligne Guidimouni-Guidiguir .

2.3334 Le bassin de la Korama

La nappe affleure assez largement au voisinage des grès continentaux dans les interdunes d'un système transversal où nous voyons le prolongement de l'erg de Goure-Guidimouni. Les sols les plus rouges (5 YR) n'ont pas été observés et tout est brun et/ou à action de nappe. Cette dernière étant douce et ne se salant par évaporation que tout près de la Korama, les sols de bas de pente sont généralement acidifiés et par là plus pauvres en bases que les sols des fayas (S = 1,5 à 2 contre 2 à 4). Ces sols, ferrugineux, sont couverts d'une savane arborée à *Terminalia avicennoïdes* et *Prosopis* remplacée par des phréatophiles (*Hyphaene*, massettes) dans les dépressions.

Bien que l'approvisionnement en eau soit considérable (la pluviosité dépasse 600 mm) les jachères sont apparemment fort longues.

2.3335 Les ergs de Miria, de Gouna

Ils sont hors de la cuvette mais dans des dépressions connexes dans une partie desquelles émerge une nappe drainant vers la Korama. Ils sont transversaux, dans l'alignement de l'erg de Guidimouni, et portent des sols analogues à ceux des sables du bassin de la Korama :

site de Miria (NA 20-21)

Lat. : 13° 43' 30" N.
 Long. : 9° 6' 27" E.
 Cotes : 448 m (NA 20)
 445 m (NA 21)

Savane très lâchement arborée à *Faidherbia* et tapis herbacé à *Aristida longiflora*, dégradé (*Eragrostis*); palmier-dattier dans l'interdune; mil et arachide; 530 mm.

Sol Ferrugineux non à peu lessivé, à action de nappe en profondeur (NA 20, sommet)

0-12 cm : brun jaunâtre (10 YR 5,5/4); très sableux; feuilleté en surface puis débit régulier à cohésion faible; forte porosité intergranulaire; chevelu radiculaire dense

A
 M = 0,23 A = 1,0 Fl = 0,24 S = 1,26 pH = 6,5
 C/N = 9,4 L = 1,5 Fl/Ft = 54 Ca = 0,95 V = 97

12-40 cm : brun vif (7,5 YR 4/6); très sableux; débit régulier; cohésion très faible; plus poreux; chevelu encore dense

(B)
 M = 0,15 A = 2,7 Fl = 0,35 S = 1,32 pH = 6,6
 C/N = 12,1 L = 0 Fl/Ft = 81 Ca = 1,04 V = 83

40-157 cm : s'éclaircit très progressivement jusqu'au jaune rougeâtre clair (7,5 YR 6/6); très sableux; particulaire; peu de racines à plus de 100 cm

à 67 cm : M = 0,09 A = 1,5 Fl = 0,30 S = 1,21 pH = 6,5
 C/N = 10,8 L = 1,5 Fl/Ft = 77 Ca = 0,95 V = 86

157-250 .. : jaune clair (7,5 YR 7/6); très sableux; particulaire
 C (g)
 A = 0,8 Fl = 0,06 S = 0,90 pH = 6,7
 L = 0 Fl/Ft = 22 Ca = 0,56 V = 82

Sol lessivé (ferrugineux) bruni, à action de nappe en profondeur (NA 21, interdune)

0-10 cm : brun (10 YR 5/3); très sableux; feuilleté sur 1 cm puis débit nuciforme de cohésion faible à moyenne; forte porosité intergranulaire; chevelu dense
 A

M = 0,22 A = 1,7 Fl = 0,25 S = 1,74 pH = 6,1
 C/N = 9,8 L = 1,2 Fl/Ft = 62 Ca = 1,10 V = 83

10-28 cm : brun foncé (10 YR à 7,5 YR 4/4); très sableux; débit mamelonné; cohésion faible à moyenne; plus poreux; nombreuses radicelles
 (B).1

M = 0,18 A = 3,0 Fl = 0,30 S = 2,0 pH = 6,4
 C/N = 10,4 L = 0,5 Fl/Ft = 71 Ca = 1,3 V = 92

28-47 cm : brun (7,5 YR 4/4); très sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion faible; moins poreux
 (B).2

M = 0,13 A = 4,0 Fl = 0,30 S = 1,63 pH = 6,5
 C/N = 9,1 L = 0,5 Fl/Ft = 73 Ca = 1,22 V = 82

47-70 cm : horizon de transition se décolorant très progressivement
 (B)-C

70-200 .. : blanc (10 YR 8/3); taches ferrugineuses rouges et jaunes en cutines autour de pores; très sableux; remplissages de terriers venus des horizons supérieurs; pas de racines
 C g

A = 0,5 Fl = 0,11 S = 0,47 pH = 6,7
 L = 1,2 Fl/Ft = 76 Ca = 0,16 V = 78

2.3336 La région de Dungass à Malwa

Au sud-est de Magaria, le long de la frontière de Nigeria, les sables ont été très largement colmatés par des alluvions fines d'origine méridionale. Le modelé du-naire ancien, très aplani, émerge des flats en rides longitudinales basses (3 m) et courtes (moins d'un kilomètre). La toposéquence en est particulière, plus différenciée que partout ailleurs dans les sables du Manga dont on retrouve cependant ici la granulométrie

caractéristique. A des sols ferrugineux peu lessivés, rubéfiés mais à raies et à action de nappe, strictement localisés au sommet des rides, succèdent, sur 85% de la surface, des sols lessivés, brunis, à action de nappe. Le modelé, fort aplani, les textures, moins sableuses, la pluviosité très suffisante (650 mm) ont contribué à faire de cette région un centre de production arachidière important. Le paysage atteste de la densité des cultures : parcs à *Faidherbia* et *Prosopis*, haies d'*Andropogon*, recrus à *Bauhinia*, cépées d'*Hyphaene*.

Site de Tinkim (NA 72-73)

Lat. : 12° 51' 10" N.
 Long. : 8° 59' 05" E.
 Cotes : 381 et 383 m

Parc à *Faidherbia*, *Prosopis*, *Ficus*, *Combretum glutinosum*; recrus à *Bauhinia* et *Guiera*; tapis herbacé à *Pennisetum* et *Cenchrus*.

Sol ferrugineux peu lessivé à raies, à action de nappe en profondeur (NA 72, sommet)

- Surface : 2 cm de sables déliés brun clair
- 2-15 cm : brun-jaune (10 YR 5/3,5); très sableux; débit régulier; cohésion faible; très finement poreux
 A.p
- 15-57 cm : brun vif (7,5 YR 4,5/4); raies brunes indistinctes; sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion faible; porosité semi-tubulaire maximum; développement maximum du chevelu radicaire
 A.2
- 57-87 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); taches rouges diffuses sur un fond brun clair; raies brun-rouge (e = 1 cm, d = 5 cm); sableux; débit mamelonné; porosité tubulaire (5 pores de 2 mm au cm²); moins de racines
 E/ (B)
- 87-165 cm : rouge-jaune (5 YR 4,5/7); raies brun-rouge festonnées plus fines (e = 3 mm, d = 5 cm); sableux; débit régulier; porosité décroissante; peu de radicelles, quelques racines de 1-2 cm jusqu'à 150 cm
 (B)

165-193 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/8); apparition de taches jaunes à la base de l'horizon précédent
(B) (g)

193-230 cm : jaune (10 YR 6,6/6); très sableux; particulière
C (g) 1

230-275 cm : blanc (10 YR 8/2); humide; très sableux; particulière
C (g) 2

La répartition du plasma minéral est de type enrichi dès 15 cm (d'où la notation (B)) bien que l'horizon A.2 soit fort épais et que des raies se forment en abondance au sommet du niveau rougi. Peut-être est-ce là l'évolution récente, en milieu humide, d'un sol ferrugineux peu lessivé en voie d'érosion. Nous admettrions encore volontiers que sa différenciation supérieure tient à ce qu'il a été moins exposé, par sa situation en latitude ou dans une région mieux alimentée en eau, à l'érosion éolienne.

Sol lessivé, brun, à concrétions, à action de nappe en profondeur (NA 73, mi-pente)

Surface : sables particulières gris clair

0-10 cm : brun-jaune clair; très sableux; débit nuciforme sur 3 cm puis horizontal; cohésion faible; quelques pores
A.1 p

10-30 cm : gris-brun; très sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité tubulaire plus forte; moins de racines
A.12

30-52 cm : brun-jaune; raies discontinues brunes (e = 1 mm, d = 5 cm); sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion faible; quelques pores tubulaires
(B)

52-140 cm : gris clair; sableux; débit régulier; fort concrétionnement de nappe
(B) g cn
52-115 cm : concrétions tubulaires (5 cm) noires à jaunes, dures
115-140 cm : concrétions tubulaires ou mamelonnées (2-5 cm) ferrugineuses, brun-rouge, avec halo glebulaire jaune

140-400 cm : blanc; très sableux; quelques raies brunes et fines
C (g)

Le toit de la nappe, jadis situé à 52 cm alors qu'il nourrissait les concrétions ferrugineuses, est à - 420 cm en hivernage où il ne dépose plus que de fines cuti- nes de grains qui jaunissent l'horizon blanc C (g) an- cien magasin de la nappe. Il s'abaisse à moins de 530 cm en saison sèche. Ce concrétionnement est le plus éloigné des bordures de la cuvette (25 km) que nous connaissions au Niger; il ne se développe qu'au contact même des grès (ordinairement).

La relative saturation du sol brun et de la toposé- quence est en relation avec la nature de la nappe, car- bonatée et calcique, qui a pu déposer des amas calcaires friables rhizoïdes dans certains horizons (B) g cn. La texture aidant, les réserves en bases sont ainsi por- tées à la limite supérieure des sols sableux de la cuvet- te.

2.334 Les sols jeunes

Ils se sont excessivement étendus sur des édifices mineurs surimposés (nebka, bourrelets) généralement bien visibles. Leur profil, A-C, est partout semblable et ne varie que dans sa couleur héritée du sol détruit.

2.3341 Sols issus de Séries rubéfiées bien drainées
.....

Site de Goudoumaria (NB 49)

Lat. : 13° 42' 0" N.
Long. : 11° 25' 24" E.

Bourrelet bordant une faya; prairie à *Aristida longi- flora* parsemée de gommiers, *Acacia raddiana*, *leptade- nia*; 380 mm.

Surface : 4 cm de sables particuliers bruns

0-5 cm : brun (7,5 YR 5/4); très sableux; structure nu-
A ciforme ou débit régulier; cohésion moyenne à faible; nombreuses radicules, horizontales

5-19 cm : brun vif (7,5 YR 5/5); très sableux; débit ré-
A.C gulier; cohésion moyenne à faible

19-200cm; jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6); très sableux;
particulaire

Le sol est stabilisé depuis longtemps car rien dans son aspect de surface ne le distingue des sols plus évolués. Un horizon A subaride mince et saturé s'est reconstitué. Il est enrichi en plasma minéral, caractère communément mis en évidence dans les sols jeunes du Manga où il est attribué aux poudres éoliennes. Le profil textural est d'un type qui peut s'observer dans les sols plus évolués, les taux se situant à la limite inférieure de ces derniers. C'est cette similitude qui a fait admettre que les profils A-(B)-C, médiocrement différenciés, étaient aussi plus jeunes que les sols de la famille 1 prise dans son ensemble, cela à des degrés variables formant une série continue jusqu'aux profils A-C.

Site de Bouné (NB 25)

Lat. : 13° 26' 40" N.
 Long. : 8° 4' 55" E.
 Cote : 360 m

Grosse nebka longitudinale; sommet; steppe herbeuse à *Andropogon gayanus bisquamulatus* et *Heteropogon*; quelques *Bauhinia*, *Faidherbia*, *Acacia raddiana*; 520 mm.

Surface : 3 cm de sables particuliers brun-jaune

0-4 cm : brun rougeâtre (5 YR 4/4); très sableux; débit feuilleté; cohésion faible; porosité intergranulaire très faible; chevelu vertical dense
 A

4-13 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); très sableux; particulière à cohésion très faible; enracinement maximum
 A.C

13-220 ... : rouge-jaune (5 YR 5/8); excessivement sableux; particulière
 C

Ce type de sol très juvénile et assez vivement coloré est celui que l'on remarque le plus facilement dans le paysage; on lui doit en particulier ces croissants irréguliers roses qui bordent de nombreuses cuvettes à l'ouest. Leur couleur n'est pas un effet de l'éolisation mais, en relation avec le drainage local, héritée du sol évolué primitif. Bien que la pluviosité soit plus forte que précédemment, le pH n'a que peu diminué. C'est une autre manifestation de la propriété des sommets dunaires à posséder des saturations relativement élevées.

2.3342

Sols issus de Séries moins bien drainées ou brunies
.....

Site de Dogo (NA 30)

Lat. : 13° 24' 27" N.
Long. : 8° 57' 50" E.
Cote : 410 m

Bassin de la Korama; erg très aplani, à dépressions sub-circulaires avec nappe affleurante; sommet (nappe à 6-10,5 m); steppe à *Aristida longiflora*, avec *Bauhinia* et *Hyphaene*; 580 mm

Surface : quelques centimètres de sables particuliers

0-13 cm : brun clair; très sableux; feuilleté puis
C débit régulier

13-25 cm : brun très clair; très sableux; particulière
2 C

25-55 cm : brun-jaune (10 YR 5/5); très sableux; débit
3 A b régulier; cohésion faible; très poreux;
chevelu radiculaire dense

55-85 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6); très sableux;
C légèrement plus cohérent

85-200 cm : mêmes couleur et texture; entre 125 et 200
C p cm, niveaux à charbons et poteries

200 .. : jaune clair (10 YR 8/5); très sableux; par-
4 C (g) ticulaire

On observe une succession d'apports anthropiques et éoliens sur un ancien sol ferrugineux à action de nappe en profondeur remanié jusqu'à l'horizon jauni C (g). Ces sols détruits sont communs dans le bassin de la Korama où ils ne se manifestent comme tels que dans les coupes, les sables étant très vite recolonisés par la végétation. Ils ont partout les mêmes teintes brunes à brun-jaune (7,5 YR 5-6/6) des taux d'argile et limon très faibles (aussi bas que 1%) des pH modérément acides (5,7-6,9) des taux de matière organique qui atteignent 0,35% dans les horizons A les mieux reconstitués (15 cm).

Les sols brunis ne sont fréquemment rajeunis que dans les fayas sèches du Tchidi N'Gourbaybé. Ils sont

fossilisés par des buttes éoliennes métriques, à sables très pauvres en argile et limon (moins de 4%) où un horizon A peu épais (15 cm) brun-jaune clair (10 YR 6/4) relativement pauvre en matière organique pour le drainage local (M = 0,12%) neutre (pH = 7,0, V = 85) a été observé.

2.3343 Les sols peu évolués bruns de dunes d'obstacles
.....

Les sables accumulés sur les reliefs granitiques du Mounio ou épars dans la cuvette sont mêlés à des éboulis et évoluent au contact direct des fragments rocheux en horizons bruns, plus organiques que dans les sites de drainage comparable, neutres, saturés et calciques, probablement sous l'influence directe des bases libérées par les minéraux du granite :

site de Goudoumaria (NC 16)

Lat. : 13° 41' 40" N.
Long. : 11° 35' 0" E.

Base d'un éboulis rhyolithique d'un ~~monticulé isolé du~~ Tchidi N'Gourbaybé; pente : 57%; entre les blocs (15 cm) très anguleux, frais, des gommiers, Maerua, Leptadenia, Cenchrus; 370 mm

- 0-35 cm : brun foncé (10 YR 4/3,5); entre les blocs, sables fins éoliens à structure nuciforme de cohésion moyenne; porosité d'assemblage lâche très développée; chevelu radicaire très dense
- A r
- 35-45 cm : brun-jaune (10 YR 5/7); blocs plus gros (20 cm) avec écailles de desquamation; emballage sableux plus abondant; débit régulier, cohésion très faible; forte porosité intergranulaire; moins de racines
- A.C r
- 45-100 cm : sables fins jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8) particulaires, ne contenant plus que quelques fragments de roche
- C

Le développement des racines et de la structure, l'accumulation de matière organique, d'éléments fins, de bases, sont en rapport direct avec la proportion des blocs.

2.34 Les toposéquences à sols à
action de nappe : les sols des
niveaux T.3 des Dallols

La couverture pédologique de ces vallées présente une forte ressemblance avec celle de la cuvette tchadienne, les divers termes des toposéquences étant cependant répartis par niveaux plus distincts (cf. pp. 544 - 552). Le plus élevé, T.3, est presque entièrement constitué de sols ferrugineux peu lessivés à non lessivés, ou de leurs faciès brun-rouge, à base jaunie et blanchie par la nappe, souvent concrétionnée. Les vallées étant méridiennes, les Séries s'y succèdent en latitude, la pluviosité et le bassin local variant simultanément.

2.341 Séries à faciès subaride

2.3411 Les sols brun-rouge et bruns du réseau de l'Azaouak
.....

Le bassin local est situé sur les bas-glacis du Ct.2, à moins de 450 mm de pluies. L'étagement peut se réduire au niveau T.3 dans de petites vallées (Siwili, p.551); il est complet dans l'Azaouak (cf. p.552). La prairie est le couvert végétal du niveau T.3, les espèces annuelles (*Aristida mutabilis*, *Cenchrus*, *Ctenium*) et vivaces (*Aristida longiflora*, *Hyparrhenia*, *Cymbopogon*) variant fortement en abondance relative selon la vallée. De même les quelques arbustes la parsemant (*Seyals*, gommiers, *Acacia raddiana*, *Commiphora*, *Balanites*, *Combretum glutinosum*) ont une distribution toute locale. L'Azaouak est inculte, les petites vallées sont sporadiquement cultivées.

Dans les petites vallées, on observe des sols subarides brun-rouge à épipédon mince mais encore acide puisqu'on est sur Ct.2, à horizon B généralement peu coloré (7,5 YR 5/8, 5 YR 5/6) à base jaunie (10 YR 6-7/8). Le type en est le suivant :

site de Sabara Bangou (NM 30)

Lat. : 15° 11' 10" N.	Plaine sableuse; prairie à <i>Aristida longiflora</i> et <i>Cymbopogon</i>
Long. : 2° 2' 0" E.	<i>schoenanthus</i> parsemée d' <i>Acacia raddiana</i> et de <i>Guiera</i> ; 360 mm
Cote : 261 m	

Surface : sables particuliers

0-12 cm : brun (10 YR 5,5/3); très sableux; débit régulier
 A

M = 0,16 A = 1,8 Fl = 0,41 S = 1,04 pH = 6,2
 C/N = 8,2 L = 1,0 Fl/Ft = 63 Ca = 0,70 V = 80

12-48 cm : rouge-jaune (5 YR 5/6); très sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire bien développée
 (B)

M = 0,10 Fl = 0,50 A = 3,5 S = 0,97 pH = 5,7
 C/N = 7,5 Fl/Ft = 60 L = 1,3 Ca = 0,50 V = 57

48-100 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5,5/6); stries et raies flexueuses au sommet; très sableux; débit plus régulier; cohésion moyenne; moins poreux
 (B)-C

M = 0,07 A = 2,8 Fl = 0,60 S = 0,58 pH = 5,3
 C/N = 4,4 L = 1,5 Fl/Ft = 71 Ca = 0,22 V = 45

100-187 cm : de plus en plus clair; très sableux; à 120 cm des concrétions ferrugineuses brun-rouge (5 mm); cohésion faible
 (B). C cm

187-210 .. : jaune (10 YR 7/8); excessivement sableux; particulaire
 C (g)

M = 0,03 A = 0,3 Fl = 0,20 S = 0,19 pH = 5,4
 C/N = 5,0 L = 0,2 Fl/Ft = 53 Ca = 0,08 V = 38

Par leur organisation intermédiaire entre celle de sols A-(B)-C et de sols peu évolués A-C, par leur répartition plasmique de type enrichi, les sols de l'Azaouak ressemblent fort aux sols subarides du Manga. Ils ne sont que très médiocrement rubéfiés sur les sites les mieux drainés et peu différents des sols brunis qui apparaissent dans les dépressions du niveau T.3 ou sur la totalité du niveau T.2 :

site de Chim Berkawan (NI 50)

Lat. : 15° 12' 40" N.

Long. : 3° 31' 10" E.

Plaine sableuse T.3; prairie à Cenchrus et Cymbopogon, avec gommiers, seyals, Balanites; 355 mm

0-17 cm : brun (7,5 YR 5/5); très sableux; structure nuciforme (1-5 cm) due à de nombreuses racines;
 A

cohésion moyenne à faible; porosité fine et forte

Contraste faible, transition de 10 cm

- 17-40 cm : brun-rouge (7,5 YR 4,5/6); structure fine
A-(B) nuciforme; cohésion faible; même porosité
- 40-100 cm : jaune-rouge (plus rouge que 7,5 YR 5,5/6);
(B) très sableux; débit régulier; cohésion
faible
- 100-130 cm : horizon de transition
- 130-200 .. : jaune-rouge (7,5 YR 5,5/8); très sableux;
C particulaire

Le profil est très pauvre en matière organique en dépit de sa couleur et de sa structure de surface. Sa relative jeunesse est confirmée par sa ressemblance avec les sols du niveau T.2, situé 3 m plus bas; ils sont plus uniformément bruns (7,5 YR 5/6) et un horizon C (g) jauni y apparaît à - 170 cm. La saturation est un caractère commun aux sols de l'Azaouak à cette latitude où les argiles du flat central sont alcalisées; elle a pu être véhiculée par la nappe.

2.3412 Les sols brun-rouge à ferrugineux du haut Dallol Maouri.
.....
Série de Bagaroua
.....

Les sables du cours amont du Dallol Maouri, qui draine des bas-glacis Ct.2 au nord du parallèle 13° 30' N, ont été éolisés dans leur modelé, à buttes basses de l'ordre du mètre, dans leur granulométrie et dans leur morphoscopie, analogues à celles des dunes E.2 locales (cf. p. 60 et 67). Du nord au sud, de 350 à 650 mm de pluies, la savane lâchement arborée à *Combretum glutinosum*, gommier, jujubiers, à strate prairiale d'*Aristida longiflora*, stipoides, *mutabilis*, perd ses *Balanites* et *Callotropis* et gagne des *Annone*, des *Bauhinia*, des *Faidherbia*. Bien que très légères, ces terres sont toujours plus cultivées que celles des dunes voisines. A moins de 525 mm, les champs de mil occupent le quart de la surface, la totalité au delà. Les sols sont très constants dans leurs caractères morphologiques, le gradient latitudinal ne se manifestant guère que dans les propriétés chimiques (synthèse) :

Horizon A.11

- 20 cm
- brun-jaune (10 YR 5/4-5)
- très sableux
- débit régulier, cohésion faible, porosité intergranulaire bien développée

Horizon A.12

- 20 cm
- brun vif (7,5 YR 5/4-5)
- très sableux
- même structure; porosité plus développée ou grossière

Horizon (B)

- 60 à 65 cm; sommet à 40 cm
- brun-rouge à jaune-rouge (5 à 7,5 YR 5/5-6)
- parfois des raies diffuses homochromes
- sableux
- débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne à faible; même porosité

Horizon (B)-C

- 60 à 70 cm
- jaune-rouge (7,5 YR 5-6/8)
- sableux
- débit régulier, cohésion faible

Horizon C (g)

- jaune-brun (10 YR 5-6/8)
- sommet de 160 à 170cm
- très sableux
- particulière

Le jaunissement de la base des sols est inactuel, la nappe se situant actuellement à plus de 10 m.

A moins de 450 mm les sols sont plus acides, plus pauvres en bases, notamment en calcium.

2.3413

Les sols ferrugineux peu lessivés du Dallol Bosso

Cette énorme vallée, large de 7,5 à 20 km, prolonge l'Azaouak en s'encaissant d'une cinquantaine de mètres dans les grès Ct.3. Des plaines sableuses à sols rubéfiés, quelquefois latérales, souvent découpées en longues buttes au centre de la vallée, représentent le niveau T.3. Elles dominent de 3 à 6 m les ondulations basses (2 m) à sables très meubles, jaunâtres, du niveau T.2; la dénivellée est de 6 à 12 m au-dessus des dépressions hydro-morphes ou halomorphes T.1. La nappe phréatique n'affleure

dans ces dernières de façon temporaire qu'au sud de la latitude 13° 50' (pluviosité 500 mm) de façon permanente qu'au sud de la latitude 13° N (pluviosité 725 mm). Bien que du nord au sud la pluviosité croisse de 450 à 800 mm, l'homogénéité du niveau T.3 entraîne celle de la physionomie des peuplements végétaux qui ne varient que floristiquement. La base en est une prairie monotone de graminées vivaces (*Aristida longiflora*, *Cymbopogon giganteus*, *Andropogon gayanus*) à sous-strate annuelle bien fournie (*Aristida stipoides*, *mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis*, *Cenchrus biflorus*, *Otenium elegans*, *Pennisetum* sp.). La strate ligneuse, très claire, varie selon la pluviosité. Au nord, le *Combretum glutinosum* et le *Balanites aegyptiaca* dominant, associés aux *Maerua crassifolia*, *Bauhinia reticulata* et *rufescens*. A 500 mm de pluies, le *Faidherbia* forme quelques beaux peuplements qui disparaîtraient plus au sud. Le *Parinari macrophylla*, le *Prosopis africana*, les *Ficus*, les *Annona* deviennent communs. Vers 750 mm, apparaissent des *Sclerocarya*, le *Butyrospermum parkii*, *Daniella oliveri* et *Pterocarpus erinaceus*. Ces formations claires de savanes arborées contrastent vivement avec les steppes d'épineux et les palmeraies à doum et roniers du niveau T.2. Elles sont défrichées pour des cultures de mil et d'arachide, les jachères étant pâturées.

Les sols, moins pauvres en fines que ceux de l'Azaouak, retrouvent l'organisation A-(B)-C de la famille 1 :

site de Baleyara (NK 50)

Lat. : 13° 45' 50" N.
 Long. : 2° 54' 40" E.
 Cote : 202 m

Niveau T.3 découpé en buttes allongées; sommet; prairie à *Aristida longiflora*, avec *Parinari*; 545 mm

Surface : 6 cm de sables particuliers, ramassés en buttes autour des touffes de graminées

0-15 cm : brun-jaune (10 YR 5/4); très sableux; lité; débit nuciforme (2 cm); cohésion faible; porosité intergranulaire très forte; chevelu dense
 A.p

Contraste fort; pas de transition; contact tranché (houe)

- 15-35 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); très sableux; débit plus grossier et irrégulier (5 cm); cohésion faible; porosité légèrement moins forte; nombreuses radicelles
A.12
Contraste moyen; transition de 2 cm
- 35-90 cm : brun-rouge (5 YR 4/6); sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire moyennement développée; quelques radicelles
(B).1
Contraste faible; transition de 20 cm
- 90-150 cm : rouge-jaune (5 YR 5/8); sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne; porosité semi-tubulaire fine et forte; des pores tubulaires (0,5 mm) à parois décolorées, durci
(B).2
Contraste fort; transition de 10 cm
- 150-200 cm : jaune (10 YR 6/8); tachés diffuses rouges; sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne; porosité intersticielle; durci
(B).C (g)
- 200-230 cm : blanc jaunâtre (10 YR 7,5/6); très sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire; radicelles très rares
C(g)

La répartition de l'argile et du fer est de type lessivé. Les pH sont modérément acides, minima dans les horizons (B). Le calcium domine parmi les bases échangeables.

Les variations en latitude sont limitées. Les épipédons conservent la même épaisseur (35-40 cm) sont plus foncés et organiques tout au sud (10 YR 4/3, M = 0,35%) sont neutres tout au nord (Série de Filingué : 10 YR 6/4, M = 0,25%, pH = 7,2). Les variations qui tiennent au drainage sont plus importantes; les horizons B (g) ou C (g) apparaissent entre 140 et 290 cm, la couleur des horizons (B) varie de 7,5 YR 5/5 à 5 YR 5/8. Les sols brunis sont cependant fort rares, alors qu'ils envahissent le niveau T.2, où ils sont concrétionnés.

2.3414 Les sols ferrugineux peu lessivés ou non lessivés à
concrétions de nappe du Dallol Maouri. Série de
Kaniagoma

Le Dallol Maouri s'est enfoncé parallèlement au Dallol Bosso dans les grès Ct.3, ouvrant une vallée plus étroite (6 km) à fond plat. Les sables rougis du niveau T.3 s'y disposent en banquettes latérales dominant de 3 m les buttes à sols brunis du niveau T.2 et de 5 m les chenaux à sols hydromorphes gris et noirs du niveau T.1. La nappe phréatique se situe environ 6 m au dessous du niveau T.3, avec un battement de un mètre, hors d'état par conséquent d'agir fortement sur les sols. Les versants gréseux peuvent se raccorder progressivement au fond de la vallée, sans rupture, de telle sorte que la couverture sableuse soit topographiquement continue. On observe alors une inversion de toposéquence, des sols très clairs à raies (A-E/B, 10 YR 6/3) dominant les sols plus colorés du remblai. Ces derniers disparaissent au sud de 12° 35' N, par généralisation du niveau T.2.

La pluviosité varie de 650 à 800 mm. Les cultures de mil et d'arachide, pratiquées souvent sans sole de régénération, ont produit un paysage de savane lâchement arborée, à tapis herbacé annuel. On y relève : *Bauhinia reticulata*, *Combretum glutinosum*, *Ficus* sp., *Vitex cuneata*, *Guiera senegalensis* parmi les ligneux et *Ctenium elegans*, *Heteropogon hagerupii*, *Aristida stipoides*, *Loudetia hordeiformis*, *Cenchrus biflorus*, *Aristida longiflora* parmi les herbacées. La composition de ces dernières révèle des sols plus acides que ceux du Bosso.

Site de Yeldou (NJ 37)

Lat. : 12° 44' 30" N.
Long. : 3° 42' 0" E.
Cote : 188 m

Banquette faiblement ondulée; 3 m au-dessous des sols gris à raies de la base des versants, 2 m au-dessus du sommet des buttes T.2; parc à *Butyrospermum*, *Ficus*, *Bauhinia* avec *Ctenium*, *Eragrostis*; 780 mm.

0-21 cm : brun (7,5 YR 5/5); finement sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire bien développée
A

Contraste faible, transition de 5 cm

- 21-38 cm : brun vif (7,5 YR 5/6); sableux; débit régulier; cohésion moyenne; porosité intergranulaire et tubulaire (0,5 mm) bien développée
A-(B)
- 38-64 cm : jaune-rouge (7,5 YR 5/8); sableux; débit légèrement mamelonné. cohésion moyenne à faible; porosité plus fine (0,25 mm) et faible
(B)
- 64-105 cm : horizon de transition, déjà jauni
- 105-160 cm : jaune clair (10 YR 7/8); sableux; très fortement concrétionné, en trois niveaux successifs
(B) g en
- sommet : concrétions tubulaires ($\phi = 3$ mm, l = 3 cm) non orientées, isolées ou coalescentes, creuses, rouge sombre (5 R 3/2) avec cutine externe jaune-rouge (7,5 YR 5/8)
 - centre : amas de grosses concrétions tubulaires (20 cm, $\phi = 1$ à 20 mm) coalescentes, rouges à centre jaune, formant un banc presque continu
 - base : nodules mamelonnés (1-10 cm) rouge sombre et brun-jaune, à cortex (2 mm) brun
- 160-190 cm : jaune vif (2,5 Y 8/4); taches jaunes diffuses; très sableux; particulière, sans aucune cohésion
C (g)

La trame ferritisée en nodules est indifférenciée, alors que celle des concrétions tubulaires est riche en pores d'extrusion (racines) à remplissage initialement plus argileux (lames 70 a et b) :

squelette : quartz (0,1-0,2 mm) émoussés, avec faces corrodées, plus rarement fissurées; la corrosion n'est pas en relation avec la disposition actuelle du plasma et des vides; plagioclase très rare (oligoclase à andésine); mica incolore indéterminable; tourmaline, zircon

vides : orthomacrovides de tassement à parois le plus souvent lissées par le plasma

plasma : dans les nodules brun , isotique, intertextique à porphyrosquelettique. A très fort grossissement, paraît formé de micronodules à hile central très dense. Dans les concrétions tubulaires brun-rouge, isotique, porphyrosquelettique

traits authigènes

- dans les nodules quelques feuillets cristallins goethitiques
- dans les concrétions tubulaires, glebules tubulaires concrétionnées : squelette moins abondant, porosité par logettes interconnectées plus forte, plasma orangé inondulique, feuillets cristallins goethitiques quasi-cutiniques, fissures de rétraction périphérique très fines elles-mêmes emplies d'un plasma jaune (argilo-ferrugineux) à vésicules closes très fines (10 μ) néosquelettine externe où les quartz de la matrice ont été refoulés lors de la formation du pore

Les variations de l'argile et du fer restent proportionnelles dans le profil. On admet qu'elles ont été accentuées par l'érosion anthropique en A, par un lavage dans la nappe en C (g). Les sols du niveau T.2 sont brunis (A : 10 YR 5/4, (B) : 7,5 YR 4/4, 7/7); le niveau de la nappe y fut plus élevé (100-70 cm) le concrétionnement moins important. Les textures en sont plus grossières.

2.3415

Les sols ferrugineux peu lessivés de la vallée de Fandou

Ce petit dallol, large de 1 à 7 km, atteint le cours du Bosso au nord de Baleyara, où il est barré d'un cordon E.2. Le flat sableux, unique, est attribué au niveau T.3. Il paraît découvrir en rive ouest des alluvions plus anciennes grises et rouges concrétionnées. A moins de 400 mm de pluies, il est recouvert de la steppe herbeuse à *Aristida longiflora* parsemée de *Salvadora persica*, de *Bauhinia rufescens*. Les cultures atteignent la moitié de sa surface entre 400 et 450 mm, la totalité au delà, jusqu'au confluent (575 mm). Les

espèces conservées forment un parc à *Faidherbia*, *Combretum glutinosum*, *Borassus*, avec recrû à *Bauhinia reticulata*. La Série caractéristique (Fandou) est un sol ferrugineux peu lessivé défini par :

- un épipédon épais (60 cm) brun-jaune (7,5 YR 5/6)
- un horizon (B) rouge à brun-rouge (5 YR 4/6) à raies
- un horizon C (g) jauni avec concrétions noires à 185 cm et un horizon C (g) blanchi à 205 cm

L'horizon (B) peut être localement moins coloré (7,5 YR 5/6). Au nord les horizons A sont plus minces (35 cm) tout en conservant une légère acidité (pH = 6,7, V = 70%). Par ailleurs les propriétés analytiques sont analogues à celles des sols du niveau T.3 du Dallol Bosso.

2.35 P r i n c i p a l e s c a r a c t é r i s t i q u e s
d e s S o l s F e r r u g i n e u x N o n L e s s i -
v é s à P e u L e s s i v é s e t d e l e u r s f a c i è s s u b a r i d e s

2.351 Le profil

Le profil modal se réduit à une succession A-(B)-C. L'état de l'épipédon, très meuble, dépend de la balance entre la mobilisation des sables par les fousseurs et par le vent et le foisonnement des racines qui peuvent y former une structure nuciforme au delà de la couche supérieure A.1 plus organique. Le matériel acquiert quelque cohésion, quelque irrégularité dans le débit au sommet de l'horizon médian coloré puis reprend sa structure particulière avant que ne soit atteint l'horizon C. La répartition du plasma minéral est de type lessivé dans la moitié des cas environ, sinon elle est de type enrichi ou homogène. Les sols où les taux de fer sont les seuls à varier sont les plus nombreux dans cette famille. Plusieurs répartitions coexistent dans la même Série, dans le même site, pour la même morphologie. On admet qu'elles sont produites par la combinaison aléatoire des mêmes mécanismes : le lessivage, le vannage par le vent, l'enrichissement par des poudres éoliennes dans les aires stabilisées, le lavage par la nappe. On est assuré de ce dernier parce que les horizons où la somme de l'argile et du limon fin s'abaisse au dessous de 1% sont toujours fortement décolorés et raccordables

par d'autres traits au magasin d'une nappe. Cette même quantité s'annule dans les sols éoliens de nebka. La capture de poudres est une hypothèse émise pour expliquer l'accroissement tout superficiel des fines, associé à des pH supérieurs à 7, de sols jeunes du Manga. On admet encore que la rubéfaction, que l'acquisition des structures sont indépendantes dans une mesure indéterminée mais certaine des taux de plasma minéral. Leur petitesse en rend de surcroît la mesure difficile. Dans les horizons (B) des dunes E.2, on ne compte en moyenne que 6% de fines et 0,7% de fer libre, les valeurs correspondantes n'étant même que de 3% et 0,3%, respectivement, dans le Manga. Les rapports des taux entre horizons sont en conséquence fort dispersés entre les valeurs suivantes :

B/C (50/150 cm) : 1,5 à 2
 B/A (50/5 cm) : 1 à 1,5

L'épaisseur du profil est connue sans précision à cause de cette pauvreté. Ses limites de variation, de 100 à 200 cm, aussi larges qu'elles soient, restent en deçà de leurs valeurs dans la famille 2. Comme dans cette dernière, les sols les plus sableux ne sont pas les moins épais, il faut que l'évolution de la famille 1 soit distincte et par là plus récente, tout en étant de même nature et en réagissant semblablement aux divers facteurs. Les taux de matière organique, les pH, les coefficients de saturation sont semblablement répartis, avec un maximum dans l'horizon A.1, mais sont, les premiers plus faibles à cause de la texture, les autres élevés du fait des sites et de la perméabilité.

Homogènes et filtrants, les sols F.1 manquent de ces possibilités d'évolution interne que donne la formation d'horizon B bien affirmé. Les raies, les horizons éluviaux E n'y apparaissent que rarement. On n'en connaît que cinq occurrences, l'une dans un erg d'attribution incertaine aux sols plus riches en fines, trois dans des sols à nappe des dallols et de la cuvette tchadienne, avec profil rubéfié A - E/B - B - C g, une ~~cinquième~~ en pied de cordon E.2 avec sols brunis A - B - E/B. La situation fréquente dans des aires d'émergence de nappe expose la base des sols au jaunissement, à la décoloration, au concrétionnement, ces traits n'ayant que peu de rapports avec la différenciation du profil qui le plus souvent ne réagit pas à l'engorgement par le brunissement et le durcissement notés si

souvent dans la famille 2.

2.352 La toposéquence

Elle obéit aux mêmes règles que les successions de sols ferrugineux peu lessivés. Vers le bas de pente, les horizons brunissent, les taux de matière organique et de fines augmentent, les taux de fer diminuent relativement, les pH s'abaissent hors des aires à nappes carbonatées ou salées. Le profil sommital rubéfié est moins acide, le profil inférieur brun possède une répartition du plasma minéral de type plus franchement lessivé (cf. p. 879 et p. 886). Ces transformations apparaissent plus difficilement; les Séries rubéfiées dominent très largement et peuvent même se former jusque dans les fonds interdunaires (p. 879). Les toposéquences du Manga n'en sont que plus remarquables par leurs profils brunis s'élevant haut sur les pentes et par l'apparition progressive d'une organisation A-C (g). On y voit l'effet d'un lavage par une nappe de niveau jadis plus élevé.

2.353 Le drainage général

L'engorgement généralisé ne modifie pas l'ordonnance de la toposéquence, à sols les uns plus brunis, les autres plus rubéfiés; elle produit des traits caractéristiques, accroît souvent les pH, dépose rarement des carbonates. Le concrétionnement ferrugineux est absent des aires de concentration saline et se situe de préférence sur les lignes d'émergence. Pour que les couleurs franchement rouges (5 YR) disparaissent, il est souvent nécessaire que les horizons (g) jaunis ou concrétionnés soient situés à moins d'un mètre de profondeur. On ne sait si cette étonnante propriété est antérieure ou non à l'abaissement du niveau phréatique partout constaté et partout considérable.

Le drainage général du paysage fossilisé pourrait se refléter dans la couleur moyenne des sols d'un erg déterminé qui est à la fois constante et non entièrement fixée par les taux de plasma minéral et par le modelé superficiel. L'organisation des profils n'en est cependant pas affectée comme dans les dunes E.1.

2.354 L'héritage du substrat

La morphoscopie et la granulométrie des sables des

dunes E.2 sont homogénéisées et s'éloignent davantage des caractéristiques du stock local (cf. p.591). De même les traits ou données pédologiques s'affranchissent de variations régionales attribuables aux couvertures anciennes, complètement pour les horizons A alors que pour les horizons (B) on relève simplement que les minima du pH (5) et de la somme des bases (0,6 milliéquivalents) sont atteints sur les glacis du Ct.2.

2.355

Les variations en latitude

Les épipédons perdent de l'épaisseur, de la matière organique, gagnent des bases lorsque la pluviosité diminue. Ils tendent à former avec les sols éoliens une couche continue diversement mais toujours mobile au-dessus d'un acquis plus ancien et stable, les horizons (B). Ce vannage est un frein permanent à l'évolution des sols de la famille 1, les mécanismes actuels décelables en sont l'accumulation de matière organique et des bases en surface pour des pluviosités inférieures à 600 mm. Le lessivage du fer n'est connu que d'un cas douteux, celui de l'argile n'a pu être mis en évidence. La rubéfaction est également absente des apports récents, c'est-à-dire des matériaux dont on est certain qu'ils fossilisent des horizons (B) plus anciens. L'évolution en sol ferrugineux, si elle n'a pas totalement disparu comme le suggère la continuité entre les profils A - (B)-C et A-C bien drainés du Manga, échappe à l'analyse dans les avatars les plus récents de cette famille.

2.356

Le choix des terrains de culture

Les dunes à sols ferrugineux désaturés sont laissées aux troupeaux parce que sèches et pauvres en éléments fertilisants. Les faciès subarides, saturés, ont des richesses en bases qui peuvent être du même ordre de grandeur que sur les dunes E.1 et leur perméabilité reste élevée. On les cultive donc mais avec une réserve justifiée par leur extrême sensibilité à l'érosion éolienne. La richesse minérale des sols des Dallols est comparable à celle des Séries locales F.2 les plus recherchées. Comme les points d'eau y sont plus nombreux et que le régime hydrique y est resté sans doute plus favorable, les cultures y sont plus denses. Les mêmes considérations s'appliquent au sud-ouest de la cuvette tchadienne. Au nord-est, les Séries brunies des fayas réunissent les avantages du site et de la richesse minérale.

Toposéquences à majorité de sols bien drainés

- Sols peu Evolués d'Apport Bien Drainés
intergrade vers les Sols Subarides
Brun-Rouge sur formation sableuse des
ergs orientés Feuille Zinder
- Sols peu Evolués d'Apport Bien Drainés
intergrade vers les Sols Ferrugineux
Non ou Peu Lessivés sur ensablement
des massifs rocheux, sur formation
sableuse des ergs orientés, sur sa-
bles de la vallée du Goulbi N'Kaba Feuille Zinder
- Sols Brun-Rouge Peu Différenciés sur la
formation sableuse des ergs récents.
Séries de Yagadji, d'Eidir, de Markié,
de Taguiriss, de Toudouni Feuille Maradi
- Sols Ferrugineux Lessivés en Fer Peu
Différenciés sur la formation sableuse
des ergs récents. Séries de Garagoumza
et de Kornaka Feuille Maradi
- Sols Brun-Rouge Subarides sur sables
pauvres en argile et limon. Série
modale Feuille Niamey
- Sols Ferrugineux Peu Lessivés sur
sables pauvres en argile et limon.
Série modale Feuille Niamey
- Sols Subarides Brun-Rouge. Sur sables
éoliens. Séries peu rubéfiées Ader Douchi
- Sols Subarides Brun-Rouge. Sur sables
quartzeux très pauvres en argile et
limon. Série rubéfiée non structurée Gorouol Beli
- Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés.
Intergrade vers les Sols Subarides
Brun. Sols de l'erg de Toufefiram Feuille Zinder

Séries à raies

- Sols Subarides Brun-Rouge Peu Différenciés .

Sur sables pauvres en argile et limon. Série légèrement structurée	Feuille Niamey
Sols Subarides Bruns sur sables quartzeux très pauvres en argile et limon. Drainage réduit. Séries à raies	Gomouol Beli
<u>Toposéquences à sols à action de nappe ou brunis</u>	
Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés. Intergrade vers les Sols Subarides Brun-Rouge. Intergrade vers les Sols Ferrugineux Non ou Peu Lessivés. Sur formation sableuse du Manga et de la Korama	Feuille Zinder
Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés. Intergrade vers les Sols Ferrugineux Non ou Peu Lessivés. Association à sols à engorgement de nappe (Miria)	Feuille Zinder
Sols Ferrugineux Non ou Peu Lessivés à action de nappe en profondeur. Sur formation sableuse de Malwa	Feuille Zinder
Sols Brun-Rouge Subarides Peu Différenciés. Sur sables pauvres en argile et limon. Série à action de nappe en profondeur (Azaouak)	Feuille Niamey
Sols Ferrugineux Lessivés en Fer Peu Différenciés sur la formation sableuse des ergs récents. Série de Bagaroua	Feuille Maradi
Sols Ferrugineux Peu Lessivés Peu Différenciés sur formation sableuse des vallées sèches (Dallol Bosso)	Feuille Niamey
Sols Ferrugineux Peu Lessivés à concrétions sur formation sableuse des vallées sèches. Série de Kania-goma. Série de Fandou	Feuille Niamey Feuille Maradi

3. CLASSIFICATION REGIONALE

3.1 CRITERES

Nombre de caractères des sols sableux du Niger n'ont pas la valeur ni la signification, la hiérarchie ni la genèse qui leur sont attribuées dans les échelons moyens et inférieurs de la Classification. L'application littérale de la nomenclature usuelle déforme le tableau idéal des parentés auquel elle prétend. Pour le rétablir, nous proposons une systématique régionale mieux adaptée à la réalité nigérienne (M. GAVAUD, 1968).

Les sols sableux se situent par leur matière organique bien évoluée, par leurs hydroxydes de fer libres, par leur ressemblance avec les sols lessivés rubéfiés dans la Sous-Classe des Sols Ferrugineux Tropicaux. Leur pauvreté en plasma minéral les sépare de tous les sols contemporains en ce que la nature minéralogique de l'argile n'est plus corrélée avec le type d'évolution, les isole dans la Sous-Classe en ce qu'elle tend à annuler le développement pédique, la ferritisation et l'hydromorphie d'origine interne. On les réunit au niveau du Groupe sous le nom de Ferrugineux Dystrophes (1) pour exprimer cette indépendance de l'évolution et de l'altération, cette restriction des mécanismes pédogénétiques, ce resserrement de la différenciation morphologique. La dénomination ancienne de Sols Ferrugineux Non Lessivés et Peu Lessivés est écartée parce que le lessivage du fer et de l'argile, généralement associés (p.505) sont importants dans les types modaux (p.861).

Les types d'organisation tels qu'ils apparaissent successivement dans les toposéquences correspondent à des combinaisons de mécanismes pédogénétiques distinctes et

(1) : dus = difficilement, trophé : nourriture

sont une base théorique acceptable pour les Sous-Groupes. Leur extension géographique est cependant insuffisante pour qu'une telle Classification soit utilisable. On leur substitue le degré moyen de différenciation qui, dépendant de l'âge, de la part prise respectivement par les processus de formation où le lessivage domine et par les remaniements mécaniques, correspond à une phase d'évolution. Il fixe les possibilités d'évolution interne, donc les toposéquences, et reste constant sur de grandes surfaces (F.1, 2, 3). Le caractère aléatoire des combinaisons de mécanismes pédogénétiques se traduit par un certain taux d'indépendance entre les divers critères pouvant évaluer ce degré d'évolution et empêche qu'un seul suffise à le définir (p. 725 et 917). Plusieurs sont nécessaires dont la structure de l'horizon B et les taux de fines sont les plus accessibles. Trois Sous-Groupes sont définis par les valeurs modales des ensembles chronologiques. Chacun réunit les sols les plus caractéristiques, les plus étendus d'un de ces groupements naturels ainsi que les sols, plus rares parce que situés en des sites extrêmes, qui leur ressemblent dans les autres. On limite ainsi le chevauchement des populations de données et on évite une coïncidence trop systématique entre les unités purement pédologiques et les ensembles chronologiques :

- Sous-Groupe des Sols Ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés

Il groupe la plupart des sols F.1. On lui ajoute les sols rajeunis des crêtes dunaires F.2. Il correspond aux Sols Non Lessivés de la Classification usuelle

- Sous-Groupe des Sols Ferrugineux Dystrophes modaux

Il correspond aux sols F.2. On lui ajoute les sols à accumulation discontinue des pieds de cordon F.1. Il est l'équivalent des Sols Ferrugineux Peu Lessivés

- Sous-Groupe des Sols Ferrugineux Dystrophes Très Différenciés

Il rassemble les sols F.3 et fait transition avec les Sols Ferrugineux Lessivés

La retouche septentrionale des épipédons ne modifie pas profondément le profil mais indique une réduction de la lixiviation des bases, du lessivage de l'argile et du fer, une obsolescence partielle des horizons B. Elle annonce une modification, liée à l'aridité, de l'évolution ne se réalisant pas dans une organisation distincte. Elle peut être indiquée au niveau du Faciès. Faute de pouvoir mesurer cette évolution actuelle, on définit le domaine du Faciès par une limite naturelle d'importance, celle de la zone sahélienne, qui coïncide approximativement avec celle des réactions neutres. Par symétrie, on regroupera les sols plus méridionaux dans le Faciès soudanien d'avantage en harmonie avec l'organisation en Sol Ferrugineux. Il est possible, pour des études détaillées, de raffiner cette zonalité des horizons de surface. A plus de 750 mm, apparaît un Sous-Faciès méridional plus épais, organique (p.928). A moins de 360 mm, les croûtes organiques et les sables particuliers du Sous-Faciès subdésertique remplacent progressivement les horizons A à matière organique bien répartie (cf. p.530).

Le caractère le plus général qui puisse définir des Séries est la couleur des horizons B qui, corrélée avec des taux de matière organique, des fines, de la saturation et du pH, varie entre les termes d'une toposéquence ou entre des aires à drainage différent (p.864) :

- Séries très rubéfiées (horizon B 2,5 YR) acides
- Séries rubéfiées (horizon B 5 YR et 7,5 YR)
- Séries brunies (horizon B 10 YR et 7,5 YR, avec une valeur inférieure à 6 et une chroma inférieure à 5)

Elles sont le plus souvent moins sableuses, plus organiques, plus acides ou plus alcalines selon le chimisme local.

La modification la plus importante du profil est due à l'apparition des accumulations discontinues et des horizons très éluviés (E) qui leur sont associés. On admet qu'elle est la conséquence d'une évolution interne du profil :

- Séries à horizon B continu
- Séries à raies; le matériel les séparant n'est pas visiblement appauvri

- Séries à horizon B discontinu; le matériel séparant raies ou bandes est fortement appauvri; elles sont de deux types :
 - . horizon B discontinu médian : A - E/B - B
 - . horizon B discontinu basal : A - B - E/B ou A - E/B

Les effets de l'hydromorphie sont subordonnés à ceux du lessivage dans les Séries à horizon B discontinu; plus généralement ils ne modifient guère la succession des horizons. L'engorgement est souvent provoqué par l'arrêt des solutions du sol par une nappe ou par le substrat :

- Séries bien drainées
- Séries à base durcie
- Séries à pseudogley
- Séries à concrétions ferrugineuses et/ou manganésifères

Il l'est aussi par l'invasion de la nappe :

- Séries à base jaunie et décolorée par la nappe (g)
- Séries à concrétionnement de nappe (stalagmiforme, tubulaire)
- Séries à amas calcaires de nappe
- Séries à alcalisation de nappe

A la limite, certaines Séries du premier Sous-Grouppe, brunies, à base blanchie par la nappe : A - B - C (g) évoluent en sols que l'on ne peut guère classer que parmi les Sols Hydromorphes à Pseudogley : A - C (g) (p. 895).

Les phases permettent de reconstituer l'histoire récente du paysage en zone sahélienne. On distingue :

- les phases tronquées où l'horizon B, alors durci, affleure
- les phases fossilisées par des apports généralement

éoliens dont l'évolution permet de les subdiviser :

- . non évoluée
- . à croûtes organiques; leur généralisation zonale produit le Sous-Faciès subdésertique
- . à horizon organique, le profil étant A - C - 2.B
- . à profil ferrugineux jeune, A - (B) - 2.B, avec raies et/ou début de rubéfaction

- les phases reconstituées, où seuls le durcissement, des discontinuités granulométriques, des artefacts indiquent une ancienne surface d'érosion

- les phases complexes où existent plusieurs séquences érosion-fossilisation-évolution

- les phases normales, qui définissent les critères de Faciès.

Par le moyen des familles, on indiquera ces variations du chimisme souvent liées à l'accumulation organique qu'on ne peut rattacher qu'à la nature du substrat ou à la présence d'une nappe et qui ont une grande importance pratique. Accessoirement, les taux d'hydroxydes se trouveront définis de la même façon. Les ensembles chronologiques et leurs subdivisions géomorphologiques (E.1, E.2, T.3, etc...) peuvent être mentionnés à ce niveau.

Sols Ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés

	Familles	Pages
<u>Faciès soudanien</u>		
<u>Séries rubéfiées (horizon B 5 YR)</u>		
Garagoumza	sables éoliens (E.2)	873
<u>Séries peu rubéfiées (horizon B 7,5 YR)</u>		
- Kornaka	sables éoliens (E.2)	884
- cuvette tchadienne	sables du Manga	893
= phase fossilisée (A-C)		905
<u>Séries rubéfiées à action de nappe en profondeur</u>		
- Dallol Bosso	sables de remblai (T.3)	911
- Tinkim	sables du Manga	902
<u>Séries peu rubéfiées à action de nappe en profondeur</u>		
- Cuvette tchadienne	sables du Manga	895
<u>Série peu rubéfiée à concrétionnement de nappe</u>		
- Kaniagoma	sables de remblai (T.3)	914

	Familles	Pages
<u>Série brunie à concrétionnement de nappe</u>		
- Tinkin	sables du Manga	902
<u>Faciès sahélien</u>		
<u>Séries rubéfiées</u>		
- Yagadji, Toudouni, Eidir	sables éoliens	876
= phase fossilisée (A-C)	(E.2)	883
- Gouré-Guidimouni	erg du Manga	879
<u>Séries peu rubéfiées</u>		
- Taguiriss, Markié	sables éoliens	884
- Toufafiram	(E.2) erg du Manga (?)	884
- Cuvette tchadienne	sables du Manga	892
= phase fossilisée (AC)		903
<u>Séries rubéfiées à action de nappe en profondeur</u>		
- Bagaroua	sables de remblai	910
	(T.3)	
<u>Séries peu rubéfiées à action de nappe en profondeur</u>		
- Cuvette tchadienne	sables du Manga	894
- Azaouak	sables de remblai	908
	(T.3)	

	Familles	Pages
<u>Séries brunies à action de nappe en profondeur</u>		
- Abala	sables éoliens (E.2)	885
- Guidimouni	erg du Manga	879
- Cuvette tchadienne	sables du Manga	894

Sols Ferrugineux Dystrophes Modaux

Faciès soudanien

Séries très rubéfiées

- vallées et plateaux du Moyen Niger	sables (E.1) sur Ct.3	709-726
- Madaroumfa	sables (E.1) de Maradi	730
- cordons	sables (E.1)	833

Séries rubéfiées

- Tanchia, Dan Gona	sables (E.1) sur Ct.3	712-726
- Bandé	sables peu acides de bordure de la cuvette	728
- ergs longitudinaux	sables (E.1) sur Crétacé, socle	769-838-847
- sous-faciès méridional	sables (E.1) sur Ct.3	718

Séries très rubéfiées à raies

- Maradi, Dan Isa, Wakasou	sables (E.1) de Maradi	739-743
----------------------------	------------------------	---------

Séries rubéfiées à raies

- Bandé	sables de bordure de la cuvette	729
- cordons	sables (E.1) sur Crétacé, socle	835-889

	Familles	Pages
- Damarké	sables (E.2) sur Ct.2	891
 <u>Séries rubéfiées à horizon B</u> <u>discontinu</u>		
- cordons	sables (E.1)	839
 <u>Séries rubéfiées à base</u> <u>jaunie (g)</u>		
- Dosso	sables (E.1) sur Ct.3	808
- plaines du Liptako	sables (E.1) sur granites	771
- Kadzel	remblai de la Komadougou	726
= phases tronquées et reconstituées		
 <u>Séries rubéfiées à concrétions</u> <u>de nappe</u>		
- vallées du Moyen Niger	sables (E.1) sur Ct.3	714
- plaines du Liptako	sables (E.1) sur socle	849
 <u>Séries rubéfiées à raies ou</u> <u>horizon B discontinu avec</u> <u>action de nappe en profondeur</u>		
- Souloulou	sables (E.1) sur Crétacé	800
- Liptako	sables (E.1) sur granites	772
- terrasses de Maradi	sables de remblai supérieur du Goulbi de Maradi	797

	Familles	Pages
<u>Séries brunies à concrétions</u>		
- Koutoumbou	Sables (E.1) sur Ct.2-3	810
- plaines sableuses	Sables (E.1) sur Crétacé	843
<u>Séries brunies à horizon B discontinu</u>		
- Samia	Sables (E.1) sur Crétacé	821
- dépressions	Sables (E.1) sur Crétacé	842
- pieds de cordons	Sables (E.2) sur socle	892
- terrasse de Maradi	Sables de remblai	797
<u>Faciès sahélien</u>		
<u>Séries très rubéfiées</u>		
- vallées du Moyen Niger	Sables (E.1) sur Ct.3	721
- Koukalata	Sables (E.1) sur Ct.1-2	766
- Damagaram	Sables (E.1) sur socle	832
<u>Séries rubéfiées</u>		
- vallées du Moyen Niger	Sables (E.1) sur Ct.3	723
- plateaux de l'Ader Douchi = phase érodée	Sables (E.1) sur Ct.1	735
- Dakoro	Sables (E.1) sur Crétacé	755
- cordons = phase à profil jeune A-(B)	Sables (E.1) sur socle	775 776

	Familles	Pages
<u>Série modale</u>		
- ergs réticulés	Sables (E.1)	858
= phase à profil jeune (A-(B))		857
<u>Séries rubéfiées à raies</u>		
- Dan Makao	Sables (E.1) sur Crétacé	749
- Chinielga (raies secondaires)	Sables (E.1) sur Ct.1-2	756
= phase tronquée		
<u>Séries rubéfiées à horizon B. discontinu</u>		
- Tagae, Belbedji	Sables (E.1) sur Crétacé	
<u>Séries rubéfiées à base jaunie</u>		
- plaines du Liptako	Sables (E.1) sur socle	781-850
<u>Séries rubéfiées à concrétions de nappe</u>		
- Ajekoria (également brunie)	Sables (E.1) sur Crétacé	814
- plaines du Liptako	Sables (E.1) sur socle	782
<u>Séries rubéfiées à amas calcaires parfois alcalisées</u>		
- Kadzel	Sables de remblai de la Komadougou	790
= phases tronquées, fossilisées		

	Familles	Pages
Série rubéfiée à horizon B discontinu et à concrétions de nappe		
- bas de pente	Sables (E.1) sur socle	779
Série brunie		
- plaines sableuses du Liptako	Sables (E.1) sur granite	782
Séries brunies à pseudogley, amas calcaires, parfois alcalisées		
- Kadzel	Sables du remblai de la Komadougou	790
Séries intermédiaires avec les sols Dystrophes Peu Différenciés		
- Ouangerbé	Sables (E.1) sur socle	849

Sols Ferrugineux Dystrophes Très Différenciés

Faciès soudanien

Séries très rubéfiées	Sables colluviaux sur Ct.3	644
Séries rubéfiées	idem	643
Séries rubéfiées à raies		
- Kouroungoussa	Sables de Maradi	651
Séries rubéfiées à concrétions		
- concrétions ferrugineuses	Sables colluviaux sur Ct.3	646

	Familles	Pages
- concrétions manganésifères	Sables sur grès Ct.1	650
Séries rubéfiées à pseudogley et/ou à concrétionnement de nappe		
- Mekrou	Sables du remblai supérieur	659
- Niger	idem	662
- Takorka	Sables colluviaux sur Crétacé	654
= phase reconstituée		
Série brunie à pseudogley	Sables du remblai supérieur de la Mekrou	660
<u>Faciès sahélien</u>		
Série très rubéfiée	Sables sur grès Ct.3	665
Séries rubéfiées à concrétions		
- concrétions ferrugineuses	Sables sur granite	667
- concrétions manganésifères Gorouol	Sables du remblai supérieur	669
= phase à profil jeune (A-(B))		
Maggia	Remblai des Maggia	683-691
= phase tronquée		
Série rubéfiée à base jaunie	Sables du remblai supérieur du Gorouol	676
Série rubéfiée à amas calcaires		676

	Familles	Pages
Série rubéfiée à pseudogley d'ensemble	Remblai des Maggia	690
Série brunie à concrétions	idem	685

**SOLS ET PEDOGENESE
AU NIGER MERIDIONAL**

M. GAVAUD

Tome 4

Chapitre XII

LES SOLS LES MOINS
DIFFERENCIÉS SUR
MATERIAUX SABLEUX :
SOLS BRUNS ET SOLS
EVOLUANT VERS LES
SOLS FERRUGINEUX

1. P R E S E N T A T I O N

Les sols ferrugineux rubéfiés disparaissent des topographies de formations sableuses encore importantes dont le drainage est actuellement excellent, comme sur les plages anciennes du lac Tchad et sur les niveaux T.2 des vallées sèches où il le fut toujours, comme sur les cordons bordant lacs et vallées. La situation de la plage de Sayam (fig. 40) et la datation en République du Tchad d'un niveau équivalent (cf. p. 540) attribuent la faible différenciation des sols bruns qui les remplacent à une jeunesse qui n'a pu effacer un héritage de sols hydromorphes dans les plaines et que l'on sait entretenue par le brassage éolien sur les cordons. On réunit cette génération de sols bruns (S.3, p. 578) à des sols d'évolution comparable situés dans les vallées sèches ou sur des édifices éoliens mineurs en un ensemble caractérisé par :

- une forte proportion de sols A-C
- une minorité de profils A-(B)-C où un début d'évolution vers les sols ferrugineux produit une rubéfaction incertaine, des raies, un accroissement des taux d'hydroxydes de fer dans les horizons (B).
- des teintes brunes

Sur la plus grande partie de ce domaine, la pluviosité est médiocre et se conjugue avec un pédoclimat très sec et la proximité d'aires à sols halomorphes pour donner des pH élevés dont on use pour classer les profils A-C parmi les Sols Subarides. La végétation indique cette propriété car l'*Acacia raddiana* et le *Salvadora persica* sont des plus communs dans la strate ligneuse, alors que la prairie sahélienne est omniprésente, pure ou en sous- strate de la steppe herbeuse psammophile. Cette dernière révèle pour sa part que les taux de fines sont aussi bas que dans la famille I des Sols Ferrugineux Dystrophes. Cette pauvreté est accompagnée d'une très grande sensibilité aux remaniements éoliens climatiques ou provoqués et fait du pâturage l'usage normal de ces sols. Il n'y a que les niveaux T.2 des Dallols à se situer suffisamment au sud pour que leurs sols soient désaturés. Le relèvement du niveau phréatique y favorise les palmeraies phréatophiles à doums et roniers ainsi que les cultures qui compensent par cette alimentation le niveau médiocre des réserves hydriques et minérales.

2. LES SOLS BRUNS DES MARGES PERILACUSTRES

2.1 MODELE

2.11 A u N i g e r

L'absence d'héritage hydromorphe caractérisé et un gradient d'évolution dû aux effets combinés de l'âge et de la pluviosité sont propres à cet ensemble dont le modelé est une succession complexe de plateformes d'abrasion ou d'accumulation et de cordons côtiers édifiés à divers niveaux par le lac (fig. 40). L'interprétation en est fondée sur la morphologie des marges lacustres actuelles (G.BOCQUIER, 1964) :

- des crêtes dunaires de l'erg transversal du Manga-Kanem forment l'archipel du lac Nord; elles sont séparées par des chenaux parallèles et étroits, prolongées sous la surface des eaux libres par des hauts-fonds à surface arasée colmatés ou séparés par des argiles et des vases (A.BOUCHARDEAU et F.LEFEVRE, 1957)
- la côte, qui réunit les plages actuelles et subactuelles (p. 3) est basse, plate, sableuse, balayée par le marnage de la crue annuelle (1,0 à 1,5 m) et par celui des fluctuations interannuelles (cotes 280,85 m à 284,25 m pendant ce dernier siècle). Sa limite aval est fortement régularisée de N'Guigni à Boso où sa direction est parallèle à la direction transversale
- la plage est fermée, à quelques centaines de mètres du rivage, par un cordon (C.3) s'élevant entre les cotes

287 et 295 m, large d'environ un kilomètre, composé d'arêtes parallèles discontinues

On retrouve des éléments de cette séquence en amont des plaines alluviales du Kadzel dans une vaste structure, dont la largeur peut atteindre 20 km, effaçant brusquement le modelé du Manga :

- à la cote 300 m, une première plateforme disposée en banquettes au-dessus des alluvions du Kadzel est divisée par de courts sinus parallèles à la direction transversale, colmatés par des limons à sulfures et par des diatomites; ce serait une plage ancienne (p. 2) à chenaux comparables à ceux qui sont actuellement situés le long du rivage du lac au nord-est de N'Guigni;
- un cordon peu élevé, culminant entre 322 et 326 m (C.2) la limite en amont; il disparaît au sud du parallèle 13° 30' N
- entre les cotes 315 et 320 m s'étend, sur dix kilomètres de largeur, une seconde plateforme, la "terrasse" de Sayam (F. PIRARD, 1961) dont l'ampleur témoigne d'une station prolongée du lac à ce niveau (p.);
- la barrière haute et rectiligne du cordon de Tal (C.1) dont les bourrelets parallèles culminent entre 340 et 350 m, clôt la plage de Sayam; large d'environ 7 km, il s'élargit au double vers le nord où il est rajeuni par des champs de barkhanes vives; la face nord-ouest obture les dépressions parallèles du Tioldé qui par leur forme étroite et sinueuse, par leur orientation au sud-est, par l'origine lacustre de leurs dépôts (argiles et diatomites) ressemblent aux chenaux bordant actuellement le lac; elles indiqueraient que le cordon se serait formé pendant une phase stationnaire succédant à une régression lacustre.

2.12

D i s p o s i t i o n d' e n s e m b l e e t
i n t e r p r é t a t i o n de la répartition des sols

Le cordon de Tal fait le tour de la cuvette tchadienne au-dessus de la cote 320 m, proche d'un rivage encore fonctionnel en 5.400 BP (SCHNEIDER, 1967) sous

des noms divers, Bama ridge, Dilewa ridge en Nigeria (A.T.GROVE et R.APULLAN, 1961 - BAWDEN et al., 1968) cordon de Limani en République du Tchad (J.PIAS et E.GUICHARD, 1957). Il est partout formé de sables fins, plus grossiers et stratifiés au voisinage des massifs rocheux. Il remplit toutes les conditions pour que la variation en latitude de ses sols soit principalement l'effet du gradient pluviométrique, à condition d'y intégrer le rajeunissement par le vent qui culmine dans les barkhanes de Tal et dans l'erg vif généralisé qui l'oblitére au nord: mise en place synchrone, héritage pédologique minimum, régime hydrique dépendant plus de l'infiltration que de la nappe. Entre 250 et 900 mm, on a observé (M.GAVAUD, 1968) :

- sur sables fins pauvres en plasma et minéraux altérables
 - . à 250 mm des Sols Eoliens et des profils bruns A-C épais de 80 cm (Sols Peu Evolués à Faciès brun)
 - . de 250 mm à 400 mm des profils bruns A-C épais de 150 cm (Sols Suberides Bruns)
 - . de 400 mm à 900 mm des profils A-(B)-C à horizon B légèrement rubéfié (7,5 YR) proches des Sols Ferrugineux Dystrophes peu Différenciés, à Faciès Sahélien jusqu'à 500 mm, Soudanien au delà
- sur sables grossiers feldspathiques
 - . à plus de 700 mm des Sols Ferrugineux Dystrophes à horizon B brun-ocre discontinu, à raies.

Les modelés situés aux cotes de la terrasse de Sayam et de ses annexes (p.I, C.2, p.2) portent deux types de sols, l'un authigène sur des formes construites, l'autre hérité sur des formes d'abrasion :

- au Niger, entre 250 et 400 mm, les sols sont les mêmes que ceux du cordon de Tal, à une proportion de Sols Eoliens plus faible près; les sables en étant différents de ceux de l'erg du Manga (pp. 66 et 92) on admet que la terrasse de Sayam a été construite et que les sols sont totalement distincts de ceux du Manga

- au nord de la République du Tchad, hors des flats alluviaux du Logone et du Chari, la plateforme de 315 m ou les "dunes de la bordure sud-ouest" culminant entre 315 et 330 m (B.DUPONT, 1967) portent les mêmes Sols Ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés à Faciès Sahélien que l'erg du Kanem, équivalent local de l'erg du Manga; la pluviosité et le matériau étant semblables à ceux de Sayam, il faut en conclure que l'héritage des sols anciens S.2 s'est mieux conservé, le modelé ayant surtout évolué par abrasion;
- on interprète de la même façon les plaines de Damasak, Chirawa, Magumeri en Nigeria (BAWDEN et al., 1968) qui, dans un secteur hors des deltas alluviaux, s'étendent de la cote 318 m à la cote 287 m, entre les isohyètes 500 mm et 650 mm; des traces d'orientation transversale sud-ouest ont été conservées; les profils sont de type A-(B)-C à horizon B 7,5 YR;
- toujours en Nigeria sur une frange aplanie située aux pieds mêmes du "Bama ridge" on a décrit un Sol Ferrugineux Dystrophe Peu Différencié à horizon B à raies (650 mm) qui se situerait dans la lignée (S.3) de Sayam

Les sols du cordon le plus récent (C.3) sont très proches de ceux du cordon de Tal sans doute parce qu'ils ont la même et simple origine :

- sur le cordon proprement dit les profils, bruns, de type A-C, sont épais de moins de 20 cm vers 250 mm (Niger) et de 60 cm vers 500 mm (Nigeria);
- immédiatement au sud de la Komadougou, des dunes basses transversales le remplacent (ergs de Gudumbali, de Banowa, HIGGINS et RAMSAY, 1960) à sols bruns A-C épais de 90 cm vers 400 mm, à sols bruns mais à profil A-(B)-C (horizon (B) 7,5 YR 5/4) vers 500 mm.

Les sols de la plage subactuelle (p.3) sont également bruns mais hydromorphes : A - C g, avec ségrégations ferrugineuses et concentrations calcaires. Il est possible que cette différenciation fut à l'origine celle des plages plus anciennes dont le matériel est également très décoloré et meuble en profondeur.

En résumé, sur des sables dont la pauvreté en plasma minéral est celle de la famille 1, se sont différenciés,

depuis au moins 5.500 ans, sur des formes construites, des profils bruns A-C jusqu'à 500 mm de pluies, des profils A-(B)-C légèrement rubéfiés (7,5 YR) parfois à raies, au delà. Ces derniers sont très proches des Sols Ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés de la génération S.2. Les sols des divers niveaux lacustres ne diffèrent guère que par leur épaisseur.

2.2 FACTEURS BIOTIQUES

Les textures très sableuses, l'aridité aggravée par l'éolisation, les pH élevés sont indiqués par la végétation. Entre 400 et 300 mm, c'est une savane lâchement arborée à *Acacia raddiana* et *Faidherbia albida*, avec *Balanites* et gommiers, à sous-strate de *Leptadenia pyrotechnica*. La strate prairiale annuelle (*Aristida mutabilis*, *Cenchrus ciliaris*, *Cenchrus biflorus*) domine les graminées vivaces (*Aristida longiflora*, *Andropogon gayanus*, *Cymbopogon schoenanthus*). On y voit quelques cultures de pénicillaires. A moins de 300 mm, le *Commiphora africana* et le *Salvadora persica* entrent dans la strate ligneuse d'où le *Faidherbia* a disparu, le *Schoenefeldia* dans la strate prairiale, le *Panicum turgidum* dans la strate steppique. Ce dernier est seul avec l'*Aristida plumosa* dans le "désert" vif de Tal.

2.3 LES SOLS EOLIENS ET LES SOLS A CROUTES ORGANIQUES

Le site et la fragilité des sols exposent les crêtes de Tal (C.1) à une vive érosion hydrique et éolienne (cf. p. 530) qui y produit les premières aires ravivées dès 300 mm et à 250 mm, à la hauteur de Nguigni, une sorte d'îlot saharien long de 40 km et large de 5 km. Les formes d'accumulation éolienne sont détruites par ravinement en saison des pluies et pour peu que le sable soit fixé par une touffe de la steppe herbeuse, il enregistre la succession des saisons par un empilement de croûtes organiques et de lits de sables particuliers.

Site de N'Guigmi (NB 83-84)

Lat. : 14° 17' 0" N.
Long. : 13° 0' 0" E.

Champ de barkhanes reposant sur un socle sableux se relevant au nord-ouest au-dessus du cours ancien de la Dillia; 225 mm.

Sol Eolien (NB 84)

Surface : revers de barkhane; ridules; rebdhou autour de touffes d'*Aristida plumosa* et de *Panicum turgidum*; entre ces monticules, surfaces de déflation à pellicule noirâtre de sables riches en minéraux lourds

0-40 cm : sables brun très clair, très fins, sans cohésion; ils coulent librement de la paroi, la friction due à la chute des grains mettant en évidence des lits plus compacts et cohérents, groupés en (moins de 0,25mm) trains de plusieurs centimètres; ils sont identiques aux accumulations relatives de grains plus lourds, plus tassés, notées en surface; le sable est nettement humide à moins de 20 cm

Sol à croûtes organiques (NB 83)

Végétation : steppe herbeuse (5 touradons/m²); couverture de 50%; *Cymbopogon* sp. (1,2m) *Panicum turgidum*, *Aristida longiflora*; sous-strate annuelle à *Aristida mutabilis* (60 cm) *Aristida stipoides*, *Carex* sp.

Surface : corne de barkhane semi-fixée; autour de chaque touffe, accumulation de sables recouverte d'une croûte organique imperméable, alimentant en hivernage un réseau de rigoles incisées de plusieurs décimètres; elle est formée d'un fin feuillage d'algues desséchées liant la surface d'une pellicule de sables compactés

0-5 cm : brun pâle; succession de croûtes organiques identiques à celle qui se trouve en surface, noirâtres et de lits de sables fins; porosité intergranulaire; cohésion faible
(A)

5-14 cm : sables fins brun très clair lités comme dans le sol éolien précité; particulaires
C

14-25 cm : brun clair; sables parcourus de nombreuses
(A) b lignes noirâtres; débit nuciforme; cohésion
très faible

25-43 cm : brun très clair; sables fins homogènes parti-
C culaires

Ces sables vifs diffèrent beaucoup des sables des horizons C des dunes fixées : ils sont moins colorés, finement lités, particuliers sans cohésion. De même leurs caractéristiques analytiques sont autres : il n'y a pratiquement pas de fines, le rapport du fer libre au fer total descend au dessous de 30%. Ce sont ces observations qui nous avaient fait admettre que le "matériau" des dunes méridionales, aussi profond fut-il, était déjà pédologiquement évolué (pp. 497-586). Les horizons à croûtes sont plus riches en matière organique, les taux étant cependant des plus petits avec des C/N fort bas. Ils sont également plus riches en fer car pendant les périodes de fixation, les lits enrichis par la déflation en grains plus lourds sont relativement plus nombreux. Les pH élevés, atteignant 8, les fortes proportions de calcium peuvent être attribués aux chutes de poudres éoliennes carbonatées qui se produisent dans la région. Ils indiquent une absence de lessivage qui, jointe aux taux très bas de matière organique, situent les sols à croûtes parmi les Sols Gris Subdésertiques.

2.4. LES SOLS A-C BRUNS

Leur épaisseur croît à proportion de l'âge, de la pluviosité, de la diminution de la fréquence des remaniements éoliens du cordon récent (C.3) au cordon de Tal, du nord-est au sud-ouest, des cordons aux plages.

Site de Nguigmi-Kabelawa (NB 88)

Lat. : 14° 09' 20" N.
Long. : 13° 01' 0" E.
Cote : 292 m

Sommet du cordon récent; replat; au dessous: pente de 13%; savane arborée à *Acacia raddiana* et *Salvadora persica* sur steppe à *Panicum turgidum* et *Pennisetum* sp.; 240 mm

Surface : 6 cm de sables particulaires

0-17 cm : brun très clair (10 YR 6,5/3); très sableux; débit nuciforme; cohésion faible; forte porosité intergranulaire; chevelu radicaire abondant
A

17-52 cm : brun-jaune très clair (10 YR 7,5/4); très sableux; débit régulier; cohésion très faible (particulaire); enracinement très fin, dense, vertical
C

Ce profil illustre le minimum de différenciation propre au cordon récent et à la partie nord du cordon le plus ancien. L'horizon A à matière organique bien incorporée est plus riche en carbone et en fines que les horizons à croûte, les taux de fer restant comparables, ainsi que la saturation. Cet enrichissement est encore sensible dans ce qui est morphologiquement un horizon C.

Site de Sayam-Kabelawa (NB 69)

Lat. : 13° 55' 12" N.

Long. : 12° 47' 6" E.

Terrasse de Sayam; surface légèrement mamelonnée; savane arborée à *Acacia raddiana*, *Commiphora*, *Salvadora*; 280 mm.

Surface : 4 cm de sables particulaires brun-jaune recouverts d'une pellicule de poudres éoliennes grises

0-3 cm : brun grisâtre (10 YR 5,5/2); lits de matière organique séparés par des sables fins brun très clair; cohésion moyenne à faible; nombreuses radicelles
(A)

3-10 cm : brun (10 YR 5,5/3); très sableux; débit régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire moyenne; chevelu radicaire abondant
A.11

10-85 cm : s'éclaircit très progressivement en brun-jaune clair (10 YR 6/3,5); très sableux; particulaire; radicelles très fines, verticales
A.12

85-110 cm : teinte s'éclaircissant plus rapidement

110-220 .. Sables particuliers blanc jaunâtre (10 YR
C 7,5/3)

Ce sol moyen des "terrasses" s'accroît en surface par l'enfouissement de croûtes pluviales et de débris organiques sous des rejets de terriers. Il ne compte qu'un horizon dont la matière organique très minéralisée se dilue très progressivement dans le matériau. L'enrichissement par rapport à ce dernier en fines et oxydes de fer est plus prononcé que dans le type précédent. Le gain de l'horizon C par rapport aux sables vifs est ici appréciable, mais il peut être nul à des profondeurs comparables. Les sols plus méridionaux ne diffèrent que par une épaisseur plus élevée (jusqu'à 145 cm) une teinte légèrement plus vive (10 YR 5/4 à 15 cm) pour des données analytiques analogues. Un début de rubéfaction n'apparaît que sur une partie externe du cordon de Tal, tout au sud, près de Maine Soroa :

site de Maine Soroa (NB 58)

Lat. : 13° 9' 24" N.
Long. : 12° 47' 6" E.

Partie la plus élevée et la plus externe du cordon de Tal; sommet de bourrelet; savane arborée à *Acacia radiana*, *Faidherbia*, gommiers; prairie dégradée à *Aristida mutabilis*; 420 mm.

- Surface : 5 cm de sables particuliers; nombreux rejets
- 0-5 cm : brun-jaune (10 YR 5,5/4); très sableux; débit légèrement feuilleté ou nuciforme; cohésion faible; porosité intergranulaire très fine; chevelu radiculaire dense
- A.11
- 5-15 cm : brun-jaune (10 YR 5/4); très sableux; débit régulier; cohésion faible; moins poreux; moins de racines
- A.12
- 15-33 cm : brun-jaune rougeâtre; remplissages de terriers plus bruns; très sableux; débit régulier; cohésion plus faible; chevelu radiculaire encore abondant
- A-(B)

33-100 cm : jaune rougeâtre (7,5 YR 5,5/6); très sa-
(B) bleux; particulière

100-150 cm : brun très pâle (10 YR 8/4); particulière
C

150-220 cm : brun très pâle (10 YR 7/3); particulière
C

L'évolution vers les Sols Ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés se traduit par la rubéfaction et par une légère accumulation des hydroxydes de fer dans la partie inférieure du profil, les taux de ces derniers n'étant pas des plus élevés cependant. Le Faciès est encore Sahélien bien que la pluviosité plus forte ait entraîné une légère désaturation. Sur le terrain, le passage des sols bruns aux sols rubéfiés n'est pas absolument continu, la coloration pouvant n'apparaître, brusquement, que sur la dernière ride surplombant les dépressions ou plaines sableuses du Tioldé. Bien qu'à l'échelle de la cuvette tchadienne cette transformation soit l'effet de la pluviosité, localement l'héritage ou l'âge ont pu intervenir.

2.5

LES SOLS BRUNS DU REMBLAI DU KADZEL

Les plaines à sols rubéfiés du Kadzel (cf. p. 784) sont parsemées de buttes sableuses d'une élévation inférieure à 5 m d'origine présumée éolienne. Sur un matériel arénacé dont la finesse et l'homogénéité sont celles des alluvions locales mais dont la pauvreté en fines est celle des apports éoliens récents, se développent des sols bruns analogues aux profils les plus évolués de la terrasse de Sayam. Leur épaisseur excède 120 cm, la teinte brune est relativement vive (10 YR 5/4,5). L'horizon A₁₁ est plus organique (M = 0,4%) légèrement acide (V = 100, pH = 6,8). Une évolution analogue mais moins prononcée s'observe sur les phases sableuses en position de bon drainage externe (levées) des alluvions plus récentes que le remblai à sols rouges, situées entre ce dernier et le cordon récent.

Le changement de couleur et l'effacement du litage, hors de la surface où il peut être entretenu, sur une épaisseur de plus en plus grande, font toute la transformation morphologique des Sols Eoliens en Sols Subarides Bruns, transformation réversible admettant les Sols Gris Subdésertiques à croûtes organiques comme transition où le développement des racines, l'activité des animaux fouisseurs ne suffisent pas à homogénéiser un horizon A. Les données analytiques évoluent ainsi :

- les taux de matière organique passent de 0,1% dans les horizons à croûtes à 0,25% dans les horizons A; les C/N croissent de 8 à 10
- les taux de fines (A + L) passent de moins de 1% dans les sables vifs à près de 5%
- le fer libre croît parallèlement de moins de 0,15% à 0,45%, le rapport du fer libre au fer total de 20-50 à 45-70%
- la répartition verticale du plasma minéral, d'homogène au départ (à l'échelle des prélèvements) devient enrichie par rapport au matériau, parfois avec un léger maximum vers 20 cm de profondeur dans les sols bruns les plus épais
- la saturation diminue légèrement de 100 à un minimum voisin de 85%, les horizons C restant saturés; la somme des bases échangeables croît en conséquence moins vite que les fines de 1,2-2,6 méq à 1,9-3,4; les pH, de l'ordre de 8 dans les sables vifs, ne conservent cette valeur que dans les horizons C et s'abaissent jusqu'à 7,2 en surface.

L'accumulation des fines, dont le seul mécanisme pressenti est l'inclusion de poudres éoliennes, les portent aux mêmes taux que dans les sols plus colorés du Manga. Leur concentration dans un horizon B et la rubéfaction de ce dernier ne sont acquises que plus difficilement, sur les parties anciennes et/ou les plus arrosées des marges périlacustres.

3. LES SOLS BRUNS DES
CORDONS DE VALLEES

Des cordons à sols juvéniles bruns longent parfois les Dallols et Goulbis. Leur ressemblance typologique avec les sols péri-tchadiens les a fait attribuer à la génération S.3. Cette jeunesse est confirmée pour le cordon latéral de l'Azaouak (cf. pp. 552 et 557) dont les sables sont issus des niveaux T (cf. p. 77) par la présence de poteries dans le profil :

site de Tigezefen (NI 55)

Lat. : 15° 13' 40" N.
Long. : 3° 20' 30" E.

Cordon éolien en rive ouest de l'Azaouak (+ 15 à 20 m);
1/3 supérieur; pente de 6%; steppe herbeuse à *Aristida longiflora*, *Hyparrhenia dissoluta*; quelques *Acacia rad-*
diana; 350 mm de pluies

Surface : 5 cm de sables particuliers brun clair

0-43 cm : brun (7,5 YR 5/5); très sableux; nuciforme
A (1-5 cm); cohésion moyenne à faible; bonne
porosité intergranulaire

M = 0,13 A = 3,5 Fl = 0,85 S = 1,09 pH = 7,2
C/N = 11,4 L = 1,5 Fl/Ft = 58 Ca = 0,65 V = 100

43-110 cm : brun vif (7,5 YR 5/7); très sableux; divisé
par les racines en blocs de 15 cm; débit ré-
gulier; cohésion faible; porosité plus fine,
A.C de matériau

M = 0,07 A = 3,5 Fl = 0,89 S = 1,01 pH = 7,1
C/N = 8,9 L = 1,5 Fl/Ft = 62 Ca = 0,60 V = 100

110-200 .. : brun clair (7,5 YR 5,5/6, approximatif);
C très sableux; débit très régulier; cohésion
faible à moyenne; même porosité
M = 0,07 A = 3,5 Fl = 0,83 S = 1,05 pH = 7,1
C/N = 10 L = 1,0 Fl/Ft = 63 Ca = 0,50 V = 100

artefacts débris de poteries entre 5 et 200 cm

Une très faible infiltration organique, une légère accumulation de fer libre dans l'horizon AC, le plus coloré, font toute l'évolution de ce profil que l'on classe encore parmi les Sols Subarides parce que brun et saturé. Un sol analogue, épais de 55 cm, brun clair (7,5 YR 6/5) également pauvre en matière organique (M = 0,14, C/N = 7,3) et près d'être saturé (pH = 6,8, V = 80) a été décrit sur le cordon de la rive sud du Goulbi N'Kaba, au nord de Marédi (pluviosité de 550 mm).

4. LES SOLS BRUNS A CARACTERES HYDROMORPHES HERITES ET LES SOLS EVOLUANT VERS LES SOLS FERRUGINEUX DES NIVEAUX T.2 DES GOULBIS

4.1 PHYSIOGRAPHIE

Le flat des Goulbis (p. 546) est une nappe de sables grossiers (p. 57) gris ou bruns où le niveau phréatique est actuellement trop profond pour atteindre le profil, sauf en des sections limitées d'amont. Entre 350 et 600 mm de pluies, ils sont couverts de la même palmeraie d'*Hyphaene thebaica*, à sous-strate de *Sclerocarya*

birrhea et Bauhinia reticulata, à tapis graminéen d'Aristida longiflora et de Cenchrus biflorus. Au nord, des Acacia raddiana s'y mêlent ainsi que, jusqu'à 500 mm, des Commiphora africana, des Balanites, des gommiers, accompagnés de l'Aristida mutabilis et de Schoenefeldia gracilis. Les Faidherbia et Combretum glutinosum sont communs à plus de 450 mm; le Ctenium elegans n'apparaît que tout au sud. Les cultures ne sont pas très fréquentes, parfois totalement absentes comme dans le cours aval du Goulbi de Tarka.

Les sols ne varient guère en latitude mais se répartissent entre deux types, l'un A-C g, l'autre A-(B)-C g, qui ont permis de discerner deux sortes de site dans le mame-lonnement confus et apparemment indifférencié du modelé. Une banquette, souvent latérale, plus plane et plus élevée de un à deux mètres porte des sols évoluant vers les Sols Ferrugineux Dystrophes. Les sites plus déprimés, parcourus d'anciens chenaux d'écoulement très peu distincts, sont couverts de sols à engorgement de nappe inactuels.

4.2

LES SOLS BRUNS A CARACTERES HYDROMORPHES HERITES

Site de Karofane (NE 23)

Lat. : 14° 20' 39" N.
 Long. : 6° 13' 20" E.
 Cote : 325 m

Vallée de Tarka; savane arborée à Hyphaene, Sclerocarya, Combretum glutinosum; prairie à Schoenefeldia et Aristida mutabilis; 46C mm

Surface : 1 cm de sables particuliers; rejets gris foncé

0-45 cm : gris foncé (10 YR 4/1); sableux; débit à tendance lamellaire (2 mm) légèrement mamelonné;
 A.11 cohésion moyenne; porosité intersticielle fine bien développée

45-95 cm : gris très foncé (10 YR 3,5/1); sableux; débit mamelonné; cohésion moyenne à forte au sommet,

A.12 Ca moyenne à faible à la base; amas calcaires pulvérulents sur les dix derniers centimètres

95-150 .. blanc grisâtre (10 YR 7/1) la décoloration apparaissant en 20 cm; très sableux; particulaire; galeries et trous de racines diversément emplis :

C g

- sables légèrement agrégés
- pseudomycelium calcaire
- sables légèrement cimentés par une argile grise à fines taches jaunes, formant des pédotubules verticales ($\emptyset = 0,5-2$ cm)

L'horizon décoloré très pauvre en argile et en fer est interprété comme le magasin de la nappe qui a déposé des carbonates à la base des horizons A, dont la teinte très sombre est également tenue pour un héritage de l'hydromorphie ancienne. Les taux de matière organique n'y dépassent toutefois que de très peu ($M = 0,4$ contre $0,3$) la norme correspondant à la texture et à la pluviosité de sols sableux bien drainés, leur répartition y étant également du même type décroissant. La moyenne des sols A-C a été mieux drainée que ce type extrême : l'horizon blanc et particulaire C g est plus profond (120-130 cm); il ne renferme pas de ségrégations; la couleur des horizons A est plus brune, tant en surface (10 YR 4-5/2-3) qu'en profondeur (10 YR 4/2 et 5/3-4); les taux de matière organique sont plus faibles ($M = 0,24-0,35\%$). Les dépôts de carbonates sont inconstants, généralement absents, les pH correspondants étant alors moins élevés ($pH = 6,3-7,2$). On peut cependant attribuer à la nappe le fait que dans l'ensemble les profils sont saturés et calciques.

4.3

LES SOLS EVOLUANT VERS LES SOLS FERRUGINEUX

A PROFIL A-(B)-C

Site de Mayahi (ND 45)

Lat. : 13° 58' 09" N.
 Long. : 7° 34' 53" E.

Banquette bordant la rive nord du Goulbi N'Kaba, plane;

cultures avec réserves de *Faidherbia*, *Boscia salicifolia*, *Hyphaene thebaica*; 550 mm.

- Surface : 5 cm de sables particuliers
- 0-15 cm : brun (10 YR 5,5/3); stries flexueuses (0,5 mm) jaunâtres; très sableux; débit très régulier; porosité intersticielle fine moyennement développée
- A.11
- 15-30 cm : brun (10 YR 5/3); raies homochromes très peu distinctes; très sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne à faible; moins poreux
- A.12
- 30-55 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); taches plus foncées très diffuses; raies très fines, légèrement plus colorées (e = 0,1 cm, d = 5 cm); très sableux; débit régulier; même porosité; est très humide (28.1.1963)
- (B).1
- 55-90 cm : brun rougeâtre (5 YR 4/4); homogène; très sableux; même structure et porosité
- (B).2
- 90-160 .. : brun-jaune clair (10 YR 6,5/4); à - 135 cm une raie de 2 cm à limites diffuses de la même couleur que la base de l'horizon sus-jacent; très sableux; débit régulier; très humide; des taches diffuses jaunes à la base
- B-C (g)

Enracinement : niveau de concentration des radicelles vers 70 cm

La mobilité plasmique décelée par les stries et les raies est accompagnée d'une légère concentration des fines et du fer dans les horizons (B) qui sont également légèrement rubéfiés. La plupart des données analytiques des sols A-C, dont la saturation et la répartition de la matière organique, sont conservées. Il existe des intermédiaires morphologiques qui ne possèdent pas encore l'horizon (B).2 brun-rouge mais où la concentration ferrugineuse se dessine :

site de Karofane (NE 25)

Lat. : 14° 21' 57" N.
Long. : 6° 15' 46" E.
Cote : 329 m

Banquette en rive sud-est de la vallée de Tarka; jachère à Sclerocarya, Balanites, Callotropis; 480 mm

Surface : croûte pluviale recouverte de 3 cm de sables particulaires

0-4 cm : brun (10 YR 5/3); stries ondulées; très
A.11 p sableux; débit légèrement lamellaire; cohésion faible à moyenne; peu poreux

M = 0,27 A = 3,0 Fl = 0,40 S = 2,28 pH = 6,8
C/N = 10 L = 2,5 Fl/Ft = 65 Ca = 1,32 V = 91

4-22 cm : brun foncé (10 YR 4/2,5); sableux; débit
A.12 légèrement mamelonné; même cohésion; porosité intergranulaire plus forte

M = 0,23 A = 4,0 Fl = 0,43 S = 2,62 pH = 6,7
C/N = 10 L = 1,7 Fl/Ft = 78 Ca = 1,52 V = 100

22-70 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); sableux; débit plus
(B) irrégulier, cohésion plus faible: plus poreux

M = 0,21 A = 3,5 Fl = 0,49 S = 2,86 pH = 6,8
C/N = 7 L = 0,8 Fl/Ft = 70 Ca = 2,40 V = 100

70-130 cm : brun-jaune clair (10 YR 6/4); très sableux;
(B)-C débit régulier; cohésion faible à moyenne; moins poreux

M = 0,09 A = 0,5 Fl = 0,20 S = 1,48 pH = 6,4
C/N = 6,3 L = 0,2 Fl/Ft = 65 Ca = 0,76 V = 100

130-200 cm : blanc (10 YR 7,5/3); cutines et remplissages
C g de pores jaunes; débit régulier; cohésion moyenne

M = 0,09 A = 0 Fl = 0,19 S = 1,22 pH = 6,5
C/N = 5,0 L = 0,3 Fl/Ft = 61 Ca = 0,60 V = 100

Par suite d'apports latéraux, le régime hydrique de ces sols est encore relativement humide alors que la nappe a complètement disparu de la partie centrale des Goulbis. Par cette propriété, et leur couleur, ils se rapprochent des termes inférieurs des toposéquences de Sols Ferrugineux Dystrophes, plus particulièrement de ceux des dépressions de la cuvette tchadienne (cf. p. 895). En dépit d'une bonne ressemblance formelle avec des Sols Subarides Brun-Rouge dans leur définition originale (R. MAIGNIEN, 1959) ils se situent encore dans la lignée des Sols Ferrugineux car le lessivage et l'accumulation du fer et de l'argile n'y sont pas exclusifs d'un

complexe saturé et calcique, d'horizons A épais, de teintes à dominantes brunes (cf. Série d'Ajekoria, p. 814).

4.4 LES SOLS HYDROMORPHES ACTUELS

Les chenaux (T.1) de l'amont d'un affluent du Goulbi N'Kaba, le Goulbi de Guezaoua, sont encore alimentés en eau de façon permanente par les grès continentaux de la région de Korgom. Leurs sols, foncés, à profil A-C, à base pauvre en fines et engorgée sont effectivement comparables aux sols de Goulbi desséchés :

site de Gangara (ND 99)

Lat. : 13° 23' 28" N.
Long. : 7° 58' 53" E.

Chenal; graminées et cypéracées hydrophiles; 650 mm de pluies

Surface : pellicule d'algues rougeâtres; nombreux rejets

O-6 cm : brun grisâtre (2,5 YR 5/2 en sec); rejets brun
A.11 g jaunâtre; sableux; très humide; nombreuses racines, gainées de rouge

6-15 cm : un peu plus foncé; ségrégations ferrugineuses
A.12 g plus contrastées

à 6 cm :
M = 0,52 A = 6,6 Fl = 0,50 S = 1,30 pH = 5,7
C/N = 11,1 L = 5,4 Fl/Ft = 56 Ca = 1,30 V = 55

15-40 cm : gris-brun clair (10 YR 6,5/2); très sableux;
C g très humide; nappe phréatique à 38 cm
M = 0,10 A = 2,0 Fl = 0,17 S = 1,35 pH = 5,3
C/N = 11,1 L = 0,5 Fl/Ft = 41 Ca = 0,54 V = 68

L'acidité plus grande est due à ce que les grès locaux (Ct.3) sont plus pauvres en base que le Crétacé qui forme l'essentiel du bassin des Goulbis. Quant aux sols du niveau T.2 local, ils ont déjà l'aspect qu'ils ont partout (ND 98) :

0-20 cm : brun pâle (10 YR 6/3)

A.11
M = 0,25 A = 3,0 Fl = 0,26 S = 1,53 pH = 6,4
C/N = 10 L = 1,7 Fl/Ft = 52 Ca = 0,89 V = 59

20-50 cm : brun (10 YR 5/3)

A.12
M = 0,21 A = 3,5 Fl = 0,39 S = 1,35 pH = 6,1
C/N = 10,9 L = 2,0 Fl/Ft = 63 Ca = 0,71 V = 38

50-90 cm : brun-jaune clair (10 YR 6/4)

A-C

90-120 cm : jeune clair (10 YR 8/6)

C-(g)
M = 0,09 A = 2,0 Fl = 0,15 S = 1,24 pH = 7,1
C/N = 8,3 L = 1,0 Fl/Ft = 39 Ca = 0,65 V = 69

Ce sol est régulièrement cultivé bien que ses réserves hydriques soient dérisoires et qu'il ait un défaut supplémentaire, que l'on retrouvera dans les Dallols et que ne possède pas la majorité des sols de Goulbi, une grande pauvreté en bases. Cette aptitude est probablement la conséquence d'un régime hydrique particulièrement favorable.

5. LES SOLS BRUNS A CARACTERES
HYDROMORPHES HERITES ET LES
SOLS EVOLUANT VERS LES SOLS FERRUGINEUX DES NIVEAUX
T.2 DES DALLOLS

5.1 PHYSIOGRAPHIE

Les sables grossiers des Dallols (p. 57) apparaissent

en buttes basses (cf. p. 547) à surface extrêmement ameublée de tonalité générale gris jaunâtre, entre les sables plus fins et rubéfiés des niveaux T.3 et les dépressions T.1, souvent et largement colmatées d'argiles et de sables argileux noirs. Au nord, dans l'Azaouak, ils ont été en grande partie fossilisés par des argiles alcalisées de l'Irhazer, dépôt dont la mise en place a grandement influencé leur évolution. Ils sont brunis, leurs pH sont élevés, leur texture est irrégulièrement moins sableuse, caractères révélés par la végétation. Une prairie d'*Aristida mutabilis* parsemée de gommiers, de *Salvadora*, de *Balanites* s'étend sur les aires les plus éloignées des flats argileux au contact desquels elle est remplacée par des bois armés à *Seyal*, *Acacia raddiana*, avec prairie à *Schoenefeldia*. L'importance relative du niveau T.2 croît vers le sud où il peut être presque exclusif comme dans le cours aval du Dallol Maouri. Les sols en sont alors acides et évoluent vers les sols ferrugineux. La palmeraie à *Hyphaene*, malheureusement recépée sans être détruite, peut les envahir sur la moitié de leur surface de ses fourrés impénétrables (Dallol Bosso). Des *Faidherbia*, *Parinari*, *Combretum glutinosum*, *Bauhinia reticulata* peuplent lâchement les espaces libres, à tapis graminéen complexe où se mêlent des espèces de la prairie soudanienne (*Ctenium*, *Loudetia hordeiformis*) de la prairie sahélienne (*Cenchrus*, *Aristida mutabilis*) des steppes et savanes vivaces : *Aristida longiflora*, *Andropogon gayanus*. Tout en aval, vers 750 mm de pluies, la nappe apparaît à la base des profils qui restent cependant acides parce que trop sableux, la salure se localisant dans les mares ou dans les dépôts argileux. Le *Borassus* et quelques autres espèces méridionales (*Vitex*) sont caractéristiques de la formation, alors très généralement cultivées.

5.2 LES SOLS BRUNS DE L'AZAOUAK

Site de Chim Berkawan (NI 51)

Lat. : 15° 12' 50" N.

Long. : 3° 28' 0" E.

Plaine sableuse à buttes basses (0,5 m); prairie à *Aristida mutabilis*, avec *Commiphora* et *Salvadora*; pâturage; 350 mm.

- Surface : 1 cm de sables particulaires; petites termitières
- 0-20 cm : brun (7,5 YR 5/5); très sableux; structure
A nuciforme (3-15 cm) due aux racines; cohésion moyenne; très poreux
- Contraste très faible; transition graduelle
- 20-110 cm : brun vif (7,5 YR 5/6); très sableux; la
(B) ? structure nuciforme disparaît à 33 cm, est remplacée par un débit légèrement mamelonné; cohésion devenant brusquement faible au dessous de 33 cm; même porosité
- Contraste faible; transition graduelle
- 110-200 .. : jaune clair (10 YR 6,5/6); très sableux;
C (g) débit régulier, cohésion faible; franchement particulière au dessous de 170 cm
- Enracinement dense et bien réparti jusqu'à 20 cm; décroît fortement au dessous de 70 cm; quelques racines jusqu'à 200 cm

Des teintes neutres variant très progressivement, une structure résultant du seul foisonnement des racines, des taux de matière organique très faibles et décroissants, une répartition plasmique de type enrichi, des pH proches de la neutralité, des taux de bases médiocres et maxima en surface, caractérisent ce type des plaines sableuses éloignées des flats argileux que l'on convient de classer du fait de son apparence et de sa réaction, parmi les Sols Bruns Subarides.

Les sols situés dans l'aire recreusée par l'écoulement lié aux dépôts argileux sont complexes, superposant une phase supérieure, toujours saturée parfois moins sableuse, à une phase inférieure d'évolution ferrugineuse, parfois acide :

site d'Abala (NE 74)

Lat. : 14° 55' 10" N.
Long. : 3° 27' 10" E.
Cote : 237 m.

Plaine sableuse très faiblement ondulée (0,5 m); sommet de butte; peuplement de Balanites et d'Acacia adstringens sur prairie à Cenchrus, Aristida mutabilis; 390 mm.

Surface : 4 cm de sables gris particulières

0-20 cm : gris-brun (10 YR 4,5/3); très sableux; débit régulier; cohésion moyenne; très poreux

A.11
M = 0,20 A = 2,5 Fl = 0,34 S = 1,15 pH = 7,1
C/N = 10,4 L = 2,5 Fl/Ft = 58 Ca = 0,63 V = 96

20-73 cm : brun (7,5 YR 5/5); sableux; débit légèrement mamelonné; cohésion moyenne à forte; porosité plus grossière

A.12
M = 0,10 A = 4,5 Fl = 0,38 S = 1,09 pH = 7,2
C/N = 9,2 L = 2,5 Fl/Ft = 57 Ca = 0,63 V = 100

73-129 cm : brun vif (7,5 YR 5/6); sableux; quelques graviers; débit mamelonné; cohésion plus forte; même porosité

2. (B)
M = 0,07 A = 4,5 Fl = 0,56 S = 0,74 pH = 4,9
C/N = 6,2 L = 4,0 Fl/Ft = 62 Ca = 0,20 V = 70

129-200 .. : brun vif (7,5 YR 5/6); sableux, avec 6% de graviers; des raies rouges (5 YR 4/8) de 1 cm; débit régulier; cohésion forte; même porosité

B
M = 0,07 A = 7,5 Fl = 0,62 S = 1,0 pH = 5,6
C/N = 4,2 L = 2,5 Fl/Ft = 48 Ca = 0,44 V = 80

Ces sols, qui ont quelque affinité avec les profils des banquettes des Goulbi, passent à des profils A-C également complexes où une action de nappe s'est manifestée par le durcissement, par le dépôt de carbonate de calcium ou de sels plus solubles (carbonate et sulfate de sodium, ou sulfate de magnésium, selon le lieu) par du pseudogley, dans des dépressions.

5.3

LES SOIS A FACIES FERRUGINEUX DES PARTIES
MÉRIDIIONALES DES DALLOLS BOSSO ET MAOURI

Site de Sabon Birni (NJ 76)

Lat. : 11° 52' 30" N.
Long. : 3° 36' 40" E.
Cote : 168 m

Aval du Dallol Maouri; plaine sableuse basse faiblement ondulée (1 m); palmeraie claire à *Borrasmus*, avec *Parinari*; 870 mm.

- Surface : sables particulaires gris; rejets brun vif
- 0-26 cm : brun-jaune (10 YR 4,5/4); très sableux; débit
A.11 régulier; cohésion faible; porosité intergranulaire très fine et forte
- Contraste faible, transition de 10 cm
- 26-46 cm : brun-jaune (10 YR 5/4); très sableux; débit
A.12 régulier; cohésion très faible; même porosité
- Contraste moyen, transition de 10 cm
- 46-89 cm : brun vif (7,5 YR 5/5): très sableux; particu-
(B) laire
- 89-130 cm : horizon de transition, boulant
- 130-160 .. : sables boullants (humides, frange capillaire)
C (g) en jaune clair (10 YR 7/6); quelques concrétions ferrugineuses brun-rouge et jaune

Ce type de sol est suffisamment répandu et homogène pour qu'il soit possible d'en donner une synthèse :

Horizon A.11

- 10 à 25 cm
- brun ou brun-jaune (10 YR 4-5/3-4-5)
- très sableux, comme l'ensemble du solum
- débit régulier; structure rarement nuciforme; cohésion faible; porosité intergranulaire très fine et forte

Horizon A.12

- 20 à 35 cm
- brun-jaune ou brun vif (10 YR 4-5-6/4-5, 7,5 YR 5/5)
- débit régulier ou légèrement mamelonné; cohésion très faible ou faible; porosité souvent plus grossière

Horizon (B) de couleur

- 26 à 53 cm; sommet entre 40 et 55 cm
- brun-jaune (10 YR 5/6) brun vif (7,5 YR 5/5-7) jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8)
- particulière, sauf si l'horizon sous-jacent est concrétionné (débit mamelonné)

Horizon (B)-C (g)

- 40 à 60 cm; sommet entre 80 et 90 cm
- jaune plus ou moins vif et clair (10 YR 6-7/6-8)
- particulière, souvent bouillant
- concrétions ferrugineuses tubulaires coalescentes (Dallol Maouri)

Horizon C (g)

- sommet entre 125 et 130 cm
- particulière, bouillant
- parfois concrétions ferrugineuses (Dallol Maouri)

L'analogie avec les Sols Ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés, à Faciès Soudanien, à action de nappe en profondeur (cf. p. 895 et 915) est évidente. La différenciation structurale est réduite au minimum par la pauvreté extrême en plasma minéral. Les taux d'hydroxydes de fer sont toujours maxima en (B) ou B-C, cela ne se produisant qu'une fois sur deux pour les fines. La désaturation d'un tel matériel réduit à rien les bases échangeables, qui sont concentrées par la végétation en A.11. Elle est l'effet du lessivage pluvial et de la texture qui empêchent que soient retenus les sels déposés par évaporation au toit de la nappe. Il suffit en effet d'un mince écran perméable pour qu'elle soit atténuée. Dans le même site de Sabon Birni, dans une dépression située deux mètres plus bas, un mince placage sablo-argileux, de 17 cm, à hydromorphie pluviale, recouvre les sables, eux-mêmes décolorés par le gley temporaire de surface (10 YR 6/1). La frange capillaire était lors du prélèvement à 45 cm, la nappe à 105 cm de la surface (avril 1964) :

Cotes (cm)	5	20	105
argile (%)	17	1,0	0,5
pH	6,0	6,5	4,2
saturation (%)	80	83	65
somme des bases	10,6	1,1	0,6
conductivité de l'extrait saturé, en mmhos/cm (25°)	6,0	0,4	
Ions solubles (en % du total exprimé en milliéquivalents)			
SO ₄ ⁼	47	68	
Cl -	53	32	(le sable retient les sels les moins solubles)
Ca	35	20	
Mg	30	74	
Na	35	6	
Somme	7méq	0,5	

La fréquence des cultures sur un pareil substrat ne peut guère s'expliquer que par cette alimentation phréatique.

5.4

LES SOLS DU REMBLAI DU NIGER

Les sables grossiers de la "basse terrasse" de Sya portent exactement les mêmes sols ferrugineux peu évolués que les niveaux T.2 et leurs caractéristiques se situent dans les mêmes limites de variations. Quant aux buttes sableuses étirées dans le lit majeur, elles ont évolué en sols bruns à profil A-C :

site de Niamey (NN 45)

Lat. : 13° 28' 0" N.

Long. : 2° 7' 0" E.

Butte dominant de 4 m le flat du lit majeur qui s'y emboîte; palmeraie d'Hyphaene; 560 mm.

Surface : sables particuliers

0-28 cm : brun foncé (10 YR 4/3); très sableux; particulaire; très finement poreux
 A p

Contraste fort, transition de 5 cm

M	= 0,22	A	= 1,8	Fl	= 0,90	S	= 1,24	pH	= 6,2
C/N	= 14,4	L	= 1,3	Fl/Ft	= 60	Ca	= 0,91	V	= 100

28-65 cm : brun plus foncé (10 YR 3/3); sableux; débit mamelonné; cohésion très faible; moins poreux
 A

M	= 0,26	A	= 3,8	Fl	= 0,94	S	= 2,35	pH	= 6,7
C/N	= 12,5	L	= 1,7	Fl/Ft	= 60	Ca	= 1,96	V	= 85

65-210 cm : couleur devenant très progressivement brun-jaune (10 YR 4/4 à 140 cm); sableux; débit régulier; cohésion très faible; moins poreux
 A-C

210-330 .. : jaune-brun (10 YR 5/8); sables grossiers particulaires
 C (g)

à 320 cm :

M	= 0,03	A	= 3,0	Fl	= 0,93	S	= 2,43	pH	= 8,3
C/N	= 6,7	L	= 0,5	Fl/Ft	= 60	Ca	= 1,42	V	= 100

6. CONCLUSIONS

6.1 EVOLUTION RECENTE ET SUBACTUELLE DE MATERIAUX

TRES SABLEUX

La plupart des processus pédogénétiques sont communs aux sols les plus récents de cet ensemble, tels ceux des crêtes dunaires ravivées étudiés dans le chapitre précédent, et aux sols les plus anciens, bien que ces derniers soient âgés de près de six millénaires sur la marge périlacustre

de Tal, si ce n'est davantage sur les niveaux T.2, et qu'ils aient été initialement plus arrosés que de nos jours. Le bilan des acquisitions pédologiques de ces matériaux très sableux est ainsi la meilleure estimation que nous ayons des pédogenèses récentes et subactuelles. Il diffère selon le régime hydrique estimé :

6.11 D r a i n a g e l i b r e

- les taux et la répartition de la matière organique sont les mêmes que dans les sols plus évolués S.2, à pluviosité égale
- le solum est enrichi en fines et en hydroxydes de fer
- à plus de 400 ou 500 mm actuels, une légère rubéfaction apparaît dans un horizon (B) (7,5 YR 5/4-6) accompagnée d'une faible concentration ferrugineuse (B/C et B/A = 1,3) dans la génération S.3a
- le développement structural est le seul fait du développement des racines qui divisent l'épipédon en mottes nuciformes, le reste du profil étant pratiquement particulaire
- le profil reste saturé, dans nos limites climatiques (250-550 mm).

Les profils ainsi formés sont :

- pour la génération récente S.3a de la marge de Tal des Sols Bruns Subarides épais de 150 cm à 400 mm de pluies auxquels succèdent au sud des sols A-(B)-C qui approchent des Sols Ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés, Faciès Sahélien à moins de 500 mm, Séries Peu Rubéfiées
- pour la génération subactuelle S.3b du cordon lacustre récent des Sols Subarides Bruns qui n'excèdent pas 60 cm à 500 mm de pluies. Ces profils A-C s'amenuisent avec la pluviosité et les remaniements éoliens en Sols Peu Evolués, en Sols Gris Subdésertiques, en Sols Eoliens que l'on observera également sur les cordons de bords de vallées, sur toutes les dunes ravivées

6.12 D r a i n a g e l i m i t é

On considère ici les sols de banquettes, de pieds de cordons, qui dans le passé furent atteints par un niveau phréatique à une profondeur modérée (plus de 120 cm) et qui peuvent encore recevoir un appoint d'eau par circulation oblique. Les mécanismes y diffèrent par :

- une action de nappe ayant pu aller jusqu'au concrétionnement
- la formation de raies, généralement discrètes
- une concentration de l'argile dans l'horizon (B) rubéfié accompagnant celle du fer dans un profil sur deux
- une désaturation croissante des profils avec la pluviosité, les bases se concentrant dans l'épipédon, variation que l'extension en latitude des Dallols a permis d'observer

Ces profils de vallées sèches, d'âge égal ou supérieur à celui de la génération S.3a, sont de type A-(B)-C(g) et s'apparentent aux Sols Ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés, Faciès Soudanien ou Sahélien, Séries Peu Rubéfiées ou Brunies, à action ou concrétionnement de nappe en profondeur. On leur assimile, dans la génération S.3b, les phases à profil ferrugineux jeune, avec raies et/ou début de rubéfaction, observées sur les dunes anciennes (cf. p. 924). Là, c'est l'horizon B fossilisé qui limite la percolation des eaux pluviales.

6.13 D r a i n a g e t r è s l i m i t é

Pour des profondeurs de nappe plus faibles, de l'ordre de 60 à 120 cm, ce sont des profils A-C (g) qui se forment, cela jusqu'à l'époque actuelle. Leurs caractéristiques ne se modifient guère après le retrait du niveau phréatique, si ce n'est que les ségrégations ferrugineuses disparaissent et que les taux de matière organique diminuent. Ils conservent des teintes plus sombres que dans les autres types (chroma inférieur à 2) parfois des carbonates, une répartition du plasma minéral de type homogène dans le solum, le magasin de la nappe étant fortement appauvri.

La pédogenèse ferrugineuse, à l'origine des horizons B rubéfiés et enrichis en fer et argile, a ainsi progressivement disparu des sites les plus récents et les plus arides : un sol sur deux est lessivé en fer et argile sur le niveau T.2 des Dallols, au sud du cordon de Tal seules les variations du fer sont mesurables, au nord la rubéfaction elle-même disparaît. Pour la période subactuelle elle n'est plus décelable que par les raies de phases d'apport. La pédogenèse qui la remplace, à moins de 450 mm pour la période récente, se limite à réaliser un profil organique de type décroissant et à accroître le taux de plasma du matériau. On la rattache à celle de Sols Subarides parce que la saturation reste élevée jusqu'à la limite connue des sites subactuels (550 mm). La disparition du lessivage s'accompagne d'une matière organique plus riche en acides humiques gris et bruns, sans qu'il soit possible de démontrer que la première caractéristique dépende de l'autre (cf. pp. 97-98). Les processus pédogénétiques se sont également réduits à une accumulation organique à peine moins médiocre dans les sites anciennement hydromorphes dont les profils ressemblent ainsi étonnamment aux Sols Bruns Subarides des cordons les mieux drainés. Ils peuvent être classés intrinsèquement de la même façon, ce d'autant plus qu'après le retrait de la nappe, le régime hydrique a dépendu davantage de la pluviosité et que cette dernière ne suffit pas généralement à désaturer le complexe absorbant. Dans nos cartes, nous avons préféré prendre en considération l'ensemble de leur histoire en les maintenant parmi les Sols à Gley de profondeur.

Finalement, l'âge et la pluviosité décroissant, le paysage s'est couvert, aussi bien à partir des crêtes que des fonds, de sols tenant aux Sols Peu Evolués par leur profil A-C, aux Sols Subarides par leur couleur, par leur réaction, par la qualité de la matière organique.

6.2 . LE REGIME HYDRIQUE, FACTEUR DECISIF DE L'UTILISATION

Les sols de Dallols sont les seuls qui soient utilisés, pour des pluviosités de 600 mm et plus, avec des réserves hydriques et minérales aussi basses (0,6-1 méq/100 g et 30 mm/m). Cette aptitude est attribuée à une alimentation à partir de la nappe, située à des profondeurs où il est

habituel d'observer des racines (2-3 m). Elle subsiste plus au nord, jusqu'à 450 mm de pluies, la nappe étant alors située entre 5 et 13 m avec un battement inférieur au mètre. L'alimentation en eau reste donc meilleure que sur les dunes voisines, même si la nappe n'est plus accessible. Il est également certain que les banquettes des Goulbis, dont les sols ont des réserves de deux à trois fois plus élevées que dans les Dallols, bénéficient d'apports d'eau latéraux qui souvent localisent les cultures à ce seul site. A moins de 400 mm, bien que les réserves en bases soient partout suffisantes, les cultures sont remplacées par des pâturages, généralement fort beaux.

6.3

REFERENCES CARTOGRAPHIQUES

Sols Bruns Subarides sur la formation sableuse du cordon de Tal	Feuille Zinder
Sols Peu Evolués Intergrade vers les Sols Subarides Bruns, sur formations sableuses des cordons de Tal et du lac Tchad	Feuille Zinder
Sols Peu Evolués Intergrade vers les Sols Subarides Brun-Rouge sur formation sableuse du cordon de Tal	Feuille Zinder
Sols Eoliens sur formation sableuse du cordon de Tal	Feuille Zinder
Sols à Gley de Profondeur, sur sables grossiers des vallées sèches (Goulbis)	Feuille Maradi
Sols Bruns Subarides à drainage réduit sur formation sableuse des vallées sèches (Azaouak)	Feuille Niamey
Sols Ferrugineux Peu Lessivés Peu Différenciés	
Association des vallées sèches (Bosso)	
Association des terrasses du Niger	Feuille Niamey
Sols Ferrugineux Peu Lessivés à concrétions	
Sur formation sableuse des vallées sèches. Association de la Série de Kaniagoma (Dallol Maouri)	Feuille Niamey

Sols à Gley de profondeur, sur
formation sableuse des vallées
sèches. Association à sols à
alcali et à Sols Hydromorphes
polyphasés (Dallol Maouri)

Feuille Niamey

Chapitre XIII

LES SOLS HYDROMORPHE,
LES SOLS ALLUVIAUX,
LES VERTISOLS TOPOMORPHE
ET LES SOLS SALES PAR
L'EVAPORATION D'UNE NAPPE

1. DONNEES GENERALES

1.1 DEFINITIONS

Nous réunissons ici les sols dont l'évolution est sinon "dominée" du moins suffisamment déterminée "par l'effet d'un excès d'eau par suite d'un engorgement temporaire de profondeur ou de surface, ou par suite de la présence ou de la remontée d'une nappe phréatique" selon la définition usuelle des Sols Hydromorphes. La Classe est subdivisée selon des critères intrinsèques qui appartiennent tous à l'ensemble des caractères modifiés ou acquis par les termes inférieurs plus humides des toposéquences précédemment étudiées :

- accroissement des taux de matière organique; au Niger ils ne dépassent que rarement la limite de la Sous-Classe Hydromorphe Minérale (10%) et jamais celle des Sols Hydromorphes Moyennement Organiques (20 à 30%)
- oxydo-réduction et redistribution des oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse; elles se matérialisent par l'aspect bariolé du pseudogley (symbole g) et par l'aspect décoloré ou bleui du gley

(symbole G, en principe chroma inférieure à 2) où dominent les volumes à fer réduit dans la définition ancienne et à fer réduit et éluvié dans la définition élargie.

- concentration de carbonates et de sulfates de calcium et de magnésium.

Bien d'autres caractères liés à une forte humidité ne sont pas pris en considération ou situés à un rang inférieur : brunissement, jaunissement en masse, décoloration en masse due à l'élimination de tout le plasma minéral, modifications variées de la structure. Quelques uns sont dévolus à des Classes différentes : simatisation et son expression structurale verticale, formation de l'argile noire, salinisation, alcalisation.

L'hydromorphie (1) est compatible avec tout autre ensemble de processus pédogénétiques tant qu'elle n'a pas atteint une certaine intensité. Elle peut aussi être déclenchée par certains d'entre eux. Elle se manifeste ainsi tard dans l'évolution de groupements de sols et en même temps tard dans l'ensemble du paysage à cause de la dégradation progressive du réseau hydrographique. Subordonnés ou compatibles, les caractères hydromorphes se juxtaposent à n'importe quelle organisation de base, la plus fréquente étant celle des Sols Peu Evolués (A-C). Les Sols Hydromorphes sont les seuls à présenter des intermédiaires avec toute autre Classe et sur le terrain à voisiner avec elles. Les transitions étant progressives, il est toujours difficile de trouver des critères qui ne soient pas arbitraires mais qui soient précis pour séparer cette Classe des autres et même pour définir ses subdivisions. Devant cet amas de difficultés, on pourrait être tenté, dans un pays comme le Niger où l'hydromorphie est quelque chose d'assez secondaire, de répartir les Sols Hydromorphes entre tous les groupements dont ils présentent des caractéristiques, solution déjà admise pour certains processus et lorsque les horizons modifiés sont au delà d'une certaine profondeur (1,5 à 2 m). Elle n'est cependant pas acceptée car il y a nécessité qu'exprimait fort bien une ancienne classification extrinsèque à isoler les pédoclimats très humides qui, s'ils ne changent pas radicalement les sols, transforment considérablement la faune et la flore ainsi que l'utilisation des terres. D'un point de vue naturaliste et agronomique, il paraîtrait impensable, même si le fondement pédologique n'en est pas des plus rigoureux, de ne pas faire apparaître comme

(1) ou hydromorphose, mot mieux construit mais moins employé

une seule unité, sur une carte, l'ensemble de ces paysages d'autant plus originaux et utiles qu'on est situé dans une région sèche. Aussi on s'aide encore des distinctions que l'on faisait sur l'origine, l'intensité, la localisation de l'engorgement et sur leurs effets sur la végétation pour appliquer pratiquement la Classification intrinsèque. On mentionnait :

- l'engorgement de surface (temporaire ou permanent) provoqué par les pluies d'hivernage dans les lits majeurs, dans les retenues naturelles ou artificielles, sur des sols peu perméables
- l'engorgement de profondeur (temporaire ou permanent) généralement provoqué par les nappes phréatiques, fluctuant à diverses échelles de temps, quelquefois par l'imperméabilité d'une strate ou d'un horizon

Compte tenu de ce qui précède, nous avons utilisé les définitions pratiques suivantes. Pour être classé parmi les Sols Hydromorphes, un profil doit posséder au moins un des deux horizons ou groupes d'horizons suivants :

- Pseudogley de surface : une première couche où les vides sont gainés d'hydroxydes jaunes ou rouges surmontant une seconde couche où les parois des vides sont réduites ou décolorées, souvent par la matière organique en contact
- Pseudogley de profondeur : toute espèce de bariolage, pourvu que sa configuration et sa localisation ne soient pas entièrement déterminées par la structure plasmique
- Gley : horizon bleui, ou déferritisé en pédoclimat très humide; l'identification d'un horizon de gley organique est incertaine d'une part à cause de sa couleur propre, d'autre part parce que l'élimination préférentielle du fer par rapport à l'argile peut y commencer bien avant que l'engorgement ne soit réalisé; pour résoudre cette difficulté, il ne suffit pas d'utiliser la notion d'"anmoor" ou "matière organique transformée et bien humifiée, intimement mélangée à l'argile, à structure compacte, l'ensemble étant plastique et collant", car elle est applicable aux argiles noires et aux argiles alcalisées. Il est parfois commode de nommer un gley incertain "marmorisation" : "phénomène local de réduction entraînant une

décoloration limitée et irrégulière". Un horizon blanc lavé de son plasma minéral par la nappe n'est pas tenu pour un gley véritable, non plus que s'il est jauni dans sa masse (notation (g)).

Par "surface" nous entendons l'épipédon, sauf au cas de profil A-C épais auquel on applique la limite arbitraire de 50 cm. Par "profondeur" on entend le reste du solum, dont la puissance peut excéder fortement les 1,5m ou 2 m au delà desquels il est recommandé habituellement de ne plus tenir compte de l'hydromorphie.

Une seconde condition est exigée dans certains systèmes de sols, c'est qu'en même temps disparaissent des horizons ou traits jugés caractéristiques d'une autre pédogenèse. Pour des raisons pratiques, il peut arriver que cette notion d'incompatibilité liée à l'intensité de l'hydromorphie soit réduite à celle d'épaisseur du pseudogley et surtout du gley.

Les caractères dus à l'hydromorphie varient parallèlement aux éléments sensibles à la nature et à l'intensité de l'engorgement ou qui les déterminent : végétation, texture, modelé. Cette propriété est largement utilisée en cartographie où on substitue à une limite pédologique la limite physiographique qui en est la plus proche et a l'avantage d'être plus économiquement accessible et d'être plus régulière.

1.2 L'HYDROMORPHIE DANS LES SOLS DU NIGER ET SA CLASSIFICATION

1.21 L e s s o l s f e r r u g i n e u x l e s s i v é s

Leur développement implique ou induit très communément l'hydromorphie qui se localise le plus souvent au sommet ou à la base des horizons B. La nodulation ferrugineuse et la formation des volumes plasmiques compacts qui la précède, le cuirassement qui la suit, sont liés à des phénomènes d'oxydo-réduction, à des aspects de pseudogley et de gley, à des échelles d'abord microscopiques qui s'élargissent ensuite au trait et à l'horizon. A ce dernier

niveau, l'hydromorphie induite ou renforcée par un engorgement d'origine externe est explicitée pourvu que les ségrégations qu'on lui attribue soient distinctes par leur structure, par leur nature minéralogique, par leur localisation de celles qui résultent de l'organisation normale des horizons B. L'engorgement des horizons A est l'effet de leur propre imperméabilité, de celle des horizons sous-jacents, de la situation topographique. Il s'exprime par du pseudogley, par le brunissement, par l'accroissement de la compacité. En troisième rang de la classification régionale, on a mentionné (p.314) des Sols Ferrugineux Lessivés à pseudogley de surface ou d'ensemble, à gley de profondeur, brunis, à nodules calcaires. Par convention, on classe comme Sol Hydromorphe lessivé un Sol Ferrugineux Lessivé à pseudogley qui a perdu son horizon A.2 poreux. On donne le même nom aux profils A g - 2 B cn dont les horizons A peuvent être interprétés comme les reliques plus ou moins remaniées d'un profil plus complet (p.295). Les sols engorgés sur cuirasse dont le matériau est franchement allochtone par rapport à l'horizon induré sont tenus pour des Sols Hydromorphes ordinaires (p. 202).

1.22 Les Sols Ferrugineux

Dystrophes

L'hydromorphie induite n'est observable qu'au sommet des accumulations discontinues, dans les horizons E/B. L'hydromorphie d'origine externe due à une nappe ou à une strate imperméable s'exprime par des caractères qui pour la plupart n'entrent pas dans la définition usuelle du pseudogley et du gley :

- au-dessus de la nappe ou d'un niveau imperméable : durcissement, brunissement, compaction, pseudogley parfois (F.3)
- dans la frange capillaire : jaunissement, nodulation (Fe, Mn, Ca) parfois développement pédique, pseudogley (F.3)
- dans le magasin de la nappe : élimination de tout le plasma minéral et blanchiment, dépôts de manganèse .

Ils figurent au rang de la Série (cf. pp. 925-926) tant que l'organisation A-B-C ou A-(B) couleur-C est conservée. Les profils A-C (g) brunis à base blanchie des fayas et goulbis sont rapprochés des Sols Hydromorphes Minéraux à Gley de Profondeur (p. 895).

1.23 Les Sols Hydromorphes

Lessivés sur matériaux micacés

Ce sont les sols les plus évolués des glacis de la formation d'Ydouban, à hydromorphie d'origine pétrographique. Leur profil, à pseudogley d'ensemble, dépourvu d'horizon A.2, est classé parmi les Sols Hydromorphes Minéraux à Pseudogley, à taches et concrétions, Séries Lessivées (cf. p. 471).

1.24 Les Sols smectitiques

sodiques ou planiques

Un engorgement dû au matériel gonflant et au développement du profil provoque une hydromorphie constante et par là tenue pour implicite dans la Classification. Elle se manifeste par du pseudogley, par de la marmorisation (p. 437) soit au voisinage du contact planique (horizons AB, B.1) soit à la base du profil (B Ca) parfois immédiatement en surface tout comme dans les Sols Ferrugineux Lessivés. Les Sols Hydromorphes associés sont à Pseudogley d'ensemble, certains proches des Séries Lessivées (p. 448).

1.25 Les Sols smectitiques

calciques et les Vertisols

Les argiles gonflantes naissent dans un milieu confiné et engorgé et le recréent par leurs propriétés physiques (p. 382). L'expression normale de l'accroissement de l'humidité sont le brunissement, l'élargissement des structures, leur gonflement, les concentrations de carbonates et de manganèse (p. 383). Les aspects dus aux mouvements du fer naissent difficilement et sont ordinairement

limités à la base des sols, au contact de l'arène et des horizons graveleux. Ce sont des taches de pseudogley, de la marmorisation (p. 370). Des submersions très longues sont nécessaires pour qu'apparaisse un horizon de pseudogley bien développé dont on convient qu'il situe le profil parmi les Sols Hydromorphes, Séries vertiques (p. 410). Le gley acide de la grande mare du Beli, dont on a donné une définition locale précise (p. 419) se forme également par une inondation prolongée. Son apparition et son incompatibilité avec les structures de vertisol sont liées à une modification des argiles.

1.26 Les Sols Halomorphes

Avec les Sols à Alkali qui naissent de la paragenèse smectites-carbonates sur les roches feldspathiques et les alluvions qui en dérivent, les sols salés et alcalisés par l'évaporation d'une nappe phréatique forment la deuxième sorte de Sols Halomorphes du Niger. Ces derniers sont récents et ne diffèrent pas dans leur organisation générale de Sols à Gley et Pseudogley de profondeur avec lesquels ils voisinent, aussi seront-ils étudiés avec eux. Les effets de la salure et de l'alcalisation y sont périodiques et, à cause de la constitution des matériaux, de peu d'ampleur. Aussi aux critères habituels de teneurs en sels solubles et en cations dispersants, de modifications de la structure, a-t-on souvent ajoutés ceux de la disparition ou de la destruction des cultures, de la spécialisation de la flore.

1.27 Les Sols Peu Evolués et les Sols Hydromorphes

Les Sols Hydromorphes les plus étendus se forment dans des proluvions et des alluvions récentes à actuelles dont ils conservent l'organisation de base, A-C, de Sols Peu Evolués, les types brunis étant les plus communs. Ils sont en même temps les plus caractéristiques car l'engorgement, par la crue ou par la nappe sous-alluviale, y est prononcé et ses effets n'y dépendent que peu des autres processus pédogénétiques, peu actifs. La distinction entre Sols Hydromorphes et Sols Peu Evolués d'Apport Mal

Drainés, entre ceux-là et les Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés se fait selon les règles pratiques suivantes :

Sols Peu Evolués d'Apport : la formation des horizons humifères A y est périodiquement interrompue par des apports frais.

- Bien Drainés : pas de traces d'hydromorphie à moins de 2 m de profondeur
- Mal Drainés : les traits d'hydromorphie sont hérités de la mise en place (cf. p 403) discrets (marmorisation) sinon les horizons de Gley ou de Pseudogley ne sont pas associés à un horizon A bien formé

Sols Hydromorphes : ils sont situés dans des aires où le rythme de la sédimentation n'interrompt pas la formation des horizons A et ils ont des horizons de Gley ou de Pseudogley bien formés.

La Classification schématise au maximum les variations très progressives de l'hydromorphie dans les alluvions. Cette représentation est conventionnelle dans son principe et approximative dans son application. Pour réduire l'arbitraire qui pourrait en résulter, on use de la marge d'appréciation des critères pour approcher les limites cartographiques de celles de types de dépôts. Ainsi dans les Maggia, le dessin des Sols Peu Evolués d'Apport Bien Drainés coïncide souvent avec celui de cônes d'apports latéraux, celui des Sols Peu Evolués d'Apport Mal Drainés avec les limites des plaines alluviales inondées quelques jours par épandage, celui des Sols Hydromorphes avec le tracé des plaines de décantation, en y incluant les Vertisols Topomorphes.

1.3

LES SITES DE L'HYDROMORPHIE

L'hydromorphie d'origine interne, le plus souvent implicite dans la Classification, fut longtemps peu présente sur les grès du Continental Terminal où des sols rubéfiés, Ferrallitiques et Ferrugineux, dominaient. Les Sols Ferrugineux Lessivés à cuirasse et concrétions se limitaient à

la base des versants. Ces derniers ne se généralisèrent que tardivement, sur les bas-glacis de la Série argilo-sableuse (Ct.2) ou dans les dépressions de plateau. Elle fut au contraire toujours présente sur le socle, tout en se modifiant, puisque aux Sols Ferrugineux Lessivés à cuirasse et concrétions des glacis M.1 et M.2 ont succédé les argiles gonflantes du glacis M.3. Une hydromorphie pétrographique ou liée au développement du sol s'est également généralisée aux restes de la couverture pédologique des bas-glacis sur Crétacé, à sols hydromorphes lessivés, sur schistes d'Ydouban, à sols régiques hydromorphes. Bien que la pluviosité ait décréu, l'hydromorphie interne, confinée d'abord à la base des sols ou des toposéquences, s'est étendue à la totalité de la couverture pédologique dont le degré d'évolution et l'épaisseur diminuaient.

Cette réduction du drainage des glacis s'est accrue lors de la mise en place des barrages dunaires et des remblais. La nappe phréatique, généralement disparue depuis, a laissé ses traces à la base du remblai supérieur, du niveau T.3 des Dallols, des sables à sols rouges de la cuvette tchadienne. L'évolution pédologique restait cependant très proche de celle qui avait prévalu sur les bas-glacis. Au sol moyen, qui est un Sol Ferrugineux Dystrophe à action de nappe en profondeur (pseudogley, jaunissement, décoloration, concrétionnement, etc...) s'ajoutent des sols bruns tirsifiés, des sols vertiques à base marmorisée (p.370) des sols à pseudogley lessivés (p.448) des sols à gley de profondeur (p.663). Les sols moins évolués du remblai inférieur et des niveaux T.2 ont davantage réagi à l'hydromorphie externe qu'ils subissent encore quelque peu dans les régions méridionales. Ce sont des sols à pseudogley d'ensemble, gris et bruns (pp. 563-567) sur les remblais et sur les niveaux T.2 des sols bruns de type A-C (g) ou encore évoluant vers les Sols Ferrugineux Dystrophes (pp. 954-964).

La grosse majorité des Sols Hydromorphes est située sur les dépôts récents à actuels des lits majeurs (p.335) des cuvettes de décantation, des niveaux T.1a des Dallols, des dépressions de la cuvette tchadienne, des rives du lac Tchad (p.941). Les argiles en sont la phase la plus caractéristique. Elles ne sont plus atteintes par la crue en région sahélienne, hors de quelques sites limités. L'Azaouak, le Kadzel, l'Ader Douchi, le Damergou en donnent de beaux exemples. Elles sont régulièrement

inondées dans les vallées à alimentation méridionale (Niger, Gorouol). Les alluvions actuelles sont généralement moins fines, plus hétérogènes, stratifiées, et se rattachent par des intermédiaires proluviaux et colluviaux aux produits de l'érosion accélérée que l'on a souvent décrite. Elles forment de grandes étendues dans le Goulbi de Maradi, dans les Maggia, dans certains affluents du Niger : Goroubi, Dyamangou.

1.4 LES MODES D'ENGORGEMENT

A l'engorgement pluvial, dû à l'imperméabilité de tout ou partie du sol, correspond souvent une lame d'eau de quelques centimètres qui disparaît en quelques heures. Ses effets ne sont discernables que sur les glacis qui ne sont pas autrement inondés.

L'engorgement par épandage se prolonge pendant quelques jours par an, la lame d'eau atteignant quelques décimètres. Il est dû à l'afflux d'eaux de ruissellement peu canalisées dans les grandes vallées sahéliennes, dont les Maggia. Il ne produit guère que des Sols Peu Evolués Mal Drainés. Certains flats argileux septentrionaux ne sont plus autrement irrigués (Azaouak, Damergou).

La crue locale envahit les lits majeurs de juillet à octobre de un ou plusieurs mètres d'eaux boueuses. Elle ne se propage sur de longues distances que sur les rivières naissant au sud du Niger : affluents de rive droite du Niger, Goulbi de Maradi, Komadougou.

L'inondation par retenue se prolonge diversement en saison sèche, derrière les barrages dunaires, des bouchons alluviaux (mare du Beli) dans les biefs argileux des lits majeurs. Prolongée au delà de janvier, elle provoque un Gley de surface et fait disparaître la strate ligneuse.

La crue soudanienne, aux eaux claires, se propage le long du Niger de janvier à mars, amenant les eaux de lointaines régions maliennes. Prolongeant la crue locale, elle porte à un niveau élevé l'hydromorphie des alluvions.

On peut appliquer aux nappes du Niger la classification établie par KOJNINE en Asie centrale (in SCHOELLER, 1959) :

- nappes des plaines structurales, à roches métamorphiques ou marines consolidées, ou de nombreux aquifères, à structure semblable et de faible extension reçoivent une alimentation locale et renferment des eaux de composition variable
- nappes des plaines de piedmont, des plaines alluviales, des zones de subsidence, contenues dans des accumulations très épaisses de sédiments meubles. Ce sont des eaux souterraines à surface libre très étendue, à zone d'alimentation éloignée, à salure élevée. Les alimentations locales n'interviennent que pour former des lentilles d'eau douce dans une région à eaux généralement plus salées.

La seconde définition est exactement celle de la nappe de la cuvette tchadienne (cf. p. 535). Les nappes des Dallols, qui ont un effet analogue sur les sols, font transition vers le premier type. Ces nappes étaient jadis présentes au Niger à moins de 350 mm (p. 555). Elles ne réapparaissent plus dans les dépressions que vers 400 mm ou 500 mm. Au delà elles salent fortement les sols, jusqu'à 800 mm de pluies, la composition et le volume des sels dépendant des fluctuations interannuelles du niveau piézométrique (PIRARD, 1964). En associant ce dernier aux dépôts lacustres des mêmes régions, à diatomites et limons, FAURE (1965, 1966) a montré qu'il n'avait pu que baisser depuis l'épisode humide des lacs holocènes, avec un palier au Néolithique, cet abaissement étant encore indiqué à une époque historique (1750 AC) par la descente vers le sud des saulniers. Parallèlement les horizons (g) des sols rubéfiés des niveaux T.3, du Manga, puis les Sols Hydromorphes argileux et limoneux septentrionaux ont été successivement mis à sec.

Les nappes sous-alluviales de toutes les autres dépressions appartiennent au premier type. Leur nature varie avec la couverture pédologique locale. Drainant les sols smectitiques sur granite, elles déposent des carbonates de calcium et de sodium (Niger). Alimentées par les formations marines du Crétacé et de l'Eocène, elles déposent des carbonates et sulfates de calcium. Les eaux acides issues des grès ou des sols ferrugineux lessivés favorisent le concrétionnement ferrugineux, celles qui proviennent des schistes du Birrimien ou du Nigérien accroissent les proportions d'oxydes de manganèse. Leur baisse est également manifeste puisqu'elles ont abandonné le remblai supérieur et partiellement le remblai inférieur, cela que le thalweg ait été réincisé (affluents du Niger) ou

pas (Maggia, Goulbi de Guezaoua) donc en relations avec une diminution de leur alimentation.

1.5 VEGETATION ET UTILISATION

Les formations végétales se spécialisent selon l'intensité de l'engorgement, sa nature et la texture du sol, ces facteurs n'étant pas totalement indépendants :

Nappe d'épandage

- texture argileuse
 - . nanothérophytes (argiles salées de l'Azaouak)
 - . prairie à *Panicum humile*, annuel
 - . seyaleraies
- texture moyenne
 - . steppe arbustive d'épineux : *Acacia raddiana*, *Acacia senegal*, *Acacia flava*, *Cordia gharaf*, *Salvadora persica* et tapis prairial à *Aristida adscencionis* et *Schoenefeldia gracilis* (Kadzel)
 - . plus au sud même végétation que sur les glacis voisins à sols meubles, ex. : savane arborée à *Faidherbia*, *Combretum glutinosum*, *Balanites* (Ader Douchi)

Crue d'hivernage

- texture argileuse
 - . fourrés à *Mimosa asperata* (Gorouol)
 - . bois à *Acacia campylacantha* et seyal
 - . prairies à *Vetivers*, *Sesbania* (Niger)
- texture moyenne et sableuse
 - . savane arborée à *Mytragyna inermis*, *Bauhinia reticulata*, *Vetiveria nigriflora*
 - . forêt à *Faidherbia albida* et *Mytragyna* (Gorouol)

- . galeries à *Khaya senegalensis*, *Anogeissus leiocarpus*, *Tamarindus indica*, etc.. (petits marigots).

Inondation se prolongeant en saison sèche

- texture argileuse
 - . bois armé à *Acacia nilotica* (moins de 7 mois d'inondation)
 - . prairie prostrée à *Echinochloa stagnina*
 - . prairie flottante, Nymphéacées.
- texture moyenne
 - . prairie à Vetiver, Cypéracées, avec Mytragines
- texture sableuse
 - . roselières à massettes, à *Echinochloa pyramidalis*

Formations phréatophiles

- texture sableuse
 - . palmeraies à *Borassus* et *Hyphaene*, avec *Vitex*, *Celtis integrifolia*, *Parinari macrophylla*
- sol salé et généralement sableux
 - . prairie à *Sporobolus spicatis*, à *Eragrostis cambessi* adana
 - . bosquets de *Tamarix gallica* (accumulations de poudres salées)

Généralement fertiles et cultivables pendant une plus grande partie de l'année, les Sols Hydromorphes devraient donner les terres les meilleures du Niger. Ils ne sont cependant régulièrement cultivés que dans quelques foyers: les Maggia, le Goulbi de Maradi, le bassin de la Korama, les alluvions de la Komadougou. Dans les bassins du Niger, des Dallols, des Goulbi, leur utilisation est sporadique et serait près d'être nulle sans l'impulsion de l'autorité centrale et de quelques notables locaux. Là, la luxuriance qui devrait être celle de ces terroirs et dont il existe quelques exemples, par exemple à Bengou sur le bas Dallol Maouri, est remplacée par une sorte de désert pastoral.

Les sols arrosés par épandage sont cultivés en coton et sorgho dans les Maggia. Ailleurs, où cet apport devrait être accru par de petits ouvrages, ils sont inutilisés (Damergou, Kadzel).

Une dizaine de cuvettes ont été aménagées pour la riziculture sur les bords du Niger. C'est à peu près le seul exemple d'utilisation directe des eaux de crue, avec les petites rizières du Maouri.

La culture de décrue, où l'on plante directement sur les argiles détrempées, est peu pratiquée hors du nord de la vallée du Niger (Firgoun). Dans les Maggia, sur les bords de la Komadougou, ces laisses sont irriguées au chadouf en saison sèche et froide sur de toutes petites parcelles, essentiellement pour le blé. Les berges du Niger sont également irriguées pendant la même saison près de quelques gros centres pour la culture de l'oignon et autres légumes.

Ce sont probablement les terres irrigables à partir de la nappe phréatique en saison fraîche qui sont le plus largement utilisées et avec le plus de diversité. Comme elles sont en général légères, les techniques de travail du sol sont les mêmes que celles des terres sèches. L'aménagement s'y réduit à quelques puisards. On y trouve la canne de bouche (Korama, Dallols) le piment, le henné (Maradi) la tomate, l'oignon (Ader Douchi) la patate douce, le tabac, plus rarement des arbres fruitiers (Manguier, Papayers, dattiers jusqu'à 700 mm). Au minimum on plante du manioc.

Des cas de toxicité des sels de sodium ont été relevés sur les berges de la Komadougou (blé) et dans le Dallol Maouri (riz) en des sites spécialement mal choisis pour ces cultures.

2. ETUDE DES SOLS

2.1 LES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX A GLEY ET PSEUDOGLEY DE SURFACE OU D'ENSEMBLE, ENCORE RÉGULIÈREMENT INONDÉS

2.11 Les Sols Hydromorphes du lit majeur du Niger

2.111 Sites et matériaux

Sur les 550 km de son parcours nigérien, le lit majeur du fleuve offre des variations d'épaisseur parallèles à celles de la vallée et dépendant de la lithologie du substrat. Le long de ces sections successives, les terres inondées s'étendent à raison de 300 ha/km sur le socle, de 130 à 160 ha/km au niveau du contact Ct.3/socle, de 10 à 70 ha/km sur les grès-quartzites voltaïens, de 600 ha/km sur les grès crétacés de la frontière dahoméenne.

Le substrat rocheux est sur le socle au niveau de la base du manteau d'altération kaolinique. Il produit des argiles arénacées sous les alluvions, des filons de gabbro et des boules résiduelles de granite dans le lit mineur. Par l'intermédiaire de la nappe sous-alluviale, il est la cause de l'alcalisation de cuvettes argileuses (Kolo). Il est tapissé d'un cailloutis de quartz, à matrice plus souvent gleyfiée que ferritisée, qui prolonge les "graviers sous berges" sous-jacents aux remblais (p. 184). Les sables fins argileux du remblai supérieur et les sables grossiers du remblai inférieur sont le plus souvent rejetés en terrasses latérales qui dominent le lit majeur de 1 à 10 m (fig. 45 et 46). Ils forment également des

îles allongées et peut-être des faisceaux de levées basses (4 m) aux sols encore rubéfiés (plaine de Say, B. DABIN, A. PERRAUD, 1961). Le sommet du flat argileux est au niveau de la cote moyenne des crues. La surface en est déprimée de chenaux défluent, de mares plus ou moins permanentes, surmontée de petites levées à sables fins argileux plus nombreuses près du lit mineur ou au contact des terrasses. Au nord (Ayorou) il ne forme qu'un mince liseré en voie d'ablation autour des îles et au contact des rives. Au sud (Koulou) il s'étale en vastes plaines marécageuses prolongées dans les terrasses par des digitations. Son épaisseur, souvent inférieure à deux mètres, peut être du même ordre de grandeur que le marnage (4 m). Il repose directement sur la roche, ou sur les cailloutis, ou sur les matériaux de remblai. Il est plus argileux, relativement moins limoneux, à capacité d'échange plus élevée que dans ces derniers. Sa texture est plus proche de celle d'argiles de décantation dans un bief de cours d'eau sahélien que de celle de limons de débordement, aussi y a-t-il quelque vraisemblance à ce qu'elle ne corresponde plus au régime du fleuve.

Quelques caractéristiques de matériaux situés dans
le lit majeur du Niger

	Argile % (A)	Limon fin (L)	A/L	T/A
Remblai supérieur				
"levées"	10-55	5-27	1,7	13-20
terrasses	10-37	4-30	1,55	
Remblai inférieur				
îles	3-4	0-0,5		T=0,8-2
Flat argileux (T.1a)				
ensemble	35-85	16-35	3,2	27-30
types modaux	50-65	10-25	3,2	

2.112

Régime des eaux

L'étiage se situe partout en juin-juillet. La montée de la crue locale se produit vers la mi-août. Perceptible dès Niamey, elle n'est vraiment importante que plus au sud, vers Koulou et Gaya. A la frontière dahoméenne, le marnage est de 5,2 m, l'étale se situant entre le 10 octobre et le 30 septembre. A ces eaux "blanches" parce que limoneuses, succèdent en pleine saison fraîche les eaux "noires" parce que plus limpides de la crue soudanienne qui mettent environ deux mois à traverser le Niger :

Crue soudanienne (1946-1960)

d'après R. DUBREUIL et P. LEFEVRE (1962)

Station	Amplitude de la crue		Période d'étale
	maximum	minimum	
Ansongo	2,6 m	1,6 m	10 janvier-16 février
Tillabery	3	2,1	
Niamey	4,7	3,4	17 janvier-29 février
Malanville	4,2	x	14 février-20 mars

La durée de l'inondation croît du nord, où elle est au minimum de deux mois, au sud, où des Sols Hydromorphes Moyennement Organiques finissent par apparaître dans les cuvettes.

La nappe phréatique sous-alluviale est visible partout à moins de deux mètres dans les dépôts sous-jacents aux argiles : sables, cailloutis, arène.

2.113 Végétation et utilisation

La végétation est fonction du matériau et de la durée de l'inondation :

- flat argileux, inondation prolongée (sud et cuvettes) : prairie prostrée à *Echinochloa stagnina*, quelques *Myrtagnes* et *Acacia nilotica*
- flat argileux, inondation de deux mois (nord) : prairie érigée et cespiteuse à *Vetivers*, *Eragrostis*, quelques *Bauhinia reticulata*
- îles et "levées" du remblai inférieur : palmeraies à doums (nord) et ronniers (sud) avec *Faidherbia*
- bordures et "levées" du remblai supérieur : formations arbustives à épineux, le seyal dominant.

Il en va de même de l'utilisation. Le flat argileux n'est guère cultivé que sous l'impulsion de l'administration ou de rares initiatives privées : riz, blé dur, sorgho, cannes, maïs, coton, oignons, tomates. Les îles et levées sableuses sont densément couvertes de champs de mil. Quelques champs de manioc, de sorgho se situent sur les sables argileux en bordure du lit majeur. C'est surtout le bétail, boeufs et chevaux, qui tire parti des zones inondables.

2.114

Les Sols à Gley de Surface, Séries vertiques grises et
Séries vertiques noires du flat argileux

Les taux de matière organique, la finesse et la stabilité de la structure croissent parallèlement à la durée de l'engorgement jusqu'à ce que cette dernière soit trop longue pour qu'une strate herbacée puisse s'enraciner sur le fond. Du nord au sud, des bords au centre des cuvettes, on passe de sols gris à structure large prismatique ou cubique à des sols noirs à structure grumeleuse. Les premiers, les moins durablement inondés, recouvrent la plus grande partie du flat d'Ayorou à Tillabéry :

site de Losa (NM 89)

Lat. : 13° 58' 30" N.
Long. : 1° 33' 0" E.
Cote : 196 m

Plaine argileuse, 2 m au-dessus d'un défluent; Vetivers

Surface : très gros touradons, filtrant les sables allégeant le premier horizon

0-20 cm : gris clair (10 YR 6,5/1); nombreuses taches jaunes linéaires; argileux; structure grumeleuse (0,5-2 cm) en assemblage très lâche; cohésion moyenne; porosité des agrégats forte et tubulaire; chevelu grossier mais excessivement dense

20-43 cm : brun très foncé (10 YR 2/2); très petites taches jaune-rouge; très argileux; structure prismatique (17 x 4 cm) en assemblage lâche (fissures de 0,2-1 cm, retrait de 12% en volume); sous-structure motteuse cubique à prismatique, avec faces supérieures et inférieures devenant obliques à la base; cohésion et dureté excessives; porosité tubulaire (0,5 mm) médiocre

43-90 cm : gris (10 YR 5/1); taches jaune-rouge dans les pores; très argileux; structure en plaquettes obliques (8 x 10 cm) en assemblage compact, les faces lissées bien développées; sous-structure polyédrique fine (2 mm) à peu de faces, luisantes, en assemblage compact et parallèle aux faces des plaquettes

90-172 cm : gris clair (N 5); gros amas de fines taches jaune-rouge; quelques taches noires; C-G très argileux; ciment compact à fine fissuration verticale et à petites faces obliques (2 cm) lissées; la base est entièrement bleuie; humide

172-195 cm : lit de sables micacés gris clair sur un lit argileux gris-bleu à taches rouges

195-210 cm : sables micacés grisâtres (5 Y 5/2) à plaques jaunes olivâtres
2 C-G

220 : nappe phréatique

La nappe produit au bas du profil un gley à fer réduit, l'inondation crée en surface un gley au sens large, appauvri en fer libre par rapport à l'argile et fortement décoloré. Ce dernier horizon (10 YR 5,5-6,5/1) est constant quelle que soit la texture. Le gley de profondeur est sporadique. La structure peut être prismatique dès la surface hors des aires fortement peuplées par les Vétivers auxquels on attribue le filtrage de sables fins pendant la crue.

Les sols noirs de cuvettes que les prairies flottantes ou prostrées ne recouvrent pas encore conservent encore des structures verticales :

site de Niamey (NN 46)

Lat. : 13° 27' 50" N.
Long. : 2° 6' 50" E.
Cote : 178,5 m

Dépression aux pieds d'une levée très sableuse du remblai inférieur; 3,5 m au-dessus de l'étiage, 75 cm sous la cote de l'étale.

Surface : fissurée

0-20 cm : noir (10 YR 2/1); quelques taches rouille le long des racines; très argileux; structure cubique; faces lisses; porosité tubulaire moyenne à fine, peu développée
A-G

20-70 cm : gris très foncé (7,5 YR 3/0); très argileux; plastique; des faces lisses et striées; compact
A-B

- 70-100 cm : gris foncé (7,5 YR 3,5/0); très argileux;
 (B) v plastique; des plaquettes à faces lisses et
 striées; quelques pores très fins
- 100-160 cm : gris légèrement bleuté (7,5 YR 6/0); taches
 (B)-G v et marbrures rouge-jaune (5 YR 4/6); très
 argileux; même structure
- 160-180 cm : galets de quartz à emballage de sables
 r grossiers brun-jaune

Les horizons supérieurs et inférieurs sont appauvris en fer relativement à l'argile : on les assimile à des gley admettant que la matière organique (anmoor) a masqué la décoloration dans l'horizon A.

La séquence se poursuit dans les marais de Koulou où trois termes peuvent encore être séparés (selon DABIN, op. cit.) :

- des "terres noires à horizon humifère profond" ou Sols à Gley d'ensemble, Séries bien humifères :

- 0-25 cm : noir; argileux; grumeleux à finement polyédrique
- 25-40 cm : noir; argileux; finement polyédrique
- 40-70 cm : gris foncé; argileux; polyédrique; plus compact
- 70-100 cm : gris plus clair; argileux; grossièrement polyédrique

- des sols semi-tourbeux, ou Sols Humiques à Gley à anmoor acide

- 0-5 cm : litière d'un feutrage de tiges et racines d'Echinochloa stagnina et d'humus fibreux
- 5-30 cm : noir; humifère; grumeleux; très humide
- 30-50 cm : noir; argileux; humifère; plastique; très humide
- 50-80 cm : gris foncé; argileux; plastique; humide
- 80 .. : gris à taches jaunes; plastique; humide

- finalement, lorsque l'engorgement est total et permanent, l'horizon noir à anmoor acide diminue derechef d'épaisseur et se plaque sur l'argile gleyfiée :

0-30 cm : noir; plastique; recouvert de 30 cm d'eau à l'étiage

30 cm : gris clair; argileux; plastique

La matière organique de ces sols fort acides est cependant bien évoluée (anmoor acide) les rapports C/N n'étant élevés que dans les Sols Humiques. pH et coefficient de saturation croissent régulièrement vers la profondeur, les premiers de 0,5 à 1 unité, les seconds atteignant parfois 75% en C-G : c'est une acidité d'origine organique compensée par la nappe phréatique. La capacité d'échange est sensible aux variations des taux de matière organique, son maximum se situant en A. La richesse relative en Mg et Na ne souffre d'exception que dans les marais de Koulou. Elle influence défavorablement la stabilité structurale qui par ailleurs est à l'image des taux de matière organique : mauvaise en profondeur, elle est médiocre en surface des sols gris, moyenne à bonne en surface des sols noirs humifères et Humiques.

2.115

Les Sols Halomorphes du flat

Des Sols Salins ont été observés au centre de la cuvette de Kolo, site un peu particulier formé par une incision défluente du remblai supérieur. Le profil s'apparente aux Séries noires humifères; il est homogène, argilo-limoneux, finement grumeleux; à 90 cm, apparaissent les sables rougeâtres du remblai. Des efflorescences cristallines blanches se forment en saison sèche, ainsi que des "remontées salines d'aspect huileux et brillant" (DABIN, 1958). Elles disparaissent en hivernage par lessivage. Les sulfates et chlorures de sodium et magnésium dominant dans l'extrait saturé, très fortement salé. Le complexe absorbant est modérément alcalisé.

Des efflorescences à carbonate de soude ont été observées à une faible distance de l'arène, en rive ouest près de Niamey.

A ces exceptions ponctuelles près, le complexe absorbant des sols argileux du flat n'est jamais alcalisé, les rapports du sodium à la capacité d'échange se situant à moins de 3%.

Dans les îles proches de Tillabery, des "efflorescences farineuses" recueillies sur des sols sableux alimentent une petite production artisanale de salpêtre, produit par la décomposition des débris organiques accumulés sur les obstacles par la crue (FAURE, 1965).

2.116 Les sols de levées, d'îles, de bordures sur matériaux de remblai

Bien qu'ils ne couvrent que de petites surfaces linéairement étirées le long du fleuve, ils sont plus régulièrement cultivés, du moins certains d'entre eux, parce qu'ils sont plus immédiatement accessibles à qui n'a pas la maîtrise de l'eau.

Remblai supérieur

- bordures méridionales (Koulou, Sya)

D'une façon générale, les sols de ce remblai se distinguent, lorsqu'ils sont engorgés, par une structure plus compacte à stabilité médiocre ou mauvaise, par une nodulation ferrugineuse ou calcaire plus importante, par une saturation plus élevée approchant parfois de l'alcalisation. Au sud, ils portent des Sols à Gley de profondeur fortement bariolés et des Sols à Gley de surface vertiques (p. 663) ces derniers cultivés en riz.

- levées de Say

Nous rattachons à cet ensemble les sols finement sablo-argileux des levées de la plaine de Say, où DABIN (1958) a décrit une toposéquence à Séries successivement brun-rouge puis brunes.
Les sols "brun-rouge" :

0-25 cm	: brun, sableux, très friable (A.1)
25-40 cm	: beige, limoneux à sableux, peu compact (A.2)
40-60 cm	: beige, limoneux, friable (A-B)
70	: ocre, limoneux (B)
80	: limono-argileux; taches ocres et concrétions de nappe peu durcies

sont très vraisemblablement des Sols Ferrugineux Peu Lessivés à pseudogley de profondeur (p. 662).
Les sols bruns :

0-40 cm	: brun-gris, limono-argileux, polyédrique (A)
---------	---

40-60 cm : brun-ocre, argileux, polyédrique (B)
70 : ocre, argileux, polyédrique (B)
80 : brun-gris, polyédrique, compact (B G)

en seraient un faciès bruni, sinon des sols hydromorphes lessivés. Tous sont moins organiques que les sols du flat (1,3-1,9%) car plus sableux et secs, également acides (pH de 5,5) mais relativement plus riches en sodium (Na/Ca de 20 à 50%).

- bordures et îles septentrionales, sur le socle (Tillabery, Ayorou)

Les sites déprimés portent des Sols à Pseudogley d'ensemble ou des Sols à Gley de profondeur, de couleur brune (10 YR 4/3-4) ou brun rougeâtre. La base en est marmorisée, à nodules calcaires, parfois alcalisée au voisinage du bas-glacis (Sakoara, p. 685). La texture est sablo-argileuse; il n'y a pas de lessivage mais des apports de sables fins sont fréquents en bordure du lit majeur. Les structures sont prismatiques et polyédriques, parfois verticales, toujours compactes. Ces sols sont pauvres en matière organique (0,3-0,9%) et presque saturés dès la surface. Selon la texture, ils sont irrigués en saison fraîche pour le maraîchage ou plantés en sorgho en hivernage.

Remblai inférieur et autres formations très sableuses

Les îles et levées portent des sols bruns A-C (g) (p. 966). Elles sont très intensément peuplées et cultivées. Au voisinage de la nappe ou des mares semi-permanentes, tous les matériaux sableux évoluent en sols à gley de profondeur acides de type A-G. L'horizon A est gris à gris-brun (10 YR 3/1), à taches ferrugineuses linéaires, peu épais (20 cm). L'horizon G apparaît sans transition, de couleur brun-jaune (10 YR 5/5) avec au toit de la nappe des taches ferrugineuses parfois légèrement indurées. Ils sont acides (pH de 5,5) et pauvres en matière organique (0,7%).

2.117

Conclusions

L'engorgement de surface, en déterminant le niveau de la matière organique, l'acidification, la redistribution du fer, la structure, se révèle le facteur d'évolution le plus important du flat. L'engorgement de profondeur et le flux capillaire ascendant qui lui sont associés

n'ont que des effets modestes (gley) ou ponctuels (salinisation). C'est à peu près l'inverse sur les matériaux surélevés des remblais où des concentrations de fer, de calcaire, l'accroissement du taux relatif de sodium prennent plus d'importance alors que l'hydromorphie de surface tend à s'intégrer dans le complexe de processus à l'origine des Sols Ferrugineux. On y voit l'effet du site et de l'âge.

Les limites à la réalisation du calendrier agricole ci-dessous :

juillet-octobre, montée des eaux

cultures sèches ou irriguées : maïs, sorgho, coton, dah, tomates
cultures dans l'eau : riz, riz flottant

novembre-mars, étale et descente des eaux

cultures irriguées : blé, orge, coton, oignons, tomates, etc...
cultures dans l'eau : riz d'arrière saison

avril-juin, étiage

sorgho de décrue

sont, selon le type de sol :

Sols à Gley Humiques

Maîtrise de l'eau; excès de carbone sur l'azote, de l'azote sur le phosphore; pH parfois un peu bas pour ne pas affecter le riz, qui en est la spéculation normale.

Séries noires humifères

Maîtrise de l'eau; compacité parfois un peu forte pour le coton, le maïs; pratiquement tout y est possible.

Sols à Gley de surface, Séries grises vertiques

Maîtrise de l'eau; propriétés physiques insuffisantes sans travail du sol; le sorgho et le riz y sont mieux adaptés.

Sols à Pseudogley et Gley de profondeur sablo-argileux

Fertilité chimique insuffisante; très difficiles à irriguer; remontées alcalines possibles; mais sites plus favorables.

Sols sableux bruns et noirs A-C (g) et A-G

Cultures adaptées à ces textures : mil, arachide; fertilité insuffisante; bon support pour le maraîchage (avec fumures); conviennent très peu aux céréales irriguées ou inondées.

2.12 Les Sols Hydromorphes du
lit majeur du Gorouol

2.121 Les sites et les matériaux (cf. p.567)

Le Gorouol, affluent de rive ouest du Niger, est un bon exemple de rivière intermittente de la même zone climatique (400-800 mm) à alimentation méridionale, drainant le socle. Les argiles vertiques sont encore très représentées dans le flat mais des alluvions plus sableuses, plus hétérogènes et pédologiquement moins différenciées les remplacent souvent. L'inondation plus courte, la nappe phréatique plus profonde en saison sèche, limitent le développement de la végétation. Les sols noirs et grumeleux sous prairie prostrée disparaissent et sont remplacés par des sols gris, nus, largement craquelés en saison sèche.

La largeur du lit varie entre 10 et 1.000 m, les étroitures pouvant correspondre à des directions particulières d'un cours anguleux largement guidé par les fractures et les lignes structurales birrimiennes. Les alluvions s'y répartissent par sections dépendant beaucoup de la couverture pédologique locale, dunes comprises. Le remblai supérieur y est représenté par des levées hautes de 2 à 3 m à Sols Ferrugineux Dystrophes (F.2) à pseudogley de profondeur. On attribue au remblai inférieur, peu visible, des faisceaux de levées étroites (10 m) atteintes par les plus hautes eaux, à Sols à Pseudogley. Elles ont partiellement obturé un affluent, le Beli, qui fonctionne depuis en mare de décantation (cf. p. 464). Les terres inondables du lit majeur se succèdent à raison de 1,5 à

70 ha/km. Les sections argileuses jouxtent des glacis qui n'ont été que très partiellement fossilisés par les dunes, au sud du cours. Le flat, large de 200 à 500 m, est faiblement incisé par un réseau anastomosé de chenaux d'écoulement et déformé de bombements métriques. Ce micro-relief d'écoulement est remplacé dans les sections plus sableuses par un lit mineur plus fortement incisé, avec défluent et mares. La topographie est plus régulière, avec de très petites levées de débordement sur les berges (0,25-0,45 m). Le lit mineur est instable et ses méandres déblaient les alluvions. Cette vidange est très avancée sur les sections aval au confluent du Niger où le substrat rocheux, à filons de gabbros et boulders de granite, affleure largement.

Partout les textures sont plus argileuses dans les dépressions et au sommet des profils. L'ensemble évolue vers un colmatage argileux généralisé. L'abondance relative des sables fins et de l'argile est caractéristique des alluvions de ces rivières intermittentes; elle est très préjudiciable aux propriétés physiques.

	Argile (A)	Limon (L)	Sables fins	Sables grossiers	A/L	T/A
remblai supérieur levée	5-20	1,5-9,5	45-80	5-31	1,5	27-30
remblai inférieur levée	5-27	2,5-10	46-80	5-32	1,5	-d-
colmatage	35-45	15-17	30	1	2,5	
flat type	17-35	5-26	14-70	1-20	3	32-48
colmatage	30-65	12-36	4-31	0-6	2,5	-d-
flat argileux	50-70	15-23	7-19	0-0,5	3	36-47

2.122 Régime des eaux

La crue s'étend de juillet à octobre. Son importance relative peut varier de un à trois d'une année à l'autre. En 1961, l'écoulement dura quatre mois; la hauteur d'eau maximum instantanée fut de trois mètres; la hauteur d'eau moyenne répartie sur trois mois fut de 75 cm. Nous n'avons jamais observé de nappe phréatique à moins de deux mètres en saison sèche.

2.123 Végétation et utilisation

La végétation varie selon la durée de submersion (cote relative) et la texture. Bien conservée et boisée au sud de Yatakala, elle n'est plus qu'herbeuse entre Yatakala et le Niger, probablement parce que cette partie du cours permet aux troupeaux de passer des mares du Beli à la vallée du fleuve.

- levées du remblai supérieur : savane boisée et arborée à *Faidherbia albida*, *Diospyros mespiliformis*, *Vitex* sp., *Anogeissus leiocarpus*
- levées du remblai inférieur : savane boisée à *Faidherbia* et *Myragyna inermis*, strate herbacée à *Vétivers*
- flat : forêts claires à *Myragyna inermis*, *Faidherbia albida*, *Acacia nilotica*, strate herbacée à *Vétivers* et *Cypéracées*. A l'ouest de Yatakala, seule subsiste cette dernière avec des fourrés à *mimosa asperata* et quelques arbres reliques
- flat argileux : bois armé d'*Acacia nilotica*, aux sujets très gros et très vieux; *sejaleraies* sur les bordures plus sèches; *Acacia campylacantha* au sud (500 mm)

L'élevage, la pêche, l'indifférence à l'égard des cultures irriguées se conjuguent pour laisser en friche la quasi-totalité des Sols Hydromorphes. Il n'y a que quelques jardins près des villages, quelques pieds de coton autour de termitières, un peu de manioc sur les décharges sableuses et sur les rives dunaires.

2.124 Sols à Gley de surface, Séries vertiques grises

Ces profils sont semblables aux Vertisols Topomorphes à structure large en surface mais sont décolorés par l'engorgement de crue. La grossièreté des structures peut être attribuée à ce que la végétation n'est qu'arborécente. Il n'y a pas de chevelu radiculaire et la masse du sol n'est divisée que par le jeu du retrait et du gonflement. La synthèse en est la suivante :

microrelief

dômes allongés dans la direction de l'écoulement (15 x 1 m); surface craquelée et nue en saison sèche (fentes de 4 cm tous les 27 cm, retrait de 12,5%, pour une hauteur d'eau maximum de 1 m); ce microrelief est lié à l'écoulement car il s'atténue sur les bordures et dans les petites mares jalonnant le thalweg :

bordure : surface bosselée (1 x 0,3 m); fissures de 5 cm tous les 90 cm, retrait de 5,5%; lame d'eau de 80 cm

mare : surface plane; fissures de 4 cm tous les 25 cm, retrait de 13,5%; lame d'eau de 2 m.

horizon A-G, gleyfié

- gris clair (10 YR 6/1)
- épaisseur : 20-25 cm
- taches linéaires (gainant les pores) rougeâtres (5 YR 5/8 et 7,5 YR 5/6)
- argileux, ainsi que le reste du profil
- prismatique ($\emptyset = 20-55$ cm); sous-structure massive ou en plaquettes (2 cm) en assemblage compact: cohésion forte à excessive; compact, la porosité se réduisant au retrait, hors quelques pores (racines et vers)

horizon (B) à structures de retrait, avec pseudogley et marmorisation

- épaisseur : 50-60 cm
- gris (10 YR 5/1)
- trainées décolorées ou taches ferrugineuses brun vif (7,5 YR 4/4)
- la structure de retrait ci-dessus s'y prolonge; sous-structure prismatique ($\emptyset = 10-15$ cm) ou cubique; cohésion très forte
- nodules calcaires; concrétions noires et rondes (Mn)

Horizon (B) à structure verticale , nodules et concrétions

- vu jusqu'à 1,6 m
- brun (7,5 YR 4/4) homogène
- structure en plaquettes obliques (5 x 2 cm) à faces lisses; très cohérent et compact
- nodules calcaires, concrétions manganésifères

Substrat

- sables argileux bariolés

Lorsque l'engorgement diminue vers les bordures du flat, la décoloration du gley et les taches du pseudogley disparaissent de tous les horizons; la succession des structures reste la même (Vertisol topomorphe) :

- A : 12 cm, brun-jaune (10 YR 4-5/4) prismatique à sous-structure feuilletée
- (B): brun-olive (10 YR 5-4); prismatique; amas calcaires et concrétions manganésifères
- (B): brun-olive; verticale; amas et concrétions

Lorsqu'il croît, dans les mares du thalweg, l'horizon verticale est lui-même gris (10 YR 4/1) et les faces de glissement s'élargissent jusqu'à 20 cm.

2.125

Les Sols à Gley de surface et Pseudogley d'ensemble

Le profil de l'hydromorphie, réduit à la seule succession des volumes décolorés ou ferritisés est commun à tous les sols qui ne sont pas très argileux du flat et des levées les plus basses. La variabilité des structures et de l'épaisseur des horizons est en effet celle des textures des couches alluviales qui en moyenne ne sont pas constantes à plus de 30 m de distance. La durée de l'inondation n'excède guère celle de la crue; elle est donc plus courte pour les sols les plus sableux qui sont les plus élevés. Comme les caractères hydromorphes, notamment la décoloration, y apparaissent plus facilement que dans les sols plus argileux, le flat et les levées basses ont le même degré moyen apparent d'hydromorphie par l'effet de cette compensation. Ce dernier peut localement varier, surtout en surface, selon le micro-relief et la superposition des phases alluviales. On distingue alors conventionnellement et par référence aux mares du Beli, au flat à Séries verticales, un horizon de gley par une chroma de 1 ou 0 qui généralement va de pair avec des ségrégations peu nombreuses. Il s'associe en mosaïque à l'aspect plus coloré et bariolé du pseudogley.

Horizon A, à Gley ou Pseudogley

épaisseur :

1 : 8-15-30 cm

- 2 : 12-25-38 cm
- 3 : 15-25-48 cm

texture, souvent plus argileuse en surface

- 1 : sableuse
- 2 : sablo-argileuse à argilo-sableuse
- 3 : argilo-sableuse à argileuse

couleurs

- 1 : gris, gris clair (10 YR 5-6/2) brun pâle (10 YR 6/3-4)
- 2 : gris clair (10 YR 6/1-1,5) brun-gris (10 YR 5/2)
- 3 : gris clair (2,5 Y 6,5/0 et 5 Y 6/1) gris (10 YR 5-6/1) brun pâle (10 YR 6/3)

ségrégations : taches linéaires bien distinctes

- 1 : brun rougeâtre et jaunâtre (7,5 et 10 YR 5/6)
- 2 : jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6-8)
- 3 : jaune rougeâtre (7,5 YR 5-6/6-8) et brun jaunâtre (10 YR 5/8)

structure

- 1 : débit mamelonné à polyédrique; parfois prismatique; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire peu développée (0,5 mm)
- 2 : prismatique (5-20 cm); sous-structure polyédrique (0,5-5 cm); assemblage peu compact; cohésion forte; porosité grossière, tubulaire (0,5 cm) très développée; sous forêt les boutis de phacochères produisent une structure grumeleuse (0,4 cm)
- 3 : prismatique (5-20 cm, retrait de 3-12%); sous-structure cubique (3-5 cm) devenant feuilletée tout au sommet, pouvant disparaître dans de petites mares; cohésion très forte à excessive; sous forêt et parfois sous mimosa, structure polyédrique à grumeleuse fine (0,2-2 cm) due au boutis de phacochères. Ces derniers ameublissent ainsi des surfaces très considérables (toute la forêt de Kassa). Une véritable semelle limite cet horizon. Les petits agrégats résistent à l'inondation et sont simplement repris dans une sur-structure prismatique. Ils ne doivent cette conservation qu'à l'absence de perturbation mécanique lors de leur humectation; ils ne résistent pas en effet au prétraitement au benzène. Ce sont donc des terres à travailler en sec.

sous-horizons

- 1 : les cinq premiers centimètres parfois plus foncés et organiques
- 2 : ségrégations ferrugineuses plus nombreuses et diffuses à la base de l'horizon
- 3 : ségrégations ferrugineuses plus nombreuses et pouvant revêtir les faces structurales à la base de l'horizon

Horizon g. ou (B) g. à ségrégations moins nombreuses et plus diffuses

épaisseur

- 1 : 15-35 cm
- 2 : 20-38-43 cm
- 3 : 25-100 cm

couleur

- 1 : divers bruns, pâles (10 YR 6/3,5) jaunâtres (10 YR 4-6/4) foncés (7,5 YR 4/4)
- 2 : brun grisâtre (10 YR 5-6/2)
- 3 : gris (10 YR 5/1) brun (10 YR 3/2) brun-jaune (10 YR 4-5/3-4,5) brun vif (7,5 YR 4/4)

ségrégations : souvent diffuses, peu contrastées; fréquemment associées à des taches décolorées linéaires (marmorisation)

- 1 : jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6) brun jaunâtre (10 YR 5/6)
- 2 : brun rougeâtre (5 YR 4/5); brun à jaune rougeâtre (7,5 YR 5/4-6); brun jaunâtre (10 YR 5/8)
- 3 : jaune rougeâtre (7,5 YR 4/6)

structure :

- 1 : débit mamelonné ou structure polyédrique (2 cm); horizon le plus poreux
- 2 : débit mamelonné ou structure polyédrique en assemblage compact; cohésion forte à excessive; porosité très faible à nulle
- 3 : structure cubique (2-5 cm); sur-structure prismatique prolongeant celle de l'horizon A ou plus fine ($\emptyset = 5$ cm); sous-structure polyédrique (1 cm) en assemblage compact; cohésion excessive; porosité

très faible ou nulle; une évolution vers des structures verticales apparaît dans des mares, des colmatages argileux, par aplatissage de la structure cubique et apparition de l'obliquité et de faces luisantes

Horizons g cn, fortement bariolés

Ils sont attribués à un engorgement temporaire de profondeur par la nappe sous-alluviale lors de la crue; il en est plusieurs à la base de chaque profil, dus le plus souvent aux variations texturales, quelquefois à des fluctuations du niveau phréatique.

couleur

- 1 : jaune-brun (10 YR 6/6) jaune rougeâtre (7,5 YR 4/6)
- 2 : brun-jaune clair (10 YR 6/4) jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6 et 6/5)
- 3 : gris, gris foncé (10 YR 4-6/1) brun jaunâtre (10 YR 4/4)

ségrégations : souvent anastomosées, rarement linéaires, ferrugineuses et manganésifères, ces dernières parfois indurées en petites concrétions (texture argilo-sableuse); marmorisation

- 1 : rouge-jaune (5 YR 4-5/4-6) et noires
- 2 : jaune-brun (10 YR 5/8) noir
- 3 : rouge-jaune (5 YR 4/6) jaune rougeâtre (7,5 YR 4/6) brun (10 YR 4/4) noir

structure

- 1 : débit mamelonné ou polyédrique; compact
- 2 : débit mamelonné ou polyédrique; cohésion très forte à excessive; compact
- 3 : polyédrique en assemblage compact

horizons carbonatés

Ils se substituent à cet horizon en un très petit nombre de sites. Comme ils ressemblent à la base des Séries verticales, indépendamment de la texture, on les suppose nés d'une nappe plus particulièrement riche en carbonates de calcium et magnésium.

- 1 : brun-jaune, marmorisé, taches manganésifères au

- sommet, amas calcaires bourrant les pores
- 2 : brun-ocre, marmorisé; polyédrique en assemblage compact; amas calcaires
- 3 : brun (10 YR 4/4); polyédrique en assemblage compact; petits nodules calcaires (5 mm)

L'organisation de base est donc A-C ou A-(B)-C. Les hydroxydes de fer lavés de l'horizon A peuvent s'accumuler à sa base. La partie moyenne du profil est moins affectée par l'hydromorphie : on admet qu'il y reste toujours une certaine quantité d'air alors même que la base et le sommet sont engorgés. La porosité d'origine biologique (sol sableux) ou due au retrait (sol argileux) y est maximum. La nappe redistribue les hydroxydes de fer à la base du profil et y dépose des oxydes de manganèse, parfois des carbonates.

2.126 Sols Hydromorphes divers

Où les sables plongent directement dans les mares, il se forme des Sols à Gley de surface noirs :

- A-G 4/15 cm noir à gris foncé (10 YR 3-5/1); taches linéaires jaune rougeâtre (7,5 YR 7/8); massif; cohésion moyenne
- G 10/20 cm gris clair (10 YR 6-7/1); même taches; massif; cohésion faible
- g 45/65 cm même gris; taches jaune rougeâtre larges et diffuses.

Le Vetiver et des graminées prostrées sont responsables de cet accroissement des taux de matière organique.

Des Sols Ferrugineux Peu Lessivés à pseudogley, à horizon B parfois bruni (7,5 YR 4/4 au lieu de 5 YR 4/8) ont été décrits sur les levées hautes.

2.127 Données analytiques

Comme dans tous les Sols Hydromorphes sahéliens non calcaires, les rapports C/N sont bas, même dans les mares (cf. p. 480). Les taux de matière organique sont d'autant plus élevés que le sol est plus argileux, plus durablement inondé, sous couvert forestier plutôt que prairial.

Les pH des horizons de surface et, avec plus d'irrégularité, les coefficients de saturation, décroissent avec l'hydromorphie et, plus douteusement, avec les taux d'argile. Les sols les plus acides sont ainsi les Sols à Gley argileux. Ces grandeurs sont plus élevées dans les horizons profonds de pseudogley, qui sont près d'être saturés. La combinaison antagoniste de la désaturation et des taux d'argile et de matière organique (pour cette dernière T/A de 110 à 185 méq/100 g) situe le maximum des bases échangeables pour les horizons A dans les textures et le degré d'hydromorphie moyens. En profondeur, cette somme ne dépend plus que de l'argile. La répartition des bases fait apparaître un léger excès de Ca sur Mg, ce dernier plus abondant dans les Séries verticales. En profondeur les proportions de sodium approchent de celles de sols à alcali, bien que les pH soient encore acides ou tout juste neutres, notamment dans les horizons homogènes carbonatés.

La stabilité structurale est médiocre dans l'ensemble, les facteurs défavorables étant la richesse en sables fins, la faiblesse des taux de matière organique par rapport à ceux de l'argile, la disparition de la strate herbacée des sols les plus lourds et les plus engorgés. Elle est meilleure sous forêt, dans les textures moyennes, où le fouissage des phacochères crée une structure meuble.

La porosité totale décroît des sols sableux aux sols argilo-sableux, puis croît au delà grâce au retrait. La porosité résiduelle pour l'air à PF 3, estimation de la macroporosité du sol ressuyé, est petite dans les sols non fissurables et de l'ordre de grandeur du retrait, lequel s'opère avant ce degré de ressuyage, dans les autres. Seuls les sols les plus sableux ne sont pas asphyxiants. Les réserves en eau sont liées aux taux d'argile (A) par la régression :

$$\text{Humidité } \% \text{ (PF 3)} = 0,55 A + 1 \text{ (+ ou - 5,7)}$$

2.128

Conclusions

Deux milieux différents naissent de l'hydromorphie :

- en surface des horizons organiques, acides, d'où le fer peut être éliminé
- en profondeur des horizons saturés, localement carbonatés et enrichis en sodium, dont l'aspect brun-jaune,

homogène ou marmorisé, indique une affinité avec un milieu générateur d'argiles gonflantes.

La fertilité de ces sols se situe au-dessus de la moyenne, sauf dans les textures sableuses où l'acidité est trop élevée par rapport aux réserves minérales et organiques. Elle n'est donc pas la cause de l'abandon complet de ces terres. Les propriétés physiques seraient un obstacle plus sérieux, bien que des cultures y soient peu sensibles (sorgho) et qu'un travail du sol fait dans de bonnes conditions d'humidité valoriserait les sec-teurs les plus intéressants (types argilo-sableux). C'est probablement l'absence de techniques appropriées de labour et d'irrigation qui est à l'origine de cette deshé-rence des meilleurs sols dans une région où trop souvent les agriculteurs peinent sur des terres sèches trop usées (Série de Dolbel, p. 658). De belles forêts sont toutefois une conséquence heureuse de la sous-utilisation des alluvions du Gorouol.

2.13 Sites divers

2.131 Sols argileux et vertiques

On les observe dans des mares de décantation alimentées par des glacis à toposéquences smectitiques :

- aux sols calcaires de l'Ader Douchi, correspondent des Sols à Pseudogley de surface verticale (p.410)
- aux sols halomorphes sur granites, correspondent des Vertisols à alcali, où les ségrégations du pseudogley se forment difficilement (p.445)
- hors ceux qui sont situés dans une vallée bien alimentée comme le Gorouol, les sols argileux issus des toposéquences smectitiques calciques (Birrimien, Damagaram) ne reçoivent pas assez d'eau pour être classés comme sols hydromorphes mais comme vertisols topolithomorphes ou comme sols bruns tirsifiés.

Quant aux Sols à Gley de surface vertiques du Beli, ils pourraient résulter d'une argilisation in situ des alluvions (p. .).

Sols à Gley de surface et/ou Pseudogley d'ensemble

Le profil d'hydromorphie et l'acidité superficielle des sols du Gorouol appartiennent à un grand nombre de sites alimentés en matériaux plus sableux par une couverture où les sols ferrugineux sont plus fréquents.

Les bas-glacis (M.3) méridionaux sur granites où abondent les Sols Ferrugineux Lessivés à concrétions ruissellent vers des mares à Sols Hydromorphes lessivés sur leur périphérie (p.448) et des Sols à Gley de surface et Pseudogley d'ensemble sur leur partie aval encore inondée (Kéro) ;

0-15 cm A-G	: gris clair (10 YR 6/1); taches jaune - rouge; argileux; prismatique; cohésion excessive M = 1,47 Fl = 2,6 A = 36 S = 9,3 pH = 4,7
15-25 cm A-g	: taches jaune-rouge (5 YR 4/6) envahissant le fond gris; argileux; prismatique
25-70 cm (B)	: brun (10 YR 3/2); légèrement marmorisé; argileux; cubique; des faces lissées M = 0,6 Fl = 2,7 A = 48 S = 16,3 pH = 5,9
70-140 cm 2 g à G cm	: gris très clair (10 YR 6,5/1); taches jaunes très nombreuses; concrétions noires; sables feldspathiques; compact M = 0,14 Fl = 0,9 A = 18,8 S = 5,1 pH = 6,1

Le flat inondable de la Sirba a quelque intérêt pratique de par son extension dans la région où il traverse le Birrimien cuirassé (Ouro-Sawabé). Son matériel, qui n'est plus alimenté mais déblayé par le lit mineur, est plus évolué dans ses horizons profonds que dans la vallée du Gorouol :

site de Bolsi (NM 8)

Lat. : 13° 19' 30" N.
Long. : 1° 10' 0" E.
Cote : 211,5 m

Flat large de 200 m; 2,5 au-dessus du thalweg; quelques levées (+ 1 m); prairie et Mytragynes; le site est attribué au remblai inférieur

- 0-10 cm : brun-gris (10 YR 4,5/2); taches linéaires jaunes nombreuses; sablo-argileux; polyédrique (1 cm) en assemblage lâche; cohésion moyenne; forte porosité tubulaire
A g 1
- 10-25 cm : brun grisâtre (10 YR 5/2) marbré de jaune-rouge; des parois de pore décolorées; argileux; polyédrique (0,5-1 cm) en assemblage plus compact; surstructure prismatique; cohésion moyenne
A g 2
- 25-58 cm : gris-brun clair (10 YR 6/2); taches rouges (0,5 cm² - 2,5 YR 4,5/8) en amas verticaux; (B) g trainées verticales décolorées (e = 2 mm) marmorisé riches en pores; structure polyédrique très fine en assemblage compact d'orientation légèrement oblique; peu poreux
- 58-80 cm : gris très clair (10 YR 7/1); amas de taches rouge-jaune (5 YR 5/6); argilo-sableux; débit régulier; cohésion moyenne à forte; peu de pores
G
- 80-140 .. : phase plus argileuse, couleur et ségrégations similaires

Les glacis sur grès crétacé alimentent quelques mares semi-permanentes à l'ouest de Zinder, peuplées de Myrtagynes. On y a décrit des Sols à Gley de surface, polyphasés mais en moyenne sablo-argileux, à structures très compactes.

2.133 Sols à Gley de profondeur et à Pseudogley d'ensemble

Ces sols rares ont été observés autour de mares permanentes sur des alluvions riches en sables généralement issus des dunes voisines. La nappe phréatique y séjourne en permanence à un niveau peu variable et y produit du gley ferreux (Tegey, dans le bassin du Gorouol) ou des nodules calcaires (Rizia, sur le Birrimien de la région de Tera). Bien que très intéressants localement pour la culture d'arbres fruitiers, pour le maraîchage, ces sols ne sont jamais que pâturés.

2.134 Sols Alluviaux Mal Drainés

La forte érosion qui sévit sur les glacis du socle

situés à plus de 650 mm, alimente activement les lits majeurs du Goroubi et de la Dyamangou, au Niger occidental. Les minéraux des arènes, micas et feldspath, se retrouvent dans les alluvions dont la croissance rapide limite le développement pédologique (NK 77)

- 0-20 cm : brun-gris (10 YR 4/1,5); taches jaune-rouge
 A.g linéaires; argilo-sableux; cubique (5 cm);
 porosité tubulaire
 M = 1,9 A = 28 Fl = 1,9 S = 15,1 pH = 5,4
- 20-30 cm : gris à taches jaune-rouge très diffuses,
 l'ensemble brun jaunâtre; sablo-argileux; dé-
 bit mamelonné; cohésion moyenne à forte; po-
 rosité tubulaire fine
 A (g)
- 30-60 cm : sables fins micacés jaune rougeâtre (7,5 YR
 2 (G) 6/5) massifs, marmorisés
- 60-110 .. : gris clair à taches brunes et noires; marmo-
 risé; argileux; polyédrique en assemblage
 3 (G) b lâche, les faces des agrégats saupoudrées de
 sables fins; surstructure prismatique; cohé-
 sion excessive
 M = 0,47 A = 37 Fl = 2,9 S = 12,3 pH = 5,6

Ces sols riches en sables fins, compacts, acides, ont une valeur moyenne pour la riziculture et les traditions agricoles permettent dans ces régions de les cultiver. Les agriculteurs méridionaux ont en effet un outillage plus adapté aux terres lourdes.

Un autre flat alluvial du même type mais plus riche parce qu'à sols neutres est celui du Goulbi de Maradi, également cultivé en légumes (piment) coton, riz, etc... Les alluvions sont plus fines, très riches en mica (une vermiculite dont on engobe les céramiques locales) très hétérogènes :

site de Maradi (NE 55)

Lat. : 13° 35' 58" N.
 Long. : 7° 1' 13" E.

Flat inondé; cultures de piment, gombo; 625 mm.

Surface : crequelée; croûte de limonage de 1 cm

- 0-4 cm : gris clair (10 YR 6,5/1); fragments de croûte de limonage; taches linéaires jaune-rouge
- 4-13 cm : brun grisâtre (10 YR 5/2); taches jaune-rouge sur les racines; argilo-limoneux; polyédrique (1 cm) en assemblage lâche; forte porosité tubulaire
A g
- 13-60 cm : sables limoneux brun-jaune à taches très diffuses; une croûte de limonage au milieu de la phase
2 (g)
- 60-87 cm : argile gris-noir à taches très diffuses; polyédrique en assemblage compact; cohésion très forte
3 A (g) b
- 87-110 cm : brun-gris foncé (10 YR 4,5/2); taches diffuses jaune-rouge; très finement sablo-argileux; débit mamelonné; cohésion forte; compact et dur; cette phase domine dans l'ensemble des alluvions
4 (g)
- 110-120 cm : sables brun clair particuliers
- 120-200 cm : sables fins et sables argileux lités, bruns, marmorisés à leur base
6 a G
- 200-240 .. : gris bleuté (5 Y 4/1); des taches diffuses brun-rouge; argilo-sableux; finement polyédrique (0,5 cm) les facettes lisses; compact; humide
7 G

L'alluvionnement est ici celui d'une dépression du flat mais il ne produit pas une séparation des phases sableuses et argileuses aussi complètes que dans les biefs ou retenues dunaies sahéliennes. La masse des épandages de défluece est formée de sables très fins lités, très riches en paillettes micacées noires ou bronzées, où des dendrites noires et des films orangés et rouges sont hérités de l'hydromorphie lors du dépôt. L'évolution pédologique se borne à effacer la stratification sur les deux ou trois premiers décimètres par l'effet des racines et du retrait, à faire apparaître des cutines ferritisées autour des racines sur une dizaine de centimètres. Le gley ferreux peut apparaître dans les couches argileuses profondes.

Il n'y a pratiquement pas d'acidification superficielle ce qui, joint à des capacités d'échange assez fortes (T/A de 20 à 80 méq/100 g) à la saturation calcique, à la rareté du sodium (Na/t inférieur à 5%) à l'heureuse disposition des couches qui absorbent et retiennent bien l'eau, autorise des cultures relativement exigeantes et diversifiées.

2.2 LES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX GÉNÉRALEMENT À PSEUDOGLEY DE SURFACE, LES SOLS PEU ÉVOLUÉS D'APPORT MAL DRAINÉS, PARFOIS ALCALISES, IRRÉGULIÈREMENT INONDÉS PAR ÉPANDAGE DES RÉGIONS SAHÉLIENNES

Cet ensemble de sols juvéniles, de teintes brunes, est caractéristique du sahel. Le matériau en est formé d'alluvions, que n'atteignent plus les crues fluviales mais irriguées par une concentration du ruissellement pluvial, ainsi que de colluvions et de proluvions mises en place par ce dernier.

2.21 Les alluvions argileuses verticales

2.211 Vertisols et Sols à Alkali bruns de l'Azaouak

Les alluvions les plus récentes sont des argiles brunes à rougeâtres, à forte capacité d'échange et riches en sodium. L'aire de départ est formée des glacis sahariens entre l'Adrar des Iforas et l'Air, sur Crétacé inférieur. Les argiles de l'Irhazer, à analcime, aisément délitables (R. BOULET, 1966) ont probablement fourni l'essentiel du matériel. Ce dernier, identifiable dès la région d'Agadez, est parvenu jusqu'à la latitude 14° 30' où il s'est étalé en une très grande plaine de décantation dont la largeur atteint 5 km et dont la longueur cartographiée est de l'ordre de 100 km. Il s'emboîte dans les sables du niveau T.2 (p. 552) localement à sols peu différenciés de type S.3

(p. 960). La situation et l'évolution pédologique, très modérée, en font un équivalent des alluvions du Kadzel étudiées au paragraphe suivant.

Le flat, rigoureusement horizontal et souvent nu, se divise en bras anastomosés dont la largeur varie entre 100 et 1.000 m. Des argiles brun rougeâtre vertiques en occupent le centre. Des argiles plus foncées et hétérogènes se situent à la périphérie au contact des sables et s'étendent ensuite à toutes les dépressions T. La du Dallol Bosso après que les argiles rougeâtres aient disparues: on leur suppose une origine plus locale, ce d'autant plus que leur capacité d'échange est plus basse. La pluviosité (moins de 450 mm) et l'isolement par les sables réduisent l'hydromorphie au seul engorgement pluvial, localement renforcé par épandage. La végétation n'est qu'herbacée et très éphémère sur les argiles vertiques. Une steppe d'épineux à Balanites, Acacia raddiana, seyal, senegal et tapis herbacé à Schoenefeldia croît sur les argiles plus sableuses des bordures. L'ensemble n'est qu'un pâturage médiocre.

Site de Tigezefen (NI 52-53)

Lat. : 15° 13' 0" N.
Long. : 3° 23' 30" E.

Centre du flat, avec traces d'épandage des eaux de ruissellement : NI 53; bords du flat, entre de fausses levées sableuses : NI 52; 350 mm de pluies

Vertisol topomorphe alcalisé : NI 53

Surface : fissurée (0,5 cm); fine couche (1 cm) de petits agrégats

0-17 cm : brun rougeâtre (7,5 YR 4/4); très argileux; concrétions millimétriques rondes et noires présentées dans tout le profil; prismatique (10 cm); sous-structure en plaquettes légèrement lissées (4 x 2 cm) en assemblage compact mais friable; cohésion des agrégats excessive; compact; à la base de l'horizon les fissures élargies sont emplies de plaquettes verticales (e = 1-2 cm)

17-44 cm : mêmes couleur et texture; polyédrique (0,5-2 cm) à cohésion excessive en assemblage compact mais friable

- 44-88 cm : mêmes couleur et texture; prismatique (10-30 cm) sous-structure en plaquettes obliques (5 cm) à faces rugueuses; sous-structure à agrégats petits et aplatis (2 mm); cohésion très forte; pores cylindriques (0,25 mm) bourrés de carbonates
- (B) v Ca
Entre 63 et 88 cm, teinte brune (7,5 YR 4/2) disparition de la fissuration prismatique, faces des plaquettes lisses
- 88-220 .. ; brun (7,5 YR 4/2); ségrégations très diffuses et peu contrastées; très argileux; polyédrique en assemblage compact
- racines : chevelu radiculaire dans les fissures jusqu'à 70 cm

La texture très argileuse et peu limoneuse est typiquement celle d'une argile de décantation. Théoriquement la pluviosité moyenne ne produit d'humectation que jusqu'à 45 cm. L'horizon fissuré superficiel correspond vraisemblablement à l'engorgement pluvial. Le second, plus profond, a pu être formé par l'eau d'épandage lors d'années exceptionnelles. Tous deux sont séparés par un horizon plus massif dû au délitage des parois des fissures par les eaux d'infiltration pluviales. Les taux de matière organique sont de 25% inférieurs au minimum des alluvions du Gorouol, compte tenu des taux d'argile. Cette pauvreté va de pair, ainsi qu'il est fréquent, avec une répartition isohumique. Le fer libre est peu abondant (3 à 4% des taux d'argile) mais croît relativement à celle-là vers la base du sol, héritage, avec les concrétions, d'une pédogenèse jadis plus active. Les taux de sodium et de sels (sulfates, chlorures, carbonates de sodium) sont à la limite inférieure des sols salins et des sols à alcali et maxima dans l'horizon fissuré profond, probablement par lixiviation. L'instabilité structurale est excessivement forte, la masse du sol se dispersant immédiatement. Il n'y a guère que 20% d'agrégats après pré-traitement à l'alcool, soit deux à trois fois moins que dans les vertisols calcaires de l'Ader Douchi qui ont la même texture.

Sol à Alcali, brun : NI 52

Surface : fentes de retrait et fine couche d'agrégats

- 0-19 cm : brun-gris (10 YR 4/2,5); argilo-sableux, les sables étant ceux, grossiers, du niveau T.2; prismatique (10 x 5 cm); sous-structure en plaquettes
- A

(1-3 cm); cohésion excessive; compact

19-88 cm : brun-jaune foncé (10 YR 3,5/4); polyédrique (3 cm); en assemblage compact; cohésion très forte. quelques pores tubulaires

De 46 à 88 cm, pseudomycelium calcaire très diffus

88-175 cm : brun-noir (10 YR 3/2); argileux; polyédrique croissant en taille vers la base (5 cm) à faces lisses, en assemblage très compact; cohésion excessive; compact; nodules calcaires (2 mm) tendres

175-230 .. : gris (10 YR 5,5/1) bariolé de brun-jaune et brun-rouge (10 YR 5/6 et 5 YR 5,5/4); très sableux; massif; très dur; pas de carbonates

racines : fines et localisées dans les fentes jusqu' à 50 cm

Le profil est polyphasé et complexe. La phase supérieure a les mêmes répartitions de la matière organique, du calcaire et des sels solubles que le vertisol. Elle peut être sableuse et alors légèrement acide (pH de 6,4). La phase moyenne, plus argileuse et organique, paraît avoir reçu son carbonate de la nappe qui était emmagasinée dans les sables sous-jacents avant d'être fossilisée. Sa structure, qui peut être verticale, sa texture, qui peut être argilo-sableuse, sa couleur, qui peut être plus rouge (5 YR 4/4) son degré d'alcalisation, qui peut être très faible (Na/T de 3%) sont variables. Son instabilité structurale est cependant constamment forte, les taux d'agrégats stables à l'alcool n'étant que de 8 à 12% et IS étant compris entre 4 et 8.

Le profil organique et la lixiviation des sels jusqu'à 45/90 cm sont les effets de l'humectation pluviale des sols. La nodulation carbonatée ou manganésifère, l'alcalisation des horizons plus profonds sont des caractéristiques d'un engorgement jadis plus prononcé par la nappe des sables sous-jacents et probablement par une inondation plus forte (gley déferrifiant). L'instabilité structurale est liée à l'alcalisation à l'échelle du flat mais pas à celle du profil (cf. p. 53)

Les Vertisols Topomorphes des plaines argileuses
du Damergou

Les glacis à Vertisols Lithomorphes, à Sols Régiques vertiques sur Turonien supérieur du Damergou (p. 345 et 351) s'achèvent sur des plaines de décantation argileuse situées sur les principaux axes de drainage. La plus importante, longue de 30 km et large en moyenne de 1 km, draine le sud de ce massif de collines vers la vallée d'Eliki, ancien affluent du Goulbi N'Kaba. La décantation ne se produit plus que dans un chapelet de mares temporaires à bois d'Acacia nilotica et pubescens. Elles sont reliées par des surfaces plus sèches et étendues canalisant les eaux de ruissellement dans un réseau de chenaux anastomosés, couvertes d'une steppe arbustive épineuse (Acacia seyal, raddiana, senegal, Zizyphus, Cordia) à tapis herbacé annuel (Panicum humilis). L'inondation est très brève, la lame d'eau d'épandage ordinairement de l'ordre du décimètre, cela pour une pluviosité de 300 mm. Le pseudogley de surface et les différences habituelles des taux de matière organique, du pH, différencient médiocrement les sols des mares des sols des aires à chenaux :

Horizon A

chenaux : dépressions de l'ordre du m².

- 20 cm
- brun-jaune (10 YR 5/4)
- argilo-sableux; crépis sableux sur les faces d'agrégats
- prismatique : blocs de 50 cm avec fissurés de 6 cm, puis blocs de 5 à 10 cm avec fissures de 2 à 5 mm; sous-structure motteuse cubique (5 cm) en plaquettes au sommet (3 x 0,5 cm); cohésion excessive; compact; radicelles ramifiées dans les fissures; retrait : 12%

mare : pas de micro-relief; croûte argileuse millimétrique

- 30 cm
- brun (10 YR 5/3); taches jaunes sur les racines et volumes décolorés gris clair
- argileux
- prismatique : blocs de 25 cm et fissures de 3 cm; sous-structure cubique à polyédrique; quelques faces

patinées; cohésion excessive; pores tubulaires rares; retrait : 9%

M = 0,4-0,8 A = 30-55 S = 17,4-17,9 Ca = 8,4-11,5 pH = 8,2-6,1
C/N = 6,6-8,7 L = 10-20 V = 87-100 Na = 1,6-0,4
CE = 0,127-0,051 mmhos

(premier chiffre : sol d'aire à chenaux; second chiffre : sol de mare)

Horizon (B) vv

- brun à brun olive (10 YR 4/3,5 à 2,5 Y 4/3)
 - argileux
 - prismatique; sous-structure motteuse en plaquettes obliques à faces lissées et striées; cohésion excessive
- A = 60 S = 32 Ca = 25 pH = 8,0
L = 14 V = 100 Na = 1,9 CE = 0,127

Ces terres, abandonnées aux troupeaux qui n'y trouvent qu'un pâturage de bonne qualité mais peu abondant, conviennent parfaitement au sorgho de décrue.

2.213

Les Sols Peu Evolués d'Apport et les Vertisols Topomorphes des Maggia

La couverture des versants et des plaines d'épandage dont le régime hydrique dépend essentiellement de l'engorgement pluvial ponctuellement renforcé par des retenues, a été étudiée dans ses deux séquences principales, calcaire (p.944 et suiv.) et ferrugineuse (p.692 et suiv.).

2.22

Les alluvions complexes à action de nappe étendue et inactuelle en tout ou partie

2.221

Les Vertisols Topomorphes, les Sols Peu Evolués d'Apport Bruns et Mal Drainés, les Sols Hydromorphes et Halomorphes des alluvions du Kadzel

Le Kadzel a reçu les alluvions les plus septentrionales : d'une grande ceinture d'épandages deltaïques qui entoure le lac Tchad depuis le Logone jusqu'à la Komadougou, entre les marges lacustres de 300 m et 287 m. Au Niger, elle dessine un grand triangle large de 60 km le long du lac et haut de 120 km le long de la plage de 300 m au nord-ouest (fig. 40) du remblai à sols rouges au sud-est (cf. p. 572). Elle est comme partout formée de levées très basses et sinueuses séparées par des plaines d'épandage et de décantation qui par leur disposition relative et leur orientation définissent trois secteurs :

- a.1 : entre les cotes 300 et 295 m, ce sont surtout des plaines argileuses qui se sont mises en place dans le sillon séparant le remblai de la plage p.2
- a.2 : entre les cotes 295 et 287 m, les alluvions du bas-Kadzel sont formées de faisceaux complexes de levées lancées vers le nord par la Komadougou
- a.3 : aux cotes les plus basses sont les alluvions du lit majeur actuel ou subactuel de la Komadougou et, près de N'Guigmi, des alluvions lacustres à diatomites d'âge relatif indéterminé.

La jeunesse des sols n'a pas permis de découvrir des différences décisives entre le degré moyen d'évolution des divers secteurs, en éliminant celles qui tiennent aux modes actuels d'humectation. Les alluvions les plus hautes a.1 et a.2 et les dépôts lacustres ne sont plus inondés et ne reçoivent qu'entre 250 et 380 mm de pluies. Quelques mares très temporaires peuvent se former car ce matériel est très peu perméable. La Komadougou inonde encore les plaines d'épandage à une distance de 2 km (Boso) à 15 km (Boudoum) du lit mineur.

Dans toute leur gamme texturale, qui va des sables purs ($A = 0,5$) aux argiles de décantation ($A = 55$) ces dépôts conservent les caractéristiques suivantes :

- fraction sableuse très fine, à modes de l'ordre de 0,1 mm (cf. 70) ;
- fraction limoneuse peu abondante (A/L de 4 à 10)
- capacité d'échange de 40 à 55 méq/100 g. (argile)

Le sodium, les sels solubles, les carbonates qui ne sont que trop abondants ont été redistribués et concentrés dans des sites ou des horizons particuliers par une nappe phréatique qui s'est retirée de la plus grande partie des alluvions.

La végétation est celle de sols compacts et arides. Le fonds en est un couvert arbustif clairsemé à *Acacia rad-diana*, *Acacia senegal*, *Salvadora persica*, *Cordia gharaf*, *Boscia senegalensis*, *Maerua crassifolia* avec un tapis herbacé annuel à *Aristida adscencionis*, *Schoenefeldia gracilis*, *Panicum humilis*. Il est plus ouvert sur les flats argileux irrigués naturellement par épandage; il s'annule sur des Sols à Alkali. Il est remplacé par des bois armés à seyal et *Acacia nilotica* dans les mares longeant la Komadoukou, par des peuplements d'*Hyphaene thebaica* ou des galeries à *Tamarindus indica* sur les levées et berges de la zone d'inondation.

Ce couvert et la mollesse de la topographie, ne suffisent pas à empêcher une érosion en nappe très forte qui sévit particulièrement à la base des levées. Comme elle affecte toute espèce de sols, y compris ceux du remblai (cf. p.790 et suiv.) on ne l'attribue pas à une organisation pédologique particulière mais à l'amenuisement climatique de la végétation, aggravé par l'imperméabilité de ces matériaux très fins et localement par les cultures.

Ces dernières se situent toutes sur la berge de la Komadoukou ou autour des mares du lit majeur. Le blé dur, le piment, divers légumes sont irrigués en saison fraîche par petites doses et sur de petites parcelles sur les sols les moins argileux. Ces précautions n'empêchent pas qu'un salant blanc alcalin ne remonte parfois et déprime la culture, surtout à la périphérie du lit majeur.

Comme type moyen des Vertisols, nous avons choisi un profil (NB 99 Geskerou) du secteur a.2 uniquement inondé par concentration de nappe :

Lat. : 13° 55' 30" N.
Long. : 13° 13' 48" E.

Prairie rase à *Schoenefeldia*; quelques gommiers et *Balanites*; 325 mm de pluies

Surface : rigoureusement plane; fissures de 1 cm tous les 35 cm (retrait de 3%)

0-3 cm : croûte argileuse gris-brun à taches ferrugineuses linéaires rouges (racines) à gros pores tubulaires (4 mm)

- 3-30 cm : brun; marbrures brun foncé peu distinctes;
 argileux; prismatique (35 cm); sous-structure
 (A) (g) prismatique (10 cm); sous-structure en pla-
 quettes horizontales grossières (5 x 2 cm)
 en assemblage compact; toutes les faces ru-
 gueuses; cohésion excessive; porosité des
 mottes fine et tubulaire, peu développée
 A 10 cm, un lit irrégulier de sables fins
 est encore visible
- 30-70 cm : brun; argileux; les fissures verticales de
 premier ordre se prolongent et s'élargissent
 (B) v jusqu'à 2 cm à la base de l'horizon où appa-
 raissent des taches jaune-rouge; sous-struct-
 ure cubique, oblique, à faces non lissées;
 sous-structure polyédrique fine à facettes
 lisses en assemblage compact et oblique; co-
 hésion excessive; quelques pores tubulaires
- 70 cm : fissure horizontale (joint de sédimentation)
- 70-120 cm : gris; taches jaune-rouge nombreuses; argileux;
 prismatique (25 cm) les fissures ne prolon-
 geant pas les précédentes; sous-structure po-
 lyédrique fine (0,5 cm) à facettes rugueuses
 2 g Na Ca en assemblage compact; cohésion très forte;
 compact
 des concrétions noires arrondies (1 cm);
 des grains calcaires

La phase supérieure est jeune et peu humectée car le dé-
 veloppement des structures n'a pas effacé complètement
 le litage et les ségrégations sont peu distinctes. La
 phase profonde est un ancien niveau d'engorgement de nap-
 pe alcalisé, plus évolué que le reste du profil (concré-
 tions). La compacité, liée à une instabilité structurale
 extrême (IS = 13) la pauvreté en matière organique sont
 des caractéristiques qui sont celles de tout le flat.

Les sols vertiques du secteur a.1 réunissent des carac-
 tères qui sont des indices d'une évolution plus poussée;

- microrelief d'écoulement (chenaux larges de 5 m) et
 à petites dépressions ($\emptyset = 20$ cm)
- structure en plaquettes obliques à faces lisses apparaissant dès 15 cm
- couleur plus sombre (gris foncé 2,5 Y 4/2)
- petits nodules calcaires dès la surface.

Comme ils sont plutôt moins humectés que les précédents, il faut qu'ils soient plus anciens. Lorsque la texture n'est qu'argilo-sableuse, l'aspect morphologique est celui des sols tirsifiés, bruns (10 YR 3/2) à structure prismatique et cubique.

Dans la partie du secteur a.3 qui fait encore partie du lit majeur, la phase argileuse de mares temporaires évolue en Sols à Gley de surface vertiques gris (NB 97 Geskerou) :

Lat. : 13° 29' 03" N.
Long. : 12° 49' 24" E.

Fond de mare temporaire; hauteur de l'eau : 33 cm au plus; bois de seyal et d'Acacia nilotica.

- Surface : fissures de 2 cm tous les 45 cm (retrait de 4%); petites dépressions arrondies ($\phi = 20$ cm); faces supérieures des prismes bombées; croûte argileuse de 2 mm très poreuse avec taches ferrugineuses à la base
- 0-20 cm : gris clair (5 Y 5,5/1); taches linéaires rougeâtres nombreuses autour des racines;
A-G vv argileux; prismatique (10 x 20 cm) sous-structure en plaquettes (8 x 1 cm) obliques de 30° sur l'horizontale en assemblage peu compact; sous-structure finement polyédrique; cohésion excessive; pas d'autre porosité que celle qui est due aux racines
- 20-46 cm : surface des agrégats brun-olive (2,5 Y 5/4) et intérieur gris-olive (5 Y 5/2, aspect réduit); taches linéaires jaunes (10 YR 6/8); argileux; humide; masse plastique divisée de faces lisses et obliques dont l'équidistance peut ne pas dépasser 5 mm; compact
g + G v
- 46-110 .. : gris (5 Y 5/1,5) la surface des agrégats légèrement plus brune; peu de taches; argileux; humide; surfaces obliques très serrées (5 mm)
G Ca Na v
Des grains calcaires de 2 mm; gris-olive (5 Y 5/2) dès 90 cm où apparaissent des inclusions sableuses

L'acidification superficielle due à l'engorgement est ici maximum mais les horizons profonds restent légèrement

alcalins et riches en sodium. La meilleure expression structurale est également le fait d'une humectation plus forte.

Les sols des levées et des plaines d'épandage sableuses et sablo-argileuses se ramènent à une organisation de types A-C ou A-(B)C, à horizons gris et bruns en surface, jaunâtres et blancs en profondeur. Ils diffèrent par la nature simple ou complexe du matériau, par les structures, par le profil des ségrégations, par la répartition des carbonates et autres sels, fonctions des modes d'alluvionnement et d'engorgement et de leur histoire.

Dans les plaines d'épandage actuellement sèches, des secteurs a.1 et a.2 dominant des Sols Peu Evolués d'Apport mal drainés, complexes, où l'engorgement pluvial produit un pseudogley très diffus (NB 64 Kabelawa) :

Lat. : 13° 42' 48" N.
Long. : 12° 57' 10" E.

Plaine à pente peu perceptible; steppe arbustive à Commiphora, Acacia raddiana et seyal, Salvadora, Cordia, avec tapis herbacé à Schoenefeldia gracilis; 290 mm

Surface : croûte feuilletée à lits de sables particuliers

0-7 cm : brun grisâtre (2,5 Y 5/2); taches jaunes en surface; finement sableux; feuilleté en surface
A g puis massif à débit régulier; cohésion moyenne; compact; radicelles horizontales peu ramifiées

7-13 cm : brun-jaune (10 YR 5,5/4); taches grises très diffuses; sableux; débit régulier; cohésion faible; radicelles très ramifiées
C

Pas de transition; croûte

13-22 cm : brun sur 3 cm puis brun-jaune; sableux; débit régulier; cohésion moyenne à forte; très fine porosité tubulaire
2 A-C

22-27 cm : brun pâle (10 YR 6/3); taches brun-jaune; à lits sableux

27-45 cm : brun pâle (10 YR 6/3); taches linéaires jaunes; sablo-argileux; prismatique (20 cm); cohésion très forte; peu poreux
3 A g

Le profil est neutre à légèrement alcalin, sans taux de sodium élevés. Des accumulations de carbonates insolubles ont été observées dans les mêmes sites en surface de phases sablo-argileuses (NB 65) :

- 0-17 cm : sables hétérogènes brun-jaune (2,5 Y 5,5/3)
à taches ferrugineuses très diffuses, massifs
- 17-30 cm : brun-gris foncé (2,5 Y 4,5/2); petites taches jaunes; sablo-argileux; polyédrique en
2 Ab Ca assemblage compact; cohésion moyenne
Des amas calcaires friables; pseudomycelium dans les pores; taches à centre noir (3 mm) légèrement durcies
- 30-54 cm : brun-olive clair (2,5 Y 5/3): taches jaunes;
3 C g sableux; massif, débit régulier
Des punctuations calcaires

La répartition du carbonate désigne une migration per ascensum. Sur les levées, l'érosion dénude d'anciens horizons d'engorgement de nappe à nodules ferrugineux allongés, rhizoïdes, brun rougeâtre et noirs (7,5 YR 4/4 et 5 YR 3/1) assez gros (4 cm) et durcis. Les restes en place de ce matériel sont imprégnés de petites quantités de carbonate de calcium et de sodium dont les taux maxima, de l'ordre de 2%, se situent au voisinage de la surface actuelle du sol (0-5 cm, NB 90). Une accumulation de même nature mais plus considérable (3,8% de carbonates) a été observée au sommet de bancs diatomitiques de la même région (NB 67). Elle est donc indépendante de la nature du sol et apparaît comme un mécanisme récent, postérieur à certaines formes d'hydromorphie de nappe.

Un pseudogley plus prononcé et une légère acidification caractérisent les sols encore inondés du secteur a.3 (NC 9, Deyse) :

Lat. : 13° 11' 19" N.
Long. : 12° 30' 25" E.

Plaine inondable très légèrement ondulée; sommet de butte; pénicillaire; 390 mm

0-10 cm : brun (10 YR 5,5/4); finement sableux; fines
A.11 p fissures tous les 35 cm; massif; cohésion forte; fine porosité tubulaire

- 10-40 cm : brun (10 YR 5,5/4) très nombreuses taches ferrugineuses jaune rougeâtre (7,5 YR 5/6) diffuses, souvent linéaires (4 cm) à centre noir; sableux à sablo-argileux; prismatique (20 cm) sous-structure polyédrique; cohésion très forte; très forte porosité tubulaire (2 mm)
- A 12 g
- 40-64 cm : brun pâle (10 YR 6/3); mêmes taches; volumes décolorés gris très nombreux; sablo-argileux; débit polyédrique; cohésion et dureté excessives; quelques pores
Nombreuses concrétions noires à halo rougeâtre (1-2 cm)
- AC g cn
- 64-107 cm : brun pâle (10 YR 6/3); larges taches jaunes (10 YR 6/6) verticalement orientées; sablo-argileux; massif, débit régulier; cohésion et dureté fortes
Concrétions noires plus friables (1 cm, 8/dm²)
- AC g cn
- 107-160 ... : blanc (10 YR 8/3); taches jaunes de plus en plus diffuses et petites vers la base; sableux; massif; cohésion moyenne
Plus de concrétions au dessous de 140 cm
- 2.C (g)

Au pseudogley de surface s'ajoute un pseudogley de profondeur dû à une nappe emmagasinée dans les sables décolorés sous-jacents dont des concrétions ferrugineuses et manganésifères, un durcissement situe le toit vers 65 cm. Bien qu'il ne soit pas alcalisé, le sol est très dur et compact, caractéristique constante de ces alluvions qui se révèlent quasi-imperméables à l'analyse.

A la périphérie des zones d'inondation, dans des sols à morphologie très voisine, se produisent des concentrations le plus souvent modérées de carbonate et sulfate de sodium, calcium et magnésium. Lorsque le calcaire domine, les structures peuvent être affinées. Bien que les mesures ne décèlent guère d'amélioration de la perméabilité de surface, ces terres sont alors spécialement recherchées pour l'irrigation (NC 12, Deysa) :

Lat. : 13° 09' 41" N.

Long. : 12° 31' 14" E.

Plaine légèrement ondulée; bordure densément boisée; Tamarindus, Acacia raddiana, seyal, Balanites, Hyphaene; jardins (oignons); 390 mm.

Surface : croûte grise

0-5 cm : gris-brun; très fines marbrures brunes;
 sablo-argileux; des fissures fines tous les
 A p 6 cm; porosité tubulaire forte et grossière

5-25 cm : brun-gris (2,5 Y 5/2); taches diffuses jau-
 nes; sablo-argileux; structure motteuse po-
 A g Ca lyédrique de 2 cm; cohésion très forte; po-
 porosité tubulaire médiocre
 Effervescence

25-67 cm : brun pâle (10 YR 6,5/3); taches jaunes de 5
 mm, nettes; sablo-argileux; finement polyé-
 (B) g Ca drique en assemblage (3 mm) compact; cohé-
 sion très forte; peu poreux
 Des amas calcaires de moins de 1 cm

67 cm : joint de stratification

67-125 cm : blanc (10 YR 8/4); taches jaunes de moins
 2 C (g) de 1 cm; sables fins, particuliers

Comme ces structures sont très instables, que les taux de sodium sont déjà élevés (7% de T) ces sols sont à la limite des Sols à Alkali et de minimes différences analytiques les distinguent des profils qui dans les mêmes sites ont la compacité et la stérilité caractéristiques de l'alcalisation (NC 11 Deysa) :

Lat. : 13° 11' 19" N.
 Long. : 12° 30' 25" E.

Levée très basse (1 m) en bordure d'une dépression argi-
 leuse; végétation clairsemée et fortement contrastée à
 Salvadora et Schoenefeldia; larges surfaces nues et déca-
 pées; 390 mm

0-25 cm : gris-brun clair (10 YR 6/2); mouchetures bru-
 nes; finement sableux; prismatique (9 x 5 cm);
 A sous-structure cubique (3 cm) en assemblage
 compact; cohésion et dureté excessives; poro-
 sité tubulaire fine médiocre

25-51 cm : plus clair (2,5 Y 6/2); sablo-argileux; pris-
 matique avec sous-structure cubique plus dé-
 (B) Ca Na veloppée; cohésion et dureté excessives; po-
 porosité tubulaire plus grossière.
 Amas calcaires friables de 5 mm

51-80 cm : sables fins blancs (2,5 Y 7/3) compacts et
2 C (g) massifs
Très légère effervescence

Les sols à alcali sont toujours des sols calcaires et représentent environ 50% de l'effectif total de ces derniers. Cette association et le type de répartition verticale des carbonates désignent la nappe sous-alluviale comme l'origine du sodium et l'évaporation comme le moteur de sa concentration. Dans les conditions d'humectation naturelles, les sols carbonatés ne renferment pas beaucoup de sels solubles, les conductivités étant au plus de 0,3 millimhos (1/10) soit à la limite inférieure des sols peu salins. De fait, ils ne produisent de salant superficiel qu'irrigués; ils se recouvrent de granulations sulfatées ou d'efflorescences blanches natronées.

Un type différent de Sol Halomorphe a été décrit dans une étude de détail du lit majeur (SOBERON, 1964). Il est à pseudogley, noirâtre, sableux à sablo-argileux, à structure "poudreuse". La conductivité y est de 3,18 millimhos (1/10) mais le pH n'y atteint pas 8,2. Des chiffres analogues ont été relevés dans le même travail à la base d'un vertisol : pH de 7,8 et conductivité de 3,25 millimhos. La nature des sels n'est pas précisée mais il s'agit probablement d'une salure par des sels neutres, probablement par du sulfate de sodium, dont nous avons noté également un exemple dans l'horizon C (g) sous-jacent à un sol à alcali calcaire : pH de 7,6, conductivité de 1,0 millimhos. Il y a donc probablement quelques aires à Sols Salins dans les alluvions de la Komadougou.

En résumé, sur un matériel aux propriétés physiques invariablement mauvaises quel que soit le chimisme, une durée d'évolution de l'ordre de cinq millénaires a produit :

- une transformation en vertisols des phases dont les taux d'argile atteignaient 45% et mieux 50-55%. L'apparition des structures est favorisée actuellement dans les mares inondées (a.3). Dans le secteur a.1, l'aspect d'argile noire, le gilgai, les nodules calcaires et manganésifères sont attribués à un âge plus élevé.
- une accumulation médiocre d'une matière organique bien évoluée répartie de façon décroissante dans le profil. Elle croît avec les taux d'argile et avec l'intensité de l'engorgement.
- un premier ensemble de traits de nappe, dont des

concentrations ferrugineuses noduleuses, inactuel au moins dans les secteurs a.1 et a.2.

- un second ensemble encore actuel, probablement lié à une nappe sous-alluviale très temporaire dans le secteur a.3, à un régime hydrique "exsudatif" dans les secteurs a.1 et a.2. Il consiste en une concentration superficielle très modérée dans les conditions naturelles (moins de 3%) de sels pour la plupart peu solubles dominés par le carbonate de calcium, variablement mêlé de sulfate et de carbonate de sodium. Elle s'accompagne de rétention de sodium par le complexe absorbant jusqu'au taux des Sols à Alkali dans un cas sur deux pour les textures légères et dans tous les cas pour les textures argileuses. Les Sols Salins sont exceptionnels et probablement de type pulvérulent et sulfaté. Il s'en forme des natronés au moins pendant les premières années d'une forte irrigation.
- des traits d'engorgement de surface à peu près omniprésents même dans les aires les plus sèches du fait de l'imperméabilité du matériau. Ils sont nettement liés à l'intensité actuelle de l'hydromorphie et n'atteignent que rarement le niveau du Gley, sur les argiles vertiques. Ils sont corrélés avec un accroissement des taux de matière organique, avec une diminution des pH, des taux relatifs de sodium. Ce dernier caractère est fort net dans les sols vertiques dont le rapport Na/T est de 7 à 11% en surface et de 18 à 20% en profondeur; il tient évidemment à ce que les eaux de surface sont douces. Il n'empêche que l'engorgement de surface est responsable de structures presque aussi instables et encore plus grossières que celles liées à une alcalisation importante.

2.222

Les Vertisols Topomorphes, les sols à encroûtement calcaire de nappe, les Sols à Alkali Non Lessivés des dépôts de colmatage du sud-ouest de la cuvette tchadienne (Dungas-Malwa)

Au sud de Magaria (pluviosité de 600 à 650 mm) à l'extrême ouest de la cuvette tchadienne (fig.40 et 41) la couverture sableuse est régulièrement bosselée de rides à Sols Ferrugineux (p.901) et parcourue de dépressions peu accusées colmatées par un réseau hydrographique

inactuel venu de Nigeria, sorte de défluence issue du bassin de la rivière Hadejia, tributaire de la Komadougou (Northern Rivers, PULLAN R.A, 1962). Cette aire d'ennoyage s'étire parallèlement à ces grands axes fluviatiles entre la bordure de la cuvette (400-420 m) et la marge péri-lacustre de 320 m puis se continue au delà par les alluvions du Kadzel. Sa frange septentrionale entre au Niger dans la région précitée ainsi que, avec moins de certitude, dans les sillons interdunaires situés au sud de Maine-Soroa.

Des *Hyphaene*, des *Acacia* (*seyal*, *pubescens*) repèrent ces fonds moins cultivés que les terres sèches lorsqu'ils ne sont plus très sableux. Trois groupes de matériaux s'y rencontrent :

- des sables fins argileux à fort encroûtement calcaire. Ils ont été décrits dans la région adjacente de Nigeria (M.GAVAUD, 1968). L'encroûtement, pulvérulent, épais de 75 cm, situé à 1,5m de la surface du sol, couronne un horizon de 3 m à amas calcaires et abondantes taches ferrugineuses, disposition suggestive d'un dépôt par évaporation de nappe. Les carrières d'exploitation de ce matériel (Jiggin Série, PULLAN, 1962) permettent de constater que le niveau phréatique a disparu et que les sables fins argileux pourraient être le soubassement des dunes et ainsi être l'équivalent du remblai supérieur.
- des alluvions de colmatage emboîtés dans les sables dunaires. Ce sont des argiles et des sables fins argileux à sols noirs vertiques et à alcali et à sols à encroûtement calcaire moins important que dans les sables fins précités.
- des sables identiques aux sables dunaires, à sols gris et bruns de type A-C (g). Ils ont pu être remaniés par l'écoulement fluviatile et par les drains de la nappe phréatique jadis relevée par le colmatage, la Korama étant le plus important d'entre eux.

2.2221 Sol à alcali et dépôt calcaire de nappe : NA 66 Dantyo

Lat. : 12° 57' 35" N.
 Long. : 9° 13' 20" E.
 Cote : 374 m

Légère dépression; peuplement à *Hyphaene*, *Faidherbia*,

Acacia pubescens, Zizyphus, avec Sesbania; 610 mm.

0-20 cm : gris-noir; sablo-argileux; prismatique (10 x 5 cm); cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire médiocre; apport de sables ruisselés récent
A Ca Effervescent

20-50 cm : noir; sablo-argileux; fissures prismatiques de 2 mm tous les 4 cm; polyédrique (0,5-4 cm) en assemblage lâche; volumes à structure grenue; cohésion forte à très forte; la base fasciculée des souches d'*Typhaene* repose sur cet horizon
A b Ca Na Effervescent, avec grains calcaires

50-85 cm : plus noir; sablo-argileux; polyédrique en assemblage de plus en plus compact vers le base; cohésion excessive; porosité réduite
Na Ca cn Nodules calcaires gris à centre durci et cortex pulvérulent; concrétions ferrugineuses jaunes tendres; il existe des volumes foncés décarbonatés

Pas de transition

85-95 cm : sables fins très peu calcaires brun rougeâtre à taches ferrugineuses rougeâtres le long des racines; des volumes imprégnés de matière organique
2 C g cn Concrétions noires tendres

95-120 cm : sables fins blancs à taches brunes et jaunes; particulières

La matière organique de ce profil très alcalisé (Na/T de 38%) et hautement dispersible migre dans les sables sous-jacents. Les taux de calcaire croissent vers le sommet du profil et sont très faibles dans le magasin sableux de la nappe. Les taux de sels solubles sont dans les limites des sols peu salins.

L'accumulation calcaire est plus forte et l'alcalisation moins prononcée dans des sols plus sableux à profil similairement complexe :

2.2222

Sol Hydromorphe à accumulation calcaire diffuse sur
croûte calcaire (NA 67)

Lat. : 12° 57' 55" N.

Long. : 9° 13' 45" E.

Cote : 374 m

Dépression peu marquée; même végétation et pluviosité
que ci-dessus

0-32 cm : gris; finement sableux; débit régulier; co-
A Ca hésion faible; porosité tubulaire fine; sa-
bles éoliens ruisselés

32-70 cm : gris foncé (10 YR 4/1); taches jaunes très
A b Ca fines; finement sableux; débit régulier, lo-
calement structure grenue (4 mm); cohésion
faible; porosité très fine et forte
Effervescence forte; grains et pseudomy-
celium calcaires

70-125 cm : gris clair (2,5 YR 6/2); finement sablo-
(B) Ca argileux; structure cubique à polyédrique
(3-5 cm) en assemblage compact; cohésion
moyenne à faible
Très forte effervescence; pseudomycelium
et tubes concrétionnés calcaires

125-135 cm : nodules ferrugineux très abondants plus gros
à la base (5-10 cm) qu'au sommet (2-4 cm)
2 cn arrondis, à ciment brun-rouge et noir, enro-
bés d'une pellicule calcaire, très durs; mê-
me matrice que ci-dessous

135 .. : sables fins blancs et compacts très fortement
Encroûtement calcaires passant latéralement à une dalle
Ca calcaire massive

L'ensemble de ces profils diversement carbonatés serait
formé par la succession des trois phases suivantes :

- des apports sableux récents ruisselés des dunes ou
du flat; l'accumulation calcaire y est toujours dif-
fuse; ils évoluent en horizon organique à pseudogley
très discret
- des sables fins argileux dont le squelette est encore
celui des sables dunaires. L'accumulation calcaire y

est diffuse ou en nodules, importante (jusqu'à 25%) épaisse (60-130 cm). Le profil, de type A-C (g) à base jaunie lorsqu'il est peu calcarifié, est encore alcalisé et sa structure n'est guère améliorée ni dans son aspect ni dans sa stabilité

- des sables fins granulométriquement identiques aux sables dunaires mais dont la situation stratigraphique n'a pas été précisée. Ils ont l'aspect d'un magasin de nappe blanc et jaune, toujours avec un concrétionnement ferrugineux au toit, parfois avec un encroûtement calcaire comme ci-dessus. Le niveau phréatique est trop profond en saison sèche pour que le concrétionnement ferrugineux et probablement le gros de l'accumulation calcaire soient actuels. Il n'en est pas de même des formes diffuses superficielles qui envahissent encore les apports les plus récents.

Les Vertisols Topomorphes sont des sols assez rares. Ils manifestent par leurs fissures et un microrelief léger à creux décimétriques un retrait moyen (10%). Ils sont noirs, plus riches en matière organique que les sols du Kadzel, légèrement alcalisés dès la surface ($\text{Na/T} = 8\%$) mais leur structure a quelque stabilité. Leur argile possède une très forte capacité d'échange ($\text{T/A} = 90$) et par là apparaît la même que celle des Sols à Alkali. Ils ont été décrits dans des chenaux étroits séparés par de très petites élévations à sols calcaires de la région de Dungas. Des sols vertiques noirs analogues non alcalisés mais à granulations sulfatées ont été observés au sud de Maine Soroa.

L'ensemble est plus évolué que les alluvions du Kadzel tant en ce qui concerne les concentrations de calcaire et de fer que l'alcalisation et la formation d'argiles noires. La formation superficielle de calcaire diffus paraît également y succéder à des accumulations de nappe plus importantes qui ont affecté non seulement les dépôts de colmatage mais encore le substrat, dunes ou même remblai plus ancien (cf. p. 57).

Après les travertins et les concrétions gréseuses de l'Ader Douchi, ces formations sont le deuxième exemple de sols à croûte calcaire formés en période à haut niveau phréatique dans la couverture sableuse duhaire ou pré-duhaire. Les unes se situant à la base même de sols ferrugineux, les autres ne pénétrant pas à

l'intérieur du périmètre lacustre à sols bruns (320 m) elles paraissent toutes être contemporaines d'une pédogenèse rubéfiante en sites bien drainés. L'apparition de grandes quantités de carbonates de calcium dans la cuvette n'a pu qu'être favorisée par l'apparition, à une époque immédiatement antérieure, de toposéquences Sols Ferrugineux Lessivés - Sols smectitiques carbonatés sur les bas-glacis du socle et du Crétacé qui forment l'essentiel du bassin local.

2.3 LES SOLS HYDROMORPHES ET HALOMORPHES DE NAPPE

2.31 Les Sols à Gley et Pseudogley de profondeur ou d'ensemble, les Sols Salins, les Sols à Alkali Non Lessivés des dépressions des sables de la cuvette tchadienne

2.311 Situation

Les hauts niveaux phréatiques ainsi que l'écoulement en surface et les lacs ou marais qui leur étaient associés, ont laissé leurs traces dans les dépressions des sables de la cuvette tchadienne sous forme de :

- banquettes de sables remaniés à sols A-C (g) bruns (p. 894)
- dépôts lacustres ou palustres fins, à phases chimiques et organogènes
- profils hydromorphes à gley et pseudogley
- calcaire et sels solubles

Sur de grandes étendues, la nappe générale (p.535) est actuellement trop profonde pour agir sur les sols :

- le Kadzel, entièrement colmaté, où elle se situe à 25-40 m (p. 1029).

- la marge périlacustre de 320 m et ses annexes plus basses
- le Tioldé, le Tchidi N'Gourbaybé, soit la région entre le Mounio et le cordon de Tal, où le niveau phréatique est entre 5 et 25 m
- la région de Malwa-Dungass, au sud-ouest, partiellement colmatée (p.102^o)

Elle affleure encore largement à l'ouest du Mounio et dans le bassin de la Korama, où elle est réalimentée par la nappe des grès continentaux et par le ruissellement venu du socle. Les eaux sont closes dans les multiples dépressions héritées du vieux modelé dunaire ou s'écoulent par des drains tels que la Korama, les chenaux alimentant les petits lacs de la région de Guidimouni. Le N'Gatcholoul, réseau qui drainait le sud-est du Mounio, ne fonctionne plus mais à l'est la nappe affleure encore dans les dépressions profondes du Mandaram (Karger-Maine Soroa) pays de lacs et de salines. Tous ces secteurs où la nappe peut s'évaporer dans et en surface des sols sont à plus de 450 mm de pluies.

2.312

Matériaux

Dans les drains le matériau ne diffère guère des sables dunaire sauf à être superficiellement enrichi en argile et en matière organique noire ou grise. Les dépôts superficiels des eaux closes sont des argiles limoneuses, des diatomites, des calcaires, des sables à sulfures, dont un bon échantillonnage est donné par la coupe suivante (NB 57) faite à Maine-Soroa :

0-76 cm argile finement sableuse, avec Sol à Pseudogley calcaire

0-45 cm : gris clair (2,5 Y 6/2); taches jaune-rouge (7,5 YR 6/6) dans les pores et fissures; nodules calcaires (0,5 cm) et amas friables dans les pores; prismatique à cubique en assemblage compact

45-76 cm : moins de taches; amas plus nombreux

76-85 cm sables fins blancs (10 YR 7,5/2) à taches diffuses jaunes, non calcaires, particulières

85-115 cm argile limoneuse feuilletée, avec pseudogley

- 85-97 cm : gris (7,5 YR 5/0); taches rouges sur les joints et dans les pores racinaires; grains calcaires
- 97-108 cm : lit de sables fins blancs
- 108-115 cm : gris (10 YR 5/1); limono à sablo-argileux; taches rouges (5 YR 5/8) plus rares; grains calcaires

115-173 cm diatomite, avec Sol Peu Evolué Mal Drainé

- 115-124 cm : brune
- 124-168 cm : blanche (10 YR 7,5/1); pores (2 mm) à taches jaunes; remplissages de fissures bruns et sablo-argileux; feuilletée avec fissures verticales de 3 cm tous les 12 cm (retrait après émergence)
- 168-173 cm : brune verdâtre; très tachée; pénètre par des fissures dans les calcaires sous-jacents

173-190 cm calcaire tendre fossilifère; quelques pores; des taches jaunes rares; sommet feuilleté

190-300 cm "limons" (sables fins limoneux) avec sol à gley calcaire

- 190-275 cm : gris clair (10 YR 6,5/1) plus sombre sur les 25 premiers centimètres; très calcaire; nodules calcaires à la base; sulfures; pores nombreux mais non orientés (1 mm)
- 275-300 cm : plus jaune (10 YR 7/2); tests de gastéropodes, fragments de roseaux; moins de sulfures

300 cm sables fins verdâtres (5 Y 6/4) sulfureux

le sommet en est tranché et ondulé

La coupe montre des fluctuations importantes du plan d'eau avec des abaissments qui ont permis la formation

de sols palustres (Gley total et permanent) à 275 et 190 cm, la dessiccation du dépôt à 115 cm, la réception de sables dunaires ruisselés à 76 cm, finalement l'émergence et la redistribution du calcaire en grains, amas, par évaporation de la nappe phréatique à divers niveaux.

Les argiles finement sableuses et les argiles limoneuses feuilletées, souvent calcaires, sont les dépôts superficiels les plus répandus. Les diatomites n'affleurent largement que dans les sillons transversaux à la marge périlacustre de 320 m tant en amont (Tioldé, cote 325 m) qu'en aval (sillons de la plage p.2, cote 300 m). Il en existe également une grande étendue à l'angle nord du Kadzel autour de l'antique Garoumélé qui en fut construite à une cote assez basse pour être chevauchée par le cordon de 287 m. Une caractéristique commune des fractions argileuses est de posséder des capacités d'échange élevées (70-100 méq/100 g).

Dans les dépressions qui ne sont plus inondées en permanence, l'accumulation de matière organique, de calcaire, de sels, les profils hydromorphes correspondant au régime hydrique actuel, n'ont pas transformé ces matériaux et ces sols palustres anciens suffisamment pour que des degrés apparaissent dans leur évolution pédologique, toujours faible. Le litage sédimentaire est souvent visible dès deux ou trois décimètres de profondeur. Les argiles limoneuses ne se transforment pas en argiles noires vertiques, bien qu'elles puissent en avoir la texture et la capacité d'échange, à l'exception douteuse de sols situés vers la cote 400 m et plus haut au voisinage des glacis smectitiques du Damagaram et du Mounio. Il est donc probable que l'assec, sinon les matériaux superficiels eux-mêmes, est relativement récent. FAURE (1965) donne un âge de 5.900 BP (3.950 B.C) pour une vase noire de Bougdouma (Manga) sous deux mètres "d'argile verte". Les régimes hydriques actuels seraient ainsi apparus après la baisse du niveau phréatique qui a dû accompagner le retrait du lac de sa limite de 320 m (cf. fig. 42).

2.313

Les eaux et les sels

Les eaux phréatiques du Manga sont en moyenne peu concentrées, bicarbonatées et sulfatées calciques, pauvres en chlore et en magnésium, comme celles de la nappe du Continental Intercalaire qui se déverse par la bordure nord-ouest de la cuvette. Les eaux de surface, lacs, mares

temporaires, sont plus concentrées, sodiques, carbonatées ou sulfatées, plus riches en chlore.

L'évapotranspiration de saison sèche est le moteur principal de la concentration et de la modification des équilibres ioniques. Les traces d'anciennes aires à forte évaporation se retrouveraient dans la disposition des courbes d'égale résistivité, parallèles à des lignes de rivage présumées, dans l'abaissement du niveau piézométrique sous les "koris", ou drains fossiles (PIRARD, 1965). Les lieux d'hydromorphie active et de salant vif sont situés différemment, dans les surfaces de réalimentation de la nappe où son niveau est peu profond et relativement stable. Il est commode d'y séparer deux sortes de sols, ceux dans lesquels la nappe s'évapore, ceux au sommet desquels se concentre une saumure.

Dans le sol les sels sont séparés par ordre de solubilité croissante vers la surface. Les sels peu solubles, dont le carbonate de calcium forme la plus grande part, se déposent en profondeur. Les sels plus solubles forment des efflorescences superficielles, ordinairement un mélange de natron (CO_3Na_2 , $10 \text{ H}_2\text{O}$) et de sulfate de soude, avec de petites quantités de chlorures de sodium et de magnésium. Les bicarbonates sont rares (trona, CO_3HNa , $2 \text{ H}_2\text{O}$) ainsi que les efflorescences essentiellement chlorurées. Les concentrations croissent au-dessus de la nappe jusqu'à un maximum qui est le plus souvent en surface dans les sols sableux et homogènes. Elles sont plus faibles dans ces derniers mais les efflorescences s'y forment plus rapidement que dans les sols argileux. Les phases argileuses concentrent les sels, carbonate de calcium compris, des sols polyphasés :

- la vitesse de dépôt des sels est maximum au sommet de la frange capillaire, minimum dans le magasin. Si ce dernier est sableux, on constate que la salure y est de l'ordre de grandeur du produit de la porosité par la concentration, soit de 40 mg/100 g pour une eau à 1 g/l. Un sol à efflorescences peut n'être pas lui-même salin.
- la succion des argiles est grande mais leur imperméabilité fait qu'au-delà d'un débit de 1 mm/jour la frange capillaire est rabattue plus profondément que dans un sol sableux. Au Niger l'ETP est de l'ordre de 5 mm/jour et dans nos relevés de mars-avril la nappe des sols sableux à efflorescences se situe entre 45 et 90 cm, celle des sols argileux entre 0 et 30 cm, soit beaucoup moins que le maximum de 2 m indiqué par FAURE (1965).

- les argiles se dessalent et surtout se décarbonatent moins vite par le lessivage pluvial ou par redissolution lors de la remontée du niveau phréatique
- dans un sol polyphasé la frange capillaire tend à se localiser au toit d'une phase plus argileuse recouverte d'une phase plus sableuse. Les sels se concentrent dans le niveau le moins perméable, ce d'autant plus que les racines sont souvent arrêtées par un tel horizon.

L'évaporation des saumures produit des croûtes cristallines dont les variétés du sulfate de soude (thenardite, SO_4Na_2 et mirabilite $\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) les carbonates et bi-carbonates de soude, le chlorure de sodium en petite quantité, forment l'essentiel. Le sol sous-jacent est lui-même très riche en carbonates de calcium et magnésium, ainsi qu'en cristaux intercalaires de sels solubles. Il est suffisamment imperméable pour que les sels ne retournent pas à la nappe en saison des pluies (PIRARD, 1963). Si cette dernière s'abaisse trop en saison sèche il ne se forme plus de saumure ni de croûte. Parallèlement aux variations pluviométriques et piézométriques interannuelles l'aspect de ces dépressions se modifie : lac phréatique d'eau douce, saline, mare temporaire purement pluviale à sols n'exsudant plus de sels, mais pouvant être encore salins (SOULA, 1950). FAURE (1965) a recueilli quelques données touchant à ces fluctuations nécessaires à la formation des croûtes salines : hauts niveaux phréatiques en 1860, 1932-1939, 1960-1963 (+ 2 à 3 m) bas-niveaux en 1910-1930, 1941-1946 (- 2 m). Dans la même région des lacs situés entre Kargerri et Maine-Soroa, certaines salines produisent des sulfates, d'autres, plus nombreuses, des carbonates. Diverses explications théoriques en ont été avancées, incontrôlables faute d'étude de site suivie :

- cette diversité serait simplement le reflet de celle de la composition saline virtuelle de la nappe. Il resterait à expliquer cette dernière. De plus la proportion des mares à sulfates est trop faible dans cette hypothèse (10 sur 138 selon SOULA, 1950)
- le potentiel d'oxydo-réduction des sols, riches en matière organique, varie. En milieu réducteur (lac) des sulfures ferreux apparaissent, le sodium étant fixé par les anions carboniques libérés par fermentation ou en équilibre avec le gaz carbonique de

l'air; en milieu oxydant (assec) l'anion sulfurique apparaît et déplace le gaz carbonique, en même temps que se précipitent des hydroxydes ferriques; l'association mirabilite-nodules ferrugineux a été observée effectivement dans les sols à croûtes sulfatées; mais tous les lacs, se desséchant, ne produisent pas nécessairement de sulfates (P.JANITZKY, L.D.WHITTIG, 1964)

- des facteurs différant selon l'histoire de chaque site en expliqueraient la diversité : réservoirs anciens de sels, ablation par le vent et par l'homme.

2.314 Les vents et les sels

Les efflorescences sont balayées par les vents d'est au fort de la saison sèche dans les zones peu couvertes de végétation, telles les mares plus ou moins argileuses. Des poudres de très fins agrégats mêlés de cristaux salins sont transportées sur la face ouest des dépressions où parfois elles s'accumulent en monticules de l'ordre du mètre, sans la régularité des "lunettes" des grandes sebkhas, fixés par des tamerix. Des chutes assez abondantes pour tout couvrir d'une fine pellicule blanche, se produisent également en saison sèche. L'une d'elles, recueillie dans la nuit du 17.2.62 dans le Kadzel, contenait 20% de sels, en majorité des carbonates de calcium et magnésium, peu de sulfates et de chlorures, composition analogue à celle des horizons superficiels d'un sol salin plutôt qu'à celle d'efflorescences proprement dites. Ces apports ne sont probablement pas sans influences sur la réaction et sur les taux de plasma minéral des sols de ces régions (pp.724, 897, 951). Il s'y ajoute, selon ERIKSSON (1958) des précipitations salines d'origine marine, chlorures et sulfates. Elles ne sont pas absolument négligeables puisque pour une pluviosité de 250 à 500 mm, elles sont de l'ordre de 3kg/ha, soit le 1/5.000 des sels solubles contenus sur deux mètres par les sols bien drainés du Manga, ou encore 0,5 à 1% des cendres de la strate prairiale. Elles n'ont cependant qu'un rôle très secondaire quant à la localisation des sols salins.

2.315 Utilisation

Les saulniers, dont FAURE relève la présence dès 1.720 A. JC (1965) fabriquent sur place leur matériel d'extraction, filtres de sparterie et pots à cuire. Ils accrois-

sent la proportion du sel recherché, chlorure de sodium et de potassium pour l'alimentation, carbonate et sulfate de soude pour des usages artisanaux ou médicaux, en choisissant le matériau, croûte ou terre salines, ainsi que l'eau de percolation, puisée dans la mare ou la nappe. La faible concentration de l'eau phréatique permet aux cultures de voisiner avec la saline. Elles s'étagent sur les basses pentes de la dépression en une succession rapportée par SOULA (1950) :

- la mare
- le bougdouma, ou terrils épuisés
- le gyema, inculte, marge à sols à gley salés
- le kryo, à sols à gley de profondeur non salés; la nappe, à moins de deux mètres, sert à irriguer blé et maïs; plus haut croissent manioc et coton
- le moumni, bord extrême des alluvions, ceinturé d'*Hyphaene thebaica*
- la pente dunaire enfin, à sols brunis A-C puis brun-rouge.

Dans le bassin de la Korama, les eaux sont très douces pour peu que l'on s'écarte des drains principaux et irriguent de nombreux jardins dont la canne de bouche est le produit le plus notable. Les jardins de Guidimouni ont également grande réputation. Les sols salés à nappe éloignée de la surface sont au contraire stériles et déserts.

2.316

Sols à Gley et Sols Salins sableux

Cet ensemble bien représenté dans les drains de la nappe phréatique est caractérisé par la quasi-absence de transformations structurales et par une accentuation parallèle du gley de profondeur et des efflorescences salines dans une organisation de base de type AC (g) :

site de Dogo (NA 31)

Lat. : 13° 24' 47" N.
Long. : 8° 57' 50" E.
Cote : 402 m

Dépressions circulaires creusées dans un plateau sableux au nord de la Korama; fond (- 2 m); *Hyphaene thebaica*

Surface : 10 cm de sables particuliers bruns

0-20 cm : brun; très sableux; fissures très fines tous
A

les 30 à 70 cm; massif, débit régulier, cohésion très faible; porosité intergranulaire forte; chevelu radicaire

20-40 cm : horizon de transition

40-230 cm : blanc, très sableux, particulaire, humide; des
C (g) terriers (15 cm) emplis du matériel de l'horizon A

230 cm nappe phréatique

Le profil est à peu près neutre, pauvre en sels, ceux-là néanmoins plus abondants en surface. Une première transformation, modérée, est celle qui s'accompagne de la formation d'efflorescences à sels neutres :

NA 18 (Wacha)

Lat. : 13° 19' 30" N.

Long. : 9° 12' 42" E.

Cote : 374 m

Lit majeur ancien de la Korama; plaine sableuse; jachère-parc à Hyphaene, Parinari

Surface : efflorescences vermiculées ou granulées de sulfate de magnésium

0-20 cm : brun-jaune foncé (10 YR 3,5/2); taches diffuses
A brun-rouge; très sableux; massif, débit régulier; chevelu radicaire

20-90 cm : brun clair (10 YR 6/3); taches brun-rouge et
taches noires (3 mm) distinctes; sableux; le
AC g plasma minéral est dispersé et forme une suspension dans l'eau du sol, très humide

90 cm : nappe (résistivité de 2.500 ohm/cm); nombreuses
G taches ferrugineuses rouges légèrement durcies rhizoïdes

La dispersion de l'argile, une légère accumulation des matières humiques en profondeur, caractérisent ce sol très pauvre en sel dans sa masse et légèrement acide. Des sols analogues mais inactuels à horizon sombre reposant sur des sables blancs à taches ferrugineuses et raies d'accumulation organique ont été observés à des cotes plus élevées

dans le bassin de la Korama

NA 3 (Magaria)

Lat. : 13° 01' 06" N.

Long. : 8° 54' 42" E.

Cote : 391 m

Sillon interdunaire affouillé par ravinement régressif; savane arborée à *Faidherbia*; 620 mm

Surface : 5 à 10 cm de sables particulières sur une croûte pluviale

0-31 cm : gris foncé (2,5 Y 3/0) lité; très sableux; prismatique (20 cm); cohésion moyenne à faible; dur

31-100 cm : blanc (5 Y 8/2); raies sombres épaisses et espacées de 1 mm, le même matériel s'insinuant dans des pores et des fissures; taches ferrugineuses jaunes à la base; sableux, massif, fissuré; cohésion faible

AC (g)
inactuel

Comme dans le sol précédent, la teinte sombre et la mobilité plasmique ne s'accompagnent d'aucune alcalisation. Cette dernière apparaît dans les sols à gley de profondeur et efflorescences natronées :

NB 17 (Guidimouni)

Lat. : 13° 41' 15" N.

Long. : 9° 36' 20" E.

Cote : 403 m

Drain de la nappe de l'erg de Guidimouni; banquette à proximité d'un ruisselet; fourrés d'*Hyphaene* dépéris-sants, *Eragrostis cambessiadana*, *Imperata cylindrica*, *Typha angustifolia*

Surface : 1 cm de natron blanc recouvrant 1 cm d'agrégats bruns poudreux

0-15 cm : brun foncé; très sableux; effervescence (carbonates Ca et Mg) sur 5 cm; très sableux; massif; est dans la frange capillaire

A Ca

15-28 cm : noirâtre; taches jaunes très diffuses; très
A g faible effervescence; très sableux

28-45 cm : brun verdâtre à taches brunes et rougeâtres
G autour de racines; sablo-argileux

45 cm : nappe et teinte verdâtre de l'horizon

80 cm : sables gris clair

Le profil n'est cependant pas salin, seuls des carbonates peu solubles s'y fixant. Il le devient immédiatement à proximité des mares phréatiques où la circulation de l'eau est plus lente que dans les drains :

NA 76 (Magaria)

Lat. : 13° 03' 55" N.

Long. : 8° 54' 25" E.

Cote : 392 m

Ligne de drainage légèrement colmatée drainant vers le sud-est la nappe alimentée par le plateau de Bandé; aspect de marais; Borassus, Eragrostis cambessiadana, Sporobolus spicatus; 620 mm.

Surface : couche boursouflée blanche de carbonate et sulfate de soude; les sels gignent les tiges de graminées

0-70 cm : brun-jaune foncé (10 YR 4,5/4); très peu
sa sn humifère; très sableux; salé et alcalisé; massif; humide

70-90 cm : brun; taches brun-jaune; taches de gley
G sa sn bleu verdâtre; sableux; sulfures; racines décomposées avec gley

90-320 cm : horizons dans la nappe phréatique: sableux
à taches de gley et concrétions noires
G jusqu'à 110 cm, sables décolorés jusqu'à 150 cm, gley bleu jusqu'à 220 cm, sables décolorés au delà; traces de carbonates

note on observe d'horizon humifère que sur les dix premiers centimètres de buttes sableuses sur lesquelles croissent les arbres et arbustes (Bauhinia reticulata) de couleur brune, à taches ferrugineuses rouges

Le gley ferreux apparaît ici d'autant plus facilement que certains niveaux sont légèrement plus argileux. Bien que les sels de surface soient très toxiques, la strate herbacée ne disparaît pas entièrement : la salure n'est qu'intermittente et disparaît en hivernage. Les aires stériles, d'où l'horizon humifère a disparu, sont celles qui sont les plus compactes, tassées par exemple par le passage du bétail. Inversement la continuité capillaire est rompue sur les buttes sableuses éoliennes amassées aux pieds des arbres et l'accumulation organique peut s'y maintenir. Les taux de sels solubles dans le profil sont à la limite des taux définissant les Sols Salins et décroissent très vite vers la profondeur. Inversement les taux de carbonates peu solubles sont maxima au voisinage du toit de la nappe. Selon les critères adoptés le sol peut être classé comme :

- Sol Salin à hydromorphie de nappe (végétation, taux limite de sels faible)
- Sol Hydromorphe Minéral à Gley de profondeur salé (taux limite élevé)

ce chevauchement de deux classes exprimant fort bien les caractères composites des sols sableux salés par la nappe.

2.317 Sols à Alkali, Sols Salins, Sols à Gley, argiles noires, sols peu évolués calcaires des alluvions

On n'a décrit de sols ni salés ni alcalisés mais relativement bien évolués vers les argiles noires que dans les dépressions à proximité des glacis smectitiques du Mounio ou du Damagaram, néanmoins à sédimentation de type palustre :

site de Gidigir (NB 32)

Lat. : 13° 41' 45" N.
Long. : 9° 52' 10" E.
Cote : 375 m

Dépression allongée située dans la plaine sableuse à sols bruns de l'est de Gidigir; ancien chenal d'écoulement dans une vallée fossile type Korama qui drainait le Mounio; steppe d'épineux (Seyal); 460 mm

0-10 cm : gris foncé (10 YR 4/1); argilo-sableux; cubique,
A p avec nombreuses traces de remaniements mécaniques;

- cohésion moyenne; porosité tubulaire
moyenne
- 10-37 cm : gris très foncé (10 YR 3/1); grains calcaires friables très rares; argilo-sableux; structure polyédrique fine (0,5 cm) à faces lisses en assemblage lâche; cohésion forte; peu de pores, des agrotubules
- A
- 37-68 cm : brun grisâtre (2,5 Y 4,5/2); taches noires; quelques amas calcaires; même texture; structure motteuse polyédrique à faces lisses; sur-structure prismatique; cohésion forte
- (B) Ca
- 68-106 cm : teinte irrégulièrement grise à brun-jaune (2,5 Y 5/2 à 4/2); même texture; tests de gastéropodes; très finement polyédrique en assemblage compact mais très friable
- C
- 106-180 cm : argile limoneuse noire (10 YR 3/2) calcaire (2 A)
- 180-240 cm : sables argileux gris (10 YR 5/1) marmorisés et à taches ferrugineuses jaunes, calcaires au sommet (3 g)
- 240-350 cm : sables blancs (7,5 YR 7/2) à taches jaunes, non calcaires (3 g)

Dans la même région l'alcalisation accompagne l'accumulation de calcaire en des sites où l'engorgement a été plus prononcé et où il persiste parfois :

site de Gidigir ouest (NA 14)

Lat. : 13° 40' 0" N.
 Long. : 9° 47' 12" S.
 Cote : 420 m

Fond de dépression transversale; dénivellée de 15 m; palmeraie d'Hyphaene; 470 mm

0-41 cm : sables éoliens ruisselés avec profil juvénile A-C brun (10 YR 5/4)

41 cm : croûte de 4 mm, grise, à base jaune, à surface lissée, sableuse et durcie

41-64 cm : brun vif (7,5 YR 4/4); taches diffuses rouges et jaunes; sableux; prismatique; cohésion forte; nombreuses racines horizontales de palmier
2 A g b

Transition progressive

64-126 cm : brun-olive (2,5 Y 4/3); taches jaunes autour des racines; mêmes texture et structure; alcalisé
g sn Ca
64-80 cm : revêtements de pseudomycelium calcaire dans les fissures formant des voiles verticalement allongés (5 x 3 cm)
80-126 cm : amas calcaires (0,5 cm) et grains calcaires en manchon autour des racines

126-200 cm : noir (10 YR 2/1); taches brun-rouge foncé fines et nombreuses dans les pores et sur les faces d'agrégats; argilo-sableux; salé, alcalisé, calcaire; polyédrique en assemblage compact (0,5 cm) et plastique; zone de ramification des racines
3 sa sn
ca g
126-180 cm : revêtements, amas, grains calcaires
180 cm : niveau piézométrique
180-200 cm : grandes taches ferrugineuses jaune-rouge (7,5 YR 5/8)

200 cm : sables blancs sulfureux non carbonatés (magasin de la nappe, légèrement en charge)

Dans ce profil complexe, la même phase argileuse a retenu la plus grande partie des sels et du sodium. Un matériau semblable existe dans les sillons de l'erg de Miria, situé vers la cote 420 m dans une dépression à nappe émergente drainant vers le bassin de la Korama. Il a évolué en Sol à Alcali à structure massive en surface, avec les mêmes formes d'accumulation du calcaire, avec des structures verticales. Il indique un lien entre les Vertisols topo-lithomorphes des glacis voisins et les Sols Halomorphes de cette partie de la cuvette tchadienne dont la fraction fine a pu être d'origine locale.

Lorsque l'on s'éloigne de ces bordures vers le centre de la cuvette, la transformation des matériaux s'atténue en même temps que leur salinisation augmente :

site de Bouné (NA 24)

Lat. : 13° 30' 50" N.
Long. : 10° 8' 10" E.
Cote : 356 m

Dépression close allongée selon la direction longitudinale sud-ouest (1,5 km x 0,4 km); steppe à coussinets de *Sporobolus spicatus*

Surface : nue; croûte et pellicule squameuse blanche à carbonate de sodium; buttes sableuses fixées par le *Sporobolus*

O-5 cm : blanc (10 YR 8/1); sablo-limoneux; très calcaire, légèrement salin, légèrement alcalisé; A ca finement polyédrique; cohésion forte; porosité tubulaire; nombreuses racelles verticales

5-22 cm : gris-brun clair (2,5 Y 6/2); argilo-limoneux; très calcaire; nodules calcaires friables arrondis; salin; légèrement alcalisé; plaquettes limoneuses fragmentées en agrégats polyédriques par les racines qui toutefois ne les pénètrent que difficilement
A.C ca
sa

22-56 cm : brun-olive (2,5 Y 5/3) tachés brun-rouge sur les racines et les fissures; argilo-limoneux; très calcaire; très salin; légèrement alcalisé; plaquettes très fines et compactes
Cg ca sa

56 cm : nappe brune à carbonate de soude

56 .. : dans ces mêmes plaquettes limoneuses, taches de gley olive (5 Y 4/4) bleuissant à l'air; modérément calcaire; très salin; légèrement alcalisé
C G sa

Dans ce Sol Salin à gley de profondeur, c'est le calcaire qui a été le mieux retenu des sels de la nappe, carbonate sodique et calcique. Les taux atteignent 30% mais, les propriétés mécaniques n'étant guère modifiées, ce n'est pas encore un encroûtement. L'alcalisation est très modérée. Les efflorescences salines se forment plus difficilement que dans un sol sableux (cf. p.1043, NA 76) observé à la même époque. Les concentrations salines et la compacité du matériau réduisent et spécialisent la végétation

qui en saison sèche, se rétracte sur les buttes sableuses accumulées par le vent. La matière organique est redistribuée par l'eau de la nappe qui la dissout.

Les Sols Salins à croûte superficielle cristalline du Mandaram sont formés sous l'action combinée d'un engorgement permanent de profondeur et de la concentration périodique d'une saumure ;

site de Zoumba (NB 79)

Lat. : 13° 24' 48" N.

Long. : 11° 17' 45" E.

Cuvette close, avec mare centrale, croûtes salines et accumulations de poudre salée à Tamarix

Surface : minimales dépressions de quelques m² à croûte sulfatée et bosses à efflorescences carbonatées (carbonate Ca et Mg, sulfate Na, traces de natron)

Sol à croûte sulfatée

0-7 cm : croûte sulfatée (thénardite, SO₄Na₂); lamelleuse et légèrement chlorurée sur 1 cm, puis finement cristalline sur 3 cm, puis à gros cristaux

7-14 cm : noir; sablo-limoneux; carbonaté (Ca, Mg); sulfureux; gros cristaux limpides de mirabilite (SO₄Na₂, 10H₂O)

14-22 cm : mêmes limons noirs, lités, carbonatés

22-27 cm : brun-olive (5 Y 4/1,5); sables et sables argileux finement lités; concrétions ferrugineuses brunes à centre rougeâtre; carbonates

27-90 cm : argile limoneuse brun-olive à cristaux de mirabilite; carbonates (Ca, Mg) et traces de chlorures (Na)

40 cm : nappe

Les concrétions (22-27 cm) indiquent que, au moins localement, les hydroxydes de fer jouent un rôle dans l'équilibre carbonate/sulfate. Là encore ce sont les carbonates de calcium et de magnésium, peu solubles, qui forment la plus grande partie des sels du sol, même où cristallise la mirabilite.

Dans les régions d'où la nappe superficielle s'est retirée, on n'observe plus que des Sols Peu Evolués, généralement calcaires, parfois légèrement alcalisés, où l'hydromorphie se limite à un pseudogley d'origine pluviale très discret et souvent absent :

site de Kelakam (NB 52)

Lat. : 13° 34' 24" N.
Long. : 11° 35' 0" E.

Dépression allongée du Tchidi N'Gourbaybé; en bordure d'une mare d'hivernage; seyaleraie, avec *Hyphaene* et *Acacia raddiana*; tapis à *Schoenefeldia*; 400 mm.

- 0-20 cm : gris; finement sablo-argileux; légèrement calcaire; massif; cohésion forte; dur; nombreux pores tubulaires
A
- 20-40 cm : brun clair; sablo-limoneux; calcaire; massif, débit polyédrique; cohésion moyenne à forte; porosité tubulaire fine bien développée; ségrégations ferrugineuses autour de racines
g ca
- 40 .. : plaquettes sablo-limoneuses blanches calcaires légèrement désagrégées
C ca

Tout comme on l'avait observé sur les alluvions de la Komadougou, la redistribution du calcaire se poursuit dans ces sols relativement secs. Par exemple, il se dépose en fine pellicule sur les joints, fractures, pores racinaires des bancs de diatomites, matériel lui-même pourvu de carbonate :

site de Kabelawa (NB 67)

Lat. : 14° 5' 43" N.
Long. : 12° 57' 12" E.

Plaine à diatomite séparant les deux cordons périlacustres à l'angle nord-est du Kadzel; buissons de *Salvadora*; buttes de sables siliceux et de poudre carbonatée colonisées par des *Panicum turgidum*; 275 mm

- 0-28 cm : brun-jaune; finement sableux; carbonaté (Ca, Mg); grumeleux à grenu (2-5 mm) meuble; fort chevelu; cependant très pauvre en matière organique
(A) ca

22-57 cm : diatomite blanche (5 YR 8/1) perforée ou imprimée sur ses joints de pores racinaires à remplissages finement sableux bruns; pellicules calcaires dans ces pores et sur les faces des plaquettes de la diatomite; pas de carbonates dans la masse

2 C ca

57-85 cm : diatomite varvée; calcaire sur les joints

85 .. : lentilles de limons olive calcaires, sulfureux, alcalisés (source du calcaire)

2.318

Données analytiques

La matière organique est rare et bien évoluée. Elle tend à disparaître des Sols Salins natronés et des Sols Peu Evolués calcaires de climat sec :

(horizons A)		Taux (%)	C/N
Moyenne		0,35	8
Maximum :	Sol à Gley, à sels neutres	0,43	11,4
	Sol Salin à sels sodiques	0,17	6,4
Minimum :	Sol Peu Evolué calcaire (P = 275 mm)	0,19	5,8

Des distributions irrégulières ou croissantes vers la profondeur ont été observées dans des sols complexes ou dont la nappe dissout les matières humiques.

L'argile de sols acides à efflorescences neutres sulfatées (Mg) est dispersée. Un fait de cet ordre est soupçonné de Sols Salins alcalins et de Sols à Alkali dont très souvent le toit de nappe est plus argileux sans qu'une stratification paraisse évidente. L'existence du lessivage reste néanmoins douteuse et son effet morphologique est certainement faible.

Les sels solubles se concentrent en surface et les carbonates peu solubles au-dessus du niveau phréatique si le sol est homogène, sableux, la nappe peu chargée. Sinon la phase argileuse la plus proche de la nappe tend à recevoir la proportion la plus élevée de l'ensemble des sels :

		Sels, mg/100g	Carbonates en CO ₃ Ca (%)
Nappe peu chargée			
Sols sableux			
Sol brun à nappe	1	84	0
	2	14	0
Sol à gley, sels neutres	1	33	0
	2	22	0
Sol Salin, natroné	1	506	0,6
	2	307	3,0
Sol complexe			
Sol à Alcali, salé	1	54	tr.
	2	675	1,2
	3	42	0
Nappe très salée			
Sol limoneux			
Sol Salin sodique	1	745	21
	2	1013	32
	3	1688	10,7
1 : horizon A; 2 : horizon au toit de la nappe; 3 : dans la nappe			

Le complexe absorbant est saturé et l'ordre décroissant des cations le plus fréquent est le même que dans la nappe : Ca-Na-Mg-K. Le taux relatif des alcalins (Na + K/T) est généralement plus élevé en surface, dans les sols sableux parce que les sels y sont plus abondants, dans les sols argileux parce que les taux de calcaire y sont les plus faibles :

(Na + K/T) (%)	1	2	3
Sols sableux			
sols à efflorescences sodiques	28-47	20-30	5-13
sol à efflorescences neutres	11	5	
sol non salin	3,5	4	4
Sols limoneux ou complexes			
sols salés	30-50	25	13-25
argile noire	2	8	
sols peu évolués	10-17	8-13	
1 : horizon A; 2 : horizon moyen; 3 : dans la nappe			

Les pH, mesurés en saison sèche, sont élevés et liés aux taux de sels par une corrélation positive meilleure qu'avec le rapport Na + K/T, ce dernier intégrant les équilibres ioniques de la solution du sol avec plus de lenteur.

pH	1	2	3
sols à sels sodiques carbonates sulfates	9,2-10,2 7,2	9,0-9,8	8,1-9,0
sols à sels neutres	5,1		6,7
sols à alcali, calcaires	7,4-8,5	8,2-9,3	7,7-8,8
sol à gley de profondeur non salé	6,3		7,1

2.319

Conséquences quant à l'utilisation

Les alluvions limoneuses et argileuses ne sont pas immédiatement utilisables. Lorsqu'elles sont hors de la nappe, elles sont dessalées par les pluies mais encore calcaires et chimiquement riches. Les quantités d'eaux reçues sont alors insuffisantes et les propriétés physiques (Sols à Alcali) empêchent un travail du sol selon la technique locale. Ailleurs, elles sont trop durablement inondées ou baignent dans une saumure.

Les cultures irriguées ou phréatophiles ne sont donc

possibles sans gros frais que sur les matériaux sableux. Leur salure toute intermittente et superficielle fait que les plantes y apparaissent moins sensibles à des caractéristiques des horizons A qui en principe les déprimeraient à 80% : pH de 9, 50 mg/100 g de carbonate de soude ou 400 à 500 mg de sels solubles totaux. Une nappe trop superficielle (50 cm) la disparition de l'horizon humifère (la surface du sol est alors brun-jaune) présagent ou indiquent cependant la stérilité.

2.32 Les Sols à Gley d'ensemble ou de surface et les Sols Salins des rives du lac Tchad

2.321 Topographie et alluvions

La côte est basse, plate (cf. p.941) sensiblement régularisée de Boso à N'Guigmi puis profondément découpée selon la direction dunaire transversale sud-est que reprennent au large les hauts fonds et les îles de l'Archipel. Le matériel en est formé des mêmes sables très fins que les cordons péri-lacustres, d'où un aspect de plage fort net. Au sud des alluvions plus argileuses s'y intercalent au voisinage du delta de la Komadougou. Au nord, à N'Guigmi, des diatomites plus anciennes et des limons jaunes à sulfures et carbonate de soude y affleurent. Le fond du lac est lui-même sableux si bien qu'on ne trouve pas au Niger ces terres de polders de la République du Tchad formées par l'accumulation de la matière organique de plantes aquatiques vivant en eaux peu salées et fixées sur un fonds limoneux et argileux chimiquement riche.

2.322 Les eaux (BOUCHARDEAU et LEFEVRE, 1957)

Le marnage annuel est de 1 m à 1,5 m. La cote moyenne du plan d'eau, 282 m, a varié dans une limite de 3,4 m pendant ce dernier siècle, ce qui a suffi à assécher le lac au nord de la Grande Barrière, ligne de hauts fonds qui le traverse dans sa partie médiane. L'extrême jeunesse des sols côtiers n'a pu qu'être renforcée par les modifications importantes du régime hydrique qui ont été la conséquence des allées et venues du lac.

Les eaux sont carbonatées et sodiques, pauvres en sulfates et en chlore, trois fois plus riches en sodium qu'en calcium. Peu brassées, leur salure croît régulièrement vers le nord sous l'influence d'une forte évaporation (2.260 mm/an) uniquement compensée par les apports méridionaux du Logone, du Chari, de tributaires mineurs telle la Komadougou. La stabilité dans le temps des concentrations (fig. 68) est attribuée à des pertes marginales hors des rives visibles par écoulement et infiltration. Les sels précipitent dans les marais enfermés dans les indentations de la côte, dans des salines au nord-est, des sols salés au nord-ouest. La nappe sous-alluviale est elle-même très salée dans ces mêmes régions.

	sels totaux	carbonate de soude
Eaux du lac		
à Boso	130 mg/l	65
à N'Guigmi	240	120
nord du lac	400	200
Eaux côtières		
marais	768	505
nappe (N'Guigmi)	2500	300 (1)

(1) en outre 1.200 mg de sulfate de sodium et 350 mg de chlorures

2.323

Répartition des sols et de la végétation

La proportion des Sols Salins croît vers le nord à cause de l'augmentation de la salure des eaux, de l'ETP, de la largeur de la ceinture évaporatoire qui passe de 4 km à Boso à 10 km au nord-est de N'Guigmi. Inversement les Sols simplement hydromorphes sont mieux représentés au sud où ils sont en même temps moins sableux et plus organique. Entre le cordon et la limite d'étale les sols et la végétation dessinent trois ceintures successives :

- la plus haute n'est pas actuellement inondée et la nappe y est à plus d'un mètre de profondeur. La végétation est celle qui peut coloniser les sables bien drainés à cette latitude où la pluviosité n'est que de 250 à 275 mm. C'est une prairie à *Panicum turgidum*, *Aristida mutabilis*, *Pergularia extensa*, *Carex*, *Centaurea*. Les sols sont peu différenciés,

de teinte claire, calcaires. La présence et la répartition des carbonates les font interpréter comme d'anciens Sols Salins à hydromorphie de nappe dessalés par la pluie après que le niveau phréatique se soit abaissé.

- La seconde est inondée en tout ou partie; pendant l'étale (janvier-février) la nappe y est à moins de 50 cm de profondeur; elle découvre pendant l'étiage. Au nord les Sols en sont Salins, à gley de profondeur, noirs, couverts d'une prairie à Sporobolus. Au sud la pente plus forte de la plage en réduit la largeur. On y a décrit des Sols Peu Evolués Mal Drainés complexes, cultivés en irrigation.
- La troisième dont on n'a pas étudié les sols est immergée en permanence, couverte de roseaux (*Echinochloa pyramidalis*) naguère peuplée d'un arbuste épineux au bois léger et recherché, l'Ambatch (*Aeschynomene* ou *Herminiera elaphroxylon*). La prairie flottante à Papyrus la relaie vers le large.

2.324 Utilisation

Les prairies salées et inondées sont pâturées par une race bovine particulière dont l'aspect étonnant est bien connu. Les cultures ne sont pas très étendues (800 ha près de N'Guigmi) mais diverses, irriguées ou inondées ou utilisant directement la nappe : riz, maïs, coton, canne à sucre, patate douce, manioc, oignons. Les rendements ne sont pas excellents du fait de divers facteurs : pH trop élevé, textures trop légères, plan d'eau trop haut, qualité douteuse des eaux côtières, celle des eaux du lac proprement dit étant acceptable au nord, très bonne au sud :

Valeur des eaux du lac Tchad pour l'irrigation

Localisation	Sels mg/l	CO ₃ Na ₂ még/l	Conductivité mmhos	S.A.R.	Classe Riverside	Qualité Wilcox	Textures- limites
<u>Eaux du lac</u>							
Boso	130	1,35	0,26	2	C.1-S.1	tr.bonne	pas de lim.
N'Guigmi	240	2,5	0,46	2,8	C.2-S.1	bonne	1:argile 2:néant
Nord	400	4,2	0,8	3,6	C.3-S.1	admiss.	1:argile 2:néant
<u>Eaux côtières</u>							
N'Guigmi	770	8,0	1,54	5	C.3-S.2	douteuse	1:limon 2:argile

Notes : CO_3Na_2 : risque de toxicité à plus de 2,5 méq/l
 textures-limites : les plus lourdes pour l'irrigation d'une plante très sensible (1) ou moyennement sensible (2)

2.325 Les Sols Salins

Site de N'Guigni (NB 86)

Lat. : 14° 20' 27" N.

Long. : 13° 12' 12" E.

Prairie à *Sporobolus*, très plate; crue étale mais site non inondé; 250 mm

Surface : touradons à *Sporobolus* saillants; entre ceux-ci efflorescences abondantes :

1 : blanches, épaisses de 5 mm, abondantes

2 : jaunes (10 YR 5/8) ou noirâtres, en enduits

3 : rouges (10 R 4/8) à feutrage d'algues salé

% poids	Cl CO ₃ +		CO ₃ H	S04	CO ₃
	Na		Ca	Ca	Ca+Mg
1	13	68	0	12	12
2	8	61	13	10	10
3	10	33	19	26	26

0-20 cm : brun noirâtre; gley bleuté dans des volumes sablo-argileux et sur une ligne matérialisant à 5 cm de profondeur l'ancienne surface du sol; très sableux; calcaire, des traces de carbonate de sodium, dans la frange capillaire

A G ca

20-44 cm : blanc jaunâtre à taches verdâtres malodorantes (sulfures); très sableux; bouillant; très peu de calcaire

G

44 cm : nappe

L'organisation de base est encore de type A-C. Le gley y apparaît dans des inclusions fines que dépose la crue lorsqu'elle atteint le site. Les sels les plus solubles, formés surtout de carbonate de soude, sont peu retenus par ces sables et s'accumulent en surface alors qu'une

partie des carbonates de calcium et de magnésium précipite dans l'horizon A.

2.326

Les Sols Peu Evolués

Site de N'Guigni (NB 65)

Lat. : 14° 20' 27" N.

Long. : 13° 12' 12" E.

Entre le pied de cordon et la prairie salée; prairie sèche (*Panicum turgidum*)

Surface : 15 cm de sables particulières (piétinement du bétail); des buttes sableuses éoliennes de 50 cm

0-6 cm : brun très clair; très sableux; débit nuciforme; cohésion faible; calcaire; chevelu radulaire dense

6-15 cm : brun; très sableux; grains calcaires; particulaire; même enracinement

15 cm : croûte représentant une ancienne surface de sol

15-17 cm : noirâtre; sableux; des lits plus organiques
2 A ca finement grenus; calcaire diffus

17-27 cm : brun-jaune foncé; très sableux; massif, débit
AC ca régulier; moins calcaire; enracinement très abondant

27-51 cm : brun clair; très sableux; non calcaire; particulaire (ancien magasin de nappe)
C

140 cm : nappe à son niveau maximum (période d'étalement)

On peut reconstituer ainsi l'histoire de ce profil, par analogie avec le sol précédent. La nappe se raccorde avec celle de la prairie salée et donc suit le niveau du lac puisque avec 250 mm de pluies et un arrière-pays entièrement sableux, la probabilité d'une alimentation locale est infime. Lorsque la crue n'est que moyenne et même assez forte, puisque l'année de l'observation on la jugeait ainsi, la nappe est encore trop profonde pour que la frange capillaire atteigne l'horizon A. La steppe

subdésertique s'installe, le profil s'accroît de sables éoliens. Les carbonates peu solubles de ces apports récents attestent d'une remontée du niveau phréatique en année exceptionnelle probablement accompagnée de salinisation. La période d'hydraulicité relativement faible actuelle correspond aux sables superficiels actuels. Elle a été précédée d'un cycle complet, pendant lequel la nappe s'est relevée de 1 m environ, matérialisé par le niveau 0-15 cm. Les taux de matière organique, de sels solubles, de sodium sont redevenus ceux d'un sol bien drainé depuis.

2.327 Les Sols Peu Evolués Mal Drainés

Site de Boso (NB 91)

Lat. : 13° 44' 42" N.

Long. : 13° 17' 42" E.

A 30 m du bord du lac (eaux libres); pente de 2%; cultures de manioc, niébé; quelques *Salvadora* et jujubiers

Surface : pas d'efflorescences mais en bordure même du lac, croûte sableuse légèrement effervescente

0-14 cm : brun-gris clair (10 YR 6/2,5); quelques taches linéaires brun-rouge; argilo-sableux à A g sablo-argileux; structure motteuse irrégulièrement cubique (4 cm); porosité tubulaire moyenne; quelques racines

14-39 cm : blanc (10 YR 7,5/3); taches de matière organique brune; finement sableux; massif, débit 2 régulier

39-45 cm : brun-olive (2,5 Y 5/3); taches jaunes autour de racines; très sableux; massif 2 A g b

45-120 cm : sables très fins blancs (10 YR 7,5/3) à traînées de matière organique, légèrement effervescents à la base 2 (g)

120-225 cm : gris brunâtre (2,5 Y 5,5/2); finement sablo-argileux; quelques taches rouges; non effervescent 3 g

225 cm : nappe

Le matériel a la finesse granulométrique des alluvions de la Komadougou toute proche. Après le dépôt de chaque lit de sables, un horizon A g se forme alors que la sédimentation s'affine puis s'arrête. La frange capillaire ne s'élève guère à plus de 100 cm au-dessus du toit et ne dépose que des traces de carbonate. Le profil a une réaction légèrement alcaline mais est calcique. Les taux de matière organique en confirment le mauvais drainage.

2.328

Conclusions

Les variations du plan d'eau et celles de la nappe s'inscrivent dans les sols par des traits sédimentaires et par des horizons calcaires. Leur importance en fait l'obstacle principal à l'aménagement des rives, les autres étant la salure, au nord du parallèle 14° N, les textures trop sableuses jusqu'à la Komadougou.

2.33

Les Sols à Gley et Pseudogley de profondeur ou d'ensemble, les Sols Salins, les Sols à Alkali des Dallols

2.331

Sites et matériaux

Des bandes linéaires de sols gris et noirs, des cha-pelets de mares phréatiques matérialisent le tracé du réseau de drainage ultime des Dallols (T.1). Les anciens chenaux d'écoulement, plats, creusés de quelques mètres et larges de quelques centaines, sinuent entre les buttes sableuses du niveau T.2 (cf. pp.545 - 552 959). Des graviers lités, des sables grossiers analogues au matériel T.2 et comme lui excessivement pauvres en fines en forment le soubassement. Généralement quelques décimètres d'argiles sableuses (T.1a) les couronnent. L'origine de ce colmatage est assurément diverse, car la capacité d'échange en est fort variable (16 à 80 méq/100 g d'argile) bien que le bassin local soit toujours sur les grès kaoliniques du Continental Terminal.

2.332

Eaux et sels

La nappe de grès se déverse dans les Dallols, se réalimente localement par infiltration dans les sables,

draine selon la pente générale vers le Niger en s'élevant progressivement :

Dallol Maouri	Yeldou	Yelou
	14°44' N 184m(T.1)	12°14' N 166m(T.1)
cote relative de la nappe	-5,3 à 6,3m	- 2,6 m
cote de T.1	0	0
cote de T.2 (sommet)	+ 3	+ 4
concrétionnement de T.3	+ 4	

Alors qu'à ses hauts niveaux, elle s'étendait à la totalité de T.1 et T.2 et noyait la base des sables T.3, elle s'est considérablement abaissée depuis (cf. p.764) et n'affleure plus, sans paraître s'écouler, que dans la partie méridionale des chenaux T.1 :

- dans la partie sahélienne du Dallol Bosso (Azaouak) l'eau d'origine pluviale ne séjourne pas plus de quelques jours dans les mares. Sous les sables, la nappe, dite d'Abala (S.O.G.E.T.A.H., 1965) se situe entre 7 et 15 m de profondeur. Les premières mares phréatiques apparaissent près de Baleyara (lat. 13° 50' N, 500 mm) la nappe se situant en moyenne à 3 m sous la surface du Dallol. Elles se multiplient particulièrement entre Birni N'Gaouré et le Niger, leur surface totale étant de l'ordre de 1.500 ha. Leur permanence est fonction de leur creux (230 cm d'évaporation annuelle) de leur cote. Le niveau phréatique fluctue en effet annuellement selon la pluviosité (60 cm en moyenne) selon les crues du Niger tout en aval (Boumba : 2 m) d'une année à l'autre selon les cycles pluviométriques. Des écoulements sur quelques kilomètres ont été observés; habituellement ces plans d'eau sont clos et disjoints.
- Le cours septentrional du Dallol Maouri disparaît sous des dunes. Les premières mares apparaissent près de Fadama (lat. 13° N, 700 mm) au contact des versants gréseux qui les alimentent en partie. Elles se font plus nombreuses vers Yelou (12° 30' N, 800 mm) mais ne prennent une grande importance qu'après le confluent du Dallol Fogha jusqu'à 5 km du Niger où les sables T.3 recouvrent presque entièrement la vallée
- Le Dallol Fogha est l'émissaire du réseau de vallées sèches de la dépression de Dosso. Il est étroit (30 à

800 m). Les sables colmatant le fond ont été déblayés jusqu'à la nappe par les saulniers, sur une épaisseur moyenne de 2 m, sur toute la longueur de la vallée, au sud de la région de Sabongari (12° 27' N, 825 mm) l'étroiture de Malgorou exceptée. Cette énorme tranchée se prolonge dans le Dallol Maouri par le lac phréatique artificiel de Bana, immédiatement au sud du confluent.

La minéralisation des eaux du Dallol Bosso est dans l'ensemble modérée et croît vers le nord ou le centre de la vallée où la pluviosité est plus faible, les apports du ruissellement latéral plus rares. Leur chimisme est localement variable, cette hétérogénéité résultant de l'aquifère lui-même, de l'évaporation, de pollutions (nitrates). Elles sont dans leur ensemble carbonatées et sulfatées sodiques, le carbonate de soude étant le sel le plus commun des efflorescences, le carbonate de calcium et des traces de chlorure de sodium se fixant dans les sols :

- eaux du nord (Filingue) : conductivité entre 0,25 et 2,25 mmhos/cm (classes Riverside C.2 et C.3)
- eaux du sud (région des mares) : conductivité inférieure à 0,25 dans 70% des cas (C.1) à 0,75 dans 26% des cas (C.2) le reste pouvant atteindre 5 mmhos/cm (C.3, C.4) dans certaines mares; CO_3Na_2 virtuel généralement inférieur à 1,25 méq/l; ordre décroissant des ions : $\text{CO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Cl}$ et $\text{Na} \rightarrow \text{K} - \text{Ca} - \text{Mg}$ (S.O.G. E.T.A.H., 1965).

Les dépressions à Sols Salins et à Sols à Alkali ne sont pas nombreuses et situées généralement au nord de Birni-N'Gaouré. Les exploitations de sels se disséminent jusqu'au Niger. Elles sont de faible importance et souvent abandonnées.

Les eaux des Dallols Fogha et Maouri sont plus chargées (C.3 et C.4) sulfatées et chlorurées sodiques et calciques, caractères qu'elles doivent à la nappe des grès locaux (cf. tabl. 198 et R.LAMBERT, 1938). Les carbonates et bi-carbonates de sodium et calcium apparaissent superficiellement dans les mares et les sols, les sels figurés les plus communs étant les sulfates et chlorures de sodium et les sulfates et carbonates de calcium. La richesse toute relative en chlorures et l'abondance des sources étaient à l'origine de l'importance passée des

salines du Fogha, vieilles d'au moins trois siècles et demi. Les Sols Salins primitifs ont été extraits en quasi-totalité et leurs restes épuisés sont entassés en gros terrils sur lesquels se juchent les dernières exploitations artisanales. La matière première s'est raréfiée et se réduit aux efflorescences et à la terre que l'on peut encore gratter autour des mares en surface des grès. On lui applique toujours la même technique de percolation par les eaux de puits ou de mare, plus par habitude que par nécessité car, note FAURE (1965) le percolat a à peu près la même composition que l'eau de mare. C'est un souvenir du temps où une couverture de sol plus étendue et une surface d'eaux libres plus faibles réduisaient l'évaporation et la concentration des eaux superficielles.

2.333 Végétation et Utilisation

Les dépressions non noyées sont peuplées de *Parinari macrophylla*, de *Myragyna inermis*, de palmiers *Hyphaene* et *Borassus*. Des roselières entourent les mares phréatiques. Les cultures phréatophiles sont malheureusement rares, bien que les eaux soient très acceptables et ordinairement non toxiques. Ce sont le sorgho, le coton, le manioc doux, la patate douce. Les cultures inondées se réduisent à un petit riz pluvial. Une exception remarquable est la région de Bengou, sur l'étranglement méridionale du Dallol Maouri. Sur de hautes planches (50 cm) croissent henné, manioc, patate, maïs, tabac, canne de bouche, ombragés de quelques manguiers, papayers, bananiers. Cet îlot de prospérité, situé à 850 mm de pluies et sur Sols à Gley de profondeur, contraste avec l'abandon pastoral auquel sont vouées la plupart des terres basses.

2.334 Les sols sableux A-C (g) (T.1b)

Les sols des chenaux qui n'ont pas été colmatés d'argiles sont semblables aux sols les moins bien drainés du niveau T.2 (pp. 964 et 961). L'horizon A en est brun (ex. : 10 YR 4/6) ou gris, acide au sud, neutre en région sahélienne; son épaisseur peut atteindre 60 cm. Il repose sur des sables décolorés et particuliers, parfois à nodules calcaires et concrétions stalagmiformes ou tubulaires ferrugineuses de nappe.

2.335

Les Sols à Gley et Pseudogley de profondeur ou
d'ensemble, les Sols à Alkali Non Lessivés (T.la)

Les matériaux les plus complexes sont successivement formés de sables éoliens ou ruisselés récents, de sables et d'argiles sableuses pédologiquement évolués, des sables grossiers de base, magasin de la nappe. La partie supérieure du profil est noire, à structure prismatique et polyédrique, très rarement verticale, extrêmement compacte et instable, cela indépendamment du pH et du taux relatif de sodium. Le profil de l'hydromorphie dépend surtout de l'engorgement de nappe, parfois de l'engorgement pluvial. Le concrétionnement de nappe a laissé des traces partout; il est encore très actif au sud : divers degrés de concentration ferrugineuse (sables de base) concrétions manganésifères, parfois jusqu'en surface, nodules calcaires. L'alcalinisation, la réaction ne sont corrélées avec aucun trait morphologique ou caractère stationnel; il existe par exemple des Sols à Gley acides. L'apparition de granulations salines en surface ou sur les faces structurales est un indice incertain de fixation de sodium, au moins sur les quelques centimètres adjacents à ces exsudations, et non de pH élevé, les sels étant très souvent neutres.

Le profil suivant, à Pseudogley d'ensemble et engorgement permanent de profondeur, alcalisé, concrétionné, réunit presque tous les caractères pédologiques du niveau T.la :

site de Gueza (NJ 56)

Lat. : 12° 27' 0" N.
Long. : 3° 31' 50" E.
Cote : 178 m

Dallol Maouri; dépressions à sols noirs où parfois affleure la nappe; prairie à Vétivers parsemée de baobabs, rôniers, Parinari, Myrtagynes, Bauhinia reticulata.

Surface : 2 cm de sables particuliers noirs

0-19 cm : brun grisâtre foncé (10 YR 4/2); nombreuses taches linéaires jaune-rouge (7,5 YR 5/6) le long des racines; très sableux; massif; cohésion forte; porosité tubulaire moyennement développée

Contraste fort, transition linéaire

19-54 cm : volumes gris très foncé (10 YR 3/1) à limites diffuses dans un fond brun-gris (10 YR 4/2); taches diffuses brun-jaune (10 YR 4/6); efflorescences blanches carbonatées (Na, Ca); sablo-argileux; prismatique (15 cm) en assemblage très compact; cohésion excessive; très peu de pores

Contraste moyen; transition de 2 cm

54-65 cm : gris très foncé (10 YR 3/1) finement taché de brun-jaune (10 YR 4/6); plus argileux; g cn polyédrique en assemblage très compact; peu poreux

Concrétions ferrugineuses tubulaires (2 x 0,5 cm) ou arrondies (1 cm) non orientées, jaune-rouge à cortex brun, très dures; horizon légèrement effervescent

65-80 cm : gros nodules ferrugineux (10-20 cm) légèrement indurés, brun-jaune (10 YR 4/6) à taches rouges (2,5 YR 4/6) engrenés en un carapace banc continu

80-100 cm : blanc à beige (10 YR 7/3); taches ferrugineuses jaune-rouge (7,5 YR 5/8) en trainées 3 g sous la carapace; parfois centre induré noir; très sableux; massif, cohésion moyenne à faible; non effervescent

100-150 cm : brun-jaune (10 YR 4/4) humide; taches blanches ou brun-jaune; concrétions ferrugineuses (2 cm) rondes, rouge sombre (5 R 2/1); g cn très sableux; légèrement effervescent

150 cm : nappe, sables bouillants

La nappe, carbonatée et sulfatée calco-sodique, a déposé à son toit des hydroxydes de fer et de petites quantités de carbonates à deux niveaux, l'un immédiatement au-dessus de sa cote en saison sèche (150 cm) l'autre au contact des sables de base et du dépôt de colmatage. L'alcalisation de ce dernier est très prononcée. Il y aurait quelque apparence à ce qu'il soit lessivé, planique, si l'hétérogénéité ordinaire de ce matériel n'empêchait d'interpréter les profils texturaux. Il en est par exemple de constants,

bien que la dispersibilité de l'argile y soit aussi élevée que dans le profil précité :

site de Bana (NJ 69)

Lat. : 12° 0' 40" N.

Long. : 3° 34' 10" E.

Cote : 168 m

Vieille tranchée d'extraction en bordure d'une mare salée; palmeraie de doums, avec Kapokiers, Bauhinia; 855 mm.

Surface : croûte pluviale grise

0-8 cm : gris très foncé (10 YR 3/1,5); finement sablo-argileux, cette texture restant
A.11 identique dans tout le profil; lamellaire (1 x 6 cm); cohésion excessive; compact

8-28 cm : brun-gris foncé (10 YR 4/2); quelques taches diffuses brun-jaune autour de racines;
A.12 prismatique (15 cm); très dur; quelques pores tubulaires

28-80 cm : brun-jaune foncé (10 YR 4,5/4); 50% de la surface couverte d'un réseau de taches
g diffuses plus jaunes; prismatique (20 cm) en assemblage très compact; cohésion excessive; quelques pores tubulaires

80-150 cm : brun-jaune (10 YR 5/5); même réseau; taches jaunes (10 YR 6/8) plus contrastées;
g cn ca concrétions noires tendres; efflorescences punctiformes (sulfates); légèrement calcaire dans la masse; massif; cohésion excessive; pores tubulaires gros et rares

150-180 cm : brun très pâle (10 YR 6,5/3) bariolé de blanc et de jaune; nodules calcaires allongés et verticaux (0,5 x 1 cm); massif;
g cn ca sn cohésion excessive; même porosité

enracinement : moyen jusqu'à 28 cm, quelques grosses racines jusqu'à 150 cm

Seule la base de ce Sol à Pseudogley d'ensemble est alcalisée mais son développement pédique et sa stabilité

structurale sont pires que dans le profil précédent, dès l'horizon A.11. La morphologie reste la même alors que le sol est entièrement désaturé jusqu'aux sables de base, avec des pH de l'ordre de 5 à 5,5 et des coefficients de saturation de 50 à 70% (NJ 67).

Le gley ferreux apparaît où le niveau phréatique est plus élevé et stable :

site de Baleyara (NK 51)

Lat. : 13° 45' 50" N.
Long. : 2° 54' 30" E.
Cote : 200 m

Dallol Bosso; chenal à fond plat; prairie hydrophile prostrée; pente douce; 545 mm

0-10 cm : noir (10 YR 2/1); taches ferrugineuses peu distinctes; argilo-sableux; massif; quelques pores tubulaires
A

10-28 cm : gris (5 Y 5/1); taches jaune-rouge (5 YR 5/6) sur les racines; sableux; prismatique (5 x 15 cm); porosité tubulaire bien développée
g

28-50 cm : brun verdâtre (5 GY 4/1); taches bleutées nombreuses; sableux; très nombreuses concrétions allongées (3 cm) noires; très humide
G cm

50 cm: nappe

Seul l'horizon A, à "anmoor" calcique, n'est pas désaturé et acide. Sa conductivité, due à des sulfates, est la plus élevée du profil mais n'égale pas encore celle des Sols Salins.

2.336

Les Sols Salins

Des efflorescences salines apparaissent parfois en surface de Sols à Pseudogley d'ensemble et engorgement permanent de profondeur cultivés. Ce sont des sulfates de sodium et magnésium (Fadama du Dallol Maouri) des chlorures et sulfates de sodium et calcium (bas Dallol Maouri) des sulfates et carbonates de sodium (Dallol Bosso) dont les agriculteurs signalent de temps à autre les effets dépressifs. De même, à en juger par les témoins subsistants dans les salines, il semble que l'organisation des Sols

Salins était la même que celle des Sols Hydromorphes et des Sols à Alkali stériles : on y retrouve les sables de bases jaunis et concrétionnés, les dépôts de colmatage noirs. Sur le fond des mares qui les ont remplacés se reconstituent des sols très minces, salins, sulfureux, à gley (NJ 15, Bana) :

Surface : boursouflures blanches (sulfate de calcium et de sodium, chlorure de sodium, traces de bi-carbonates)

0-0,3 cm : sous un film d'algues, sables ferrugineux brun-ocre (oxydés) effervescents (carbonate de calcium)

0,3-2 cm : sables noirs sulfureux salés (sulfate de calcium, chlorure de sodium)

2-10 cm : sables gris à taches ferrugineuses rouges, peu salés (mêmes sels)

10 cm : nappe (sulfatée et chlorurée sodique, des traces de bicarbonates)

2.337

Données analytiques

Les taux d'argile du colmatage varient entre 10 et 60% et se fixent en moyenne entre 15 et 20%. Les taux de matière organique se situent entre 0,5 et 3,5%, le maximum correspondant aux prairies hydrophiles. Les C/N (8-14) peuvent être élevés, effet fréquent de l'hydromorphie. Les sols non salés ou à salure neutre sont acides et désaturés, sauf en région sahélienne où leur régime hydrique tend vers celui des sols bien drainés. L'alcalisation est toujours modérée dans les Dallols Fogha et Maouri où le pH le plus élevé est de 9,5 et le rapport Na/T maximum de 16%. Une étude de détail de Soberon, dans le Dallol Bosso (1965) indique des pH de 9,1 à 10,6 et des valeurs de Na/S de 33 à 62%, effets probables de la plus grande richesse en carbonates de la nappe. L'instabilité structurale est toujours élevée : 3 à 16. Il est possible que tous les sels solubles de sodium et magnésium (cf. p.1051) aient un effet dispersant qui se maintienne après que la plus grande partie en ait été lessivée.

2.338 Conséquences quant à l'utilisation

L'exemple de Bengou montre que la mauvaise qualité structurale des sols n'est pas un obstacle insurmontable aux techniques agricoles traditionnelles. Les caractéristiques chimiques conviennent à toutes les cultures, sauf au riz où les pH sont alcalins. En dehors d'aires bien circonscrites et depuis longtemps mises hors d'état d'être cultivées, les régimes hydriques naturels maintiennent la salure à un niveau très acceptable. Elle croîtrait après toute opération qui en ferait remonter le niveau (irrigation ou déboisement) avec des conséquences probablement plus dommageables dans le Dallol Bosso que dans le Dallol Maouri.

3. C O N C L U S I O N S

3.1 L'HYDROMORPHIE D'ORIGINE EXTERNE ET L'HALOMORPHIE DES MATERIAUX RECENTS

3.11 L e s e f f e t s p é d o g é n é t i q u e s d e s d i v e r s m o d e s d ' e n g o r g e m e n t

3.111 Engorgement de surface ou d'ensemble, par crue ou inondation de retenue

Les taux de matière organique et les rapports C/N croissent par rapport à leurs valeurs dans les sols bien drainés de mêmes texture et latitude en fonction de la durée de

l'engorgement. Les horizons noirs des Sols à Gley Humiques à anmoor acide n'ont été observés que sur les alluvions suffisamment argileuses du cours méridional du Niger où la crue soudanienne permet à la végétation aquatique de survivre à la saison sèche. Ailleurs, principalement dans les mares sahéliennes, cette dernière interrompt le développement végétatif et les sols sont alors clairs, avec des taux modestes d'une matière organique bien évoluée, plus élevés sous les bois et forêts que sous une strate purement herbacée.

Les hydroxydes de fer sont redistribués et tendent à migrer vers la base de l'horizon A, selon des modalités qui définissent le Pseudogley et le Gley, le premier par un bariolage (p. 277) le second par la décoloration, deux aspects complémentaires des mêmes mécanismes.

Les pH, et les coefficients de saturation, sont toujours abaissés. Il en est de même des taux de sels et de sodium. Les eaux de surface qui ne sont pas liées à la nappe sont en effet douces partout et ne tamponnent pas l'acidification organique.

Sans être impossibles, le lessivage et l'appauvrissement en argile n'ont pas été observés, sauf à la base de toposéquences à Sols Ferrugineux Lessivés, en des sites où l'origine externe de l'engorgement était douteuse.

La relation est directe entre les pH et les capacités d'échange car les bassins les plus arrosés sont aussi ceux où dominent les toposéquences kaoliniques. Il n'est pas impossible que cet équilibre entre le milieu et la minéralogie des argiles existe encore au niveau des horizons, le Gley acide s'accompagnant de capacités d'échange plus faibles (p. 483).

Le développement pédique et la stabilité structurale dépendent de l'accumulation organique, de la présence d'une végétation dense et pérenne. Ils croissent avec l'hydromorphie jusqu'au Gley dans les flats où se différencient des horizons à anmoor. Leur maximum s'arrête au Pseudogley, sous forêt, dans les alluvions dont les termes les plus engorgés sont des Sols à Gley gris très instables. Dans ces dernières, les facteurs défavorables sont la richesse en sables fins et limons, la relative pauvreté en matière organique, le manque de liaison entre cette dernière et l'argile, la dispersibilité élevée

du plasma minéral. Ils se concrétisent par des structures dont la grossièreté et la compacité croissent avec la durée de l'engorgement, prismatiques, cubiques, polyédriques.

Les argiles noires et les structures vertiques sont fréquentes dans les alluvions récentes où abondent les argiles gonflantes. Elles sont incompatibles dans le même horizon avec un Gley prononcé.

3.112 L'engorgement de surface par épandage et pluvial

Il produit un Pseudogley atténué et, à l'exception de quelques sols calcaires, une accumulation de matière organique faible et des structures grossières. Ces dernières sont prismatiques, cubiques, polyédriques, fréquemment laminaires en surface, avec un retrait moindre que dans les zones inondées. L'acidité superficielle s'atténue et disparaît. Un régime exsudatif redistribuant le calcaire de matériaux ou d'anciens horizons carbonatés peut même apparaître pour des pluviosités ordinairement faibles, sahéliennes, mais atteignant 620 mm dans la région de Dungass.

3.113 L'engorgement de profondeur ou d'ensemble par nappe

L'importance de l'ETP fait que les traits de nappe les plus importants et les plus constants sont des concentrations. Les unes sont confinées aux horizons profonds par l'imperméabilité ou par l'action antagoniste de la percolation, les autres tendent à se répartir sur tout le profil sous l'effet d'un flux capillaire ascendant.

Les concentrations ferrugineuses confinées sont des nodules tendres, rouges, verticaux ou anastomosés, dans une matrice argileuse très décolorée. Cette "plinthite", caractéristique des bas de toposéquence à Sols Ferrugineux Lessivés, n'est que rarement bien formée dans les alluvions du lit majeur (Sirba) où elle est remplacée par un bariolage moins ordonné. Les concentrations ferrugineuses de flux ascendant sont les concrétions tubulaires, les nodules stalagniformes, situés au toit des magasins sableux. L'horizon jauni identiquement situé paraît, dans certains sites (bas Dallol Maouri) résulter également d'une concentration.

Les concentrations manganésifères, taches ou nodules dans

les sables, concrétions sphériques dans les argiles, s'associent aux précédentes dans les horizons acides ou les remplacent dans les horizons à pH élevés. Ce domaine de solubilité plus étendu leur permet également d'être plus largement répartie et d'atteindre la surface de sols à engorgement de nappe.

On attribue à une concentration confinée les horizons bruns ou brun-jaune marmorisés à amas ou nodules calcaires, relativement riches en sodium échangeable, à argiles à capacité d'échange accrue, qui apparaissent en profondeur d'alluvions issues du socle (Gorouol) ou des schistes nigériens.

Les sels phréatiques sont la cause principale de l'halomorphie. Leur répartition dépend de leur solubilité et de la perméabilité capillaire du sol, secondairement de phénomènes d'échange ou d'oxydo-réduction. Si la nappe est peu salée et le profil sableux et homogène, il se produit une ségrégation verticale des sels, les plus solubles pouvant atteindre la surface et y former des efflorescences, les carbonates de calcium et de magnésium précipitant dans le profil en pseudomycelium, amas, nodules, croûtes. Sinon l'ensemble des sels peut co-précipiter dès le toit de la nappe si elle est très concentrée, ou s'accumuler préférentiellement dans un horizon plus argileux. La matière organique est dissoute, la végétation est raréfiée, les horizons A disparaissent pour des conductivités assez basses lorsqu'elles sont dues à des carbonates alcalins (0,63 à 0,75 mmhos/cm, extrait 1/10, pH de 8,5 à 10, en saison sèche). Les concentrations salines s'observent partout où existe une nappe, jusqu'aux pluviosités les plus élevées du Niger (875 mm). Le lessivage pluvial les contient dans des limites qui ne leur permettent pas le plus souvent de spécialiser nettement la végétation ni de transformer le profil hydromorphe. Il n'élimine pas aussi facilement les carbonates peu solubles qui, après abaissement du niveau phréatique, persistent, plus ou moins redistribués, comme reliques des Sols Halomorphes anciens.

L'évaporation en surface de saumures phréatiques produit des sols à encroûtement salin, à gley sulfureux, à cristaux intercalaires, à dépôts internes et abondants de carbonates de calcium et magnésium. Le potentiel d'oxydo-réduction et les taux de gaz

carbonique y déterminent l'équilibre sulfates/carbones. Les limons calcaires associés à des sables à sulfures des alluvions palustres ou lacustres inactuelles peuvent être des reliques de sols à encroûtement salin du même genre. Il n'en est pas de même de dépôts externes plus purs, les calcaires lacustres associés aux diatomites, qui relèvent d'autres mécanismes.

La fixation du sodium par le complexe absorbant est parallèle à l'accumulation saline, le sodium venant en tête ou en second rang des cations phréatiques; elle est limitée par la présence de carbonates de calcium et magnésium. Elle tend en conséquence à être plus forte au sommet des sols traversés par le flux capillaire, à se localiser à la profondeur des sols d'où la nappe s'est retirée et soumise à une lixiviation suffisante par les eaux superficielles (Azaouak) ou encore à l'hydromorphie confinée (lits majeurs du Gorouol, du Niger).

Un second ensemble de caractéristiques, moins connues, indiquerait des possibilités de mouvement de l'argile dans les sols à engorgement de nappe : disparition de tout plasma des magasins de nappe sableux (sables blancs) mise en suspension de l'argile par des sels neutres, élévation des taux au toit de la nappe de sols à alcali.

Le gley ferreux n'apparaît que dans les horizons argileux ou dans des inclusions plus fines, ou compactes, ou organiques des horizons sableux.

Les horizons durablement engorgés sont massifs et compacts. Les horizons riches en sodium échangeable ne possèdent pas de structures spéciales, si ce n'est que leur cohésion est des plus fortes à l'état sec. Leur instabilité, très élevée, s'étend souvent à tout le profil et à tous les sols morphologiquement semblables du même système alluvial, indépendamment du taux relatif de sodium. L'alcalisation, ou même la fixation préférentielle de tout autre cation dispersant (K, Mg) est une condition suffisante mais non nécessaire d'une forte dispersibilité, laquelle peut être assortie d'une répartition normale des bases échangeables (cf. NA 18, tabl. 187). Il reste que toutes deux ont été acquises simultanément dans un matériel soumis à un moment ou à un autre de son histoire à une concentration saline.

3.12 Les types principaux de Sols
Hydromorphes et Halomorphes

3.121 Les Sols Hydromorphes Minéraux à Gley ou Pseudogley
de surface ou d'ensemble

Ils se forment sur les alluvions de lit majeur de textures moyennes, par l'effet de la crue annuelle et de la nappe sous-alluviale. Les profils sont de type A g ou G - g ou G cn. Le Gley n'est pas ordinairement ferreux, il est décoloré. L'horizon moyen est toujours plus diffusément bariolé et mieux structuré; on le suppose en conséquence mieux aéré. L'horizon profond tend à évoluer en une plinthisse massive ou bien, plus saturé et riche en sodium et calcaire, se transforme en un matériel smectitique marmorisé. Dans ce dernier cas, le profil est divisé en deux phases toutes différentes, l'une organique et acide, l'autre saturée, évoluant chacune pour son propre compte sous l'action d'une double circulation d'eaux.

3.122 Les Sols Hydromorphes et Vertiques

Leur matériau est l'argile gonflante des biefs et des retenues. Ils forment une séquence continue depuis les Vertisols Topomorphes (ou Hydromorphes) jusqu'aux Sols à Gley de surface, séries vertiques grises ou noires, en passant par des Sols à Pseudogley, séries vertiques. Leur régime hydrique est celui des alluvions précitées ou s'atténue jusqu'à l'engorgement par épandage.

Les Séries grises des Sols à Gley vertiques sont caractéristiques des mares et biefs sahéliens. Leur profil synthétique :

A.G - (B) vv marmorisé - v ca cn sn, G ou marmorisé

répète l'opposition déjà notée dans les alluvions entre des horizons supérieurs désaturés, gris (5-6/1) largement prismatiques, et des horizons profonds plus bruns et homogènes, à structures de gonflement, à concentrations calcaires ou sodiques fréquentes.

Les Séries noires du flat du Niger (2-3/0) plus acides et organiques ont transition avec les Sols à Gley Humiques. Les mêmes teintes sombres étendues à tout le profil

mais assorties de structures très grossières et instables et de taux de matière organique médiocres apparaissent dans des Vertisols très alcalisés de mares du socle granitique (p.445).

Les Vertisols Topomorphes proprement dits ne diffèrent que par l'absence de ségrégations dans l'horizon A et de gley à la base du profil, les parties médianes pouvant être encore marmorisées. Ils sont généralement bruns, homogènes, pauvres en matière organique, peu ou pas désaturés en surface. Les structures sont les mêmes, avec un retrait plus faible (p.1003). Le microrelief peut cependant être encore appréciable dans les axes d'écoulement des eaux d'épandage. Les quantités d'eaux reçues peuvent être de beaucoup plus faibles que lors de la formation de l'ensemble du profil et ne plus agir que sur la saturation et le développement pédique des premiers centimètres (Azaouak).

3.123 Les argiles noires à alcali, ou calcaires

Elles évoluent en régime actuel d'épandage sur des alluvions fluviatiles ou palustres d'aires à niveau phréatique jadis élevé (bordure nord de la cuvette tchadienne, secteurs a.1 et a.2 du Kadzel, région de Dungass, Azaouak) dans le voisinage de Vertisols Topomorphes ou Topo-Lithomorphes. Leurs profils, foncés (3-4/1-2) sont de type synthétique :

A - (B) ca - ca na sn cn

Le calcaire, en voiles mycéliens, ou en amas et nodules, est visiblement un dépôt de nappe. Le développement pédique, prismatique et polyédrique, parfois cubique, n'est pas suffisant pour la Classe des Vertisols, le profil étant trop mince, ou trop sableux. On ventile donc cet ensemble entre les Sols à Alcali Non Lessivés, les Sols Hydromorphes calcaires, les Sols Subarides Bruns tirsifiés, bien qu'ils aient une constitution et une histoire semblables.

3.124 Les Sols Peu Evolués d'Apport Mal Drainés

En régime d'épandage ces empilements de profils élémentaires Ag - Cg conservent jusqu'à la couleur des sols d'emprunt (Maggia). En régime de crue un meilleur classement granulométrique et des niveaux de pseudogley et gley mieux formés limitent cet héritage, encore très sensible,

aux constituants, à la saturation, à la répartition des bases échangeables (rivières méridionales).

3.125 Les Sols Hydromorphes Minéraux sableux à engorgement de nappe

Ils se ramènent tous au même profil A-C (g) dont l'horizon humifère, brun ou gris, noir si l'engorgement est total, repose sur des sables décolorés, quelquefois par l'intermédiaire d'un horizon jauni ou concrétionné, plus rarement à nodules calcaires. Le Gley ferreux n'apparaît que difficilement, dans des inclusions plasmiques. Ces sols sont normalement désaturés mais, après retrait de la nappe, ils acquièrent les pH correspondant à la pluviosité du lieu.

3.126 Les Sols Salins

Leur organisation passe par degrés de celle des sols à efflorescences neutres :

sa - A - C (g)

qui conservent le profil et l'acidité des Sols Hydromorphes sableux à celle des Sols Salins à encroûtement :

sa - A sa ca - G sa ca G : ferreux et sul-

fureux sur des matériaux plus argileux et généralement complexes. Les carbonates de sodium provoquent une involution des horizons A et une élévation considérable des pH.

3.127 Les Sols Peu Evolués calcaires

Situés dans des régions actuellement sèches, humectés par épandage, ils sont tenus pour des reliques de Sols salins carbonatés. Le calcaire, contenu dans des horizons profonds qui peuvent être encroûtés (Dungass) alcalisés, est redistribué dans des apports superficiels récents qui peuvent acquérir une structure fine de Sols Calcimorphes :

A ca - 2 A b ca - ca sn ou A - g ca - ca.

Groupements de sols	Processus, mécanismes, traits attribuables à l'engorgement au niveau du profil, de l'horizon, du trait mais dont la nature hydromorphe n'est pas explicitée par la Classification	Caractères hydromorphes explicités par la Classification.
<p>Sols Ferrugineux Lessivés à taches, concrétions, cuirasse</p> <p>Sous-groupes ou Séries</p> <p>Sols Ferrugineux Lessivés fortement éluviés (A - cn)</p> <p>Séries</p>	<p>Pas de rubéfaction de la base du profil. Nodulation ferrugineuse</p> <p>Brunissement Nodulation calcaire</p> <p>Nodulation ferrugineuse</p>	<p>Pseudogley de surface, d'ensemble</p> <p>Gley de profondeur</p> <p>Pseudogley de surface ou d'ensemble</p>
<p>Sols Ferrugineux Dystrophes</p> <p>Séries</p>	<p>Néant</p> <p>Accumulations discontinues avec micro-horizons supérieurs décolorés</p> <p>Brunissement</p>	<p>Horizons jaunis ou décolorés par action de nappe</p> <p>Concrétions de nappe</p> <p>Amas calcaires de nappe</p> <p>Pseudogley de profondeur ou d'ensemble</p>

Groupements de sols	Processus, mécanismes..	Caractères hydro-morphes...
Vertisols, argiles noires	<p>Paragenèse smectites-carbonates en milieu confiné</p> <p>Adsorption de la matière organique et formation de l'argile noire</p> <p>Développement pédique, pédo-turbation par gonflement et retrait</p>	
<p>Sous-Classe</p> <p>Groupe non Grumosolique</p> <p>Sous-Groupes</p>	<p>En régime de crue sahélienne élargissement des structures</p> <p>A caractères de salure</p>	<p>Topomorphe ou Hydromorphe</p> <p>A larges concrétions d'hydromorphie</p>
<p>Sols Halomorphes à structure dégradée</p> <p>Groupe à Alkali Non Lessivé</p> <p>Sous-Groupe Très Salé</p> <p>Sous-Groupe Moyennement Salé</p> <p>Groupe à Alkali à argile dégradée</p>	<p>Hydromorphie de nappe souvent inactuelle</p>	<p>Hydromorphie de nappe</p>

<p>Sous-Groupe des Solonetz Solodisés</p>	<p>Pseudogley au niveau du contact A/B planique</p> <p>Nodulation manganésifère et pseudogley au sommet des colonnettes</p> <p>Paragenèse smectites-carbonates en profondeur</p>	
<p>Sols Salins</p> <p>Sous-Groupe à Encroûtement</p> <p>Sous-Groupe à Horizon supérieur friable (et efflorescences)</p> <p>Sous-Groupe</p>	<p>Hydromorphie de nappe d'ensemble</p> <p>Hydromorphie de nappe de profondeur</p>	<p>Hydromorphie de nappe</p>
<p>Sols Calcomagnésimorphes</p> <p>Groupe</p>		<p>Sols Alluviaux calcimorphes</p>
<p>Sols Peu Evolués d'Apport</p> <p>Sous-Groupes</p>		<p>Hydromorphes à gley ou pseudogley</p>

Les Sols Hydromorphes

<u>Groupements</u>	<u>Affinités</u>
Groupe : Sols Humiques à gley à anmoor acide	Vertisols grumosoliques
<p>Groupe : Sols peu Humifères à Gley</p> <p>Sous-Groupe : à gley de surface ou d'ensemble</p> <p>Séries vertiques grises</p> <p>Séries vertiques noires</p> <p>Sous-Groupe : à gley de profondeur</p> <p>Séries à horizons carbonatés et marmorisés</p> <p>Séries à horizons décolorés ou jaunés ou à concrétionnement de nappe : A - C (g) en</p> <p>Sous-Groupe : à Gley salé</p>	<p>Vertisols Topomorphes Non Grumosoliques</p> <p>Vertisols Topomorphes Non Grumosoliques</p> <p>ou</p> <p>Sols Humiques à Gley</p> <p>ou</p> <p>Sols à Alkali Non Lessivés</p> <p>Vertisols Topomorphes et Groupe suivant</p> <p>Sols Peu Evolués bruns A-C, Sols Bruns Subarides, Sols ferrugineux Dystrophes Peu Différenciés</p> <p>Sols à Alkali Non Lessivés complexes</p>
<p>Groupe : Sols Peu Humifères à Pseudogley</p> <p>Sous-Groupe : à taches et concrétions d'oxydes de fer et de manganèse</p> <p>Séries Lessivées</p>	<p>Organisation spécifique</p> <p>Sols Ferrugineux Lessivés</p>

<p>Groupe : Sols Hydromorphes Peu Humifères avec redistribution du calcaire et du gypse</p> <p>Sous-Groupe à amas, nodules calcaires</p> <p>Sols à encroûtement calcaire de nappe</p>	<p>Reliques de sols salins; évolution vers les Sols Alluviaux Calcimorphes ou vers les Sols à Alkali Non Lessivés</p>
---	---

3.3 REFERENCES CARTOGRAPHIQUES

Les Sols Hydromorphes Minéraux à Gley et Pseudogley encore régulièrement inondés

Sols à Gley de surface ou d'ensemble, sur alluvions fluviatiles. Association du lit majeur du Niger

Feuille Niamey

Sols à Pseudogley à taches et concrétions sur sables fins argileux. Associations des terrasses du Niger

Feuille Niamey

Vertisols Hydromorphes, Sols à Gley de surface, Sols à Pseudogley d'ensemble sur alluvions du lit majeur du Gorouol

Carte du Gorouol

Sols à Pseudogley à taches et concrétions sur alluvions diverses

Feuille Niamey

Références à l'unité précédente dans les rapports annexés aux feuilles Maradi et Zinder

Sols à Pseudogley d'ensemble et Gley de profondeur sur sables argileux. Association de Teguey

Carte du Gorouol

Sols Peu Evolués d'Apport Mal
Drainés sur alluvions récentes
du Goulbi de Maradi Feuille Maradi

Les Sols Hydromorphes Minéraux inondés par épandage

Sols Bruns Subarides Vertiques sur
argiles de décantation. Association
de l'Azaouak Feuille Niamey

Vertisols Topomorphes largement
structurés dès la surface. Sur
alluvions des cours d'eau tempo-
raires. Sols des plaines argileuses
du Damergou Feuille Zinder

Vertisols Hydromorphes largement
structurés dès la surface sur allu-
vions fluviolacustres du Kadzel. En
association avec des Sols Halomorphes,
Hydromorphes et Subarides Brun-Rouge
complexes Feuille Zinder

Sols Hydromorphes et Sols Calcimorphes
de l'association à Sols Ferrugineux
Non ou Peu Lessivés de la formation
sableuse du Malwa Feuille Zinder

Les Sols Hydromorphes et Halomorphes de nappe

Sols à hydromorphie partielle de
profondeur. Sols à gley, à taches
et concrétions, sur dépôts de col-
matage d'ergs ou de massifs sableux.
Association à Sols Halomorphes (sols
à natron) Feuille Zinder

Termes associés aux Sols Peu Evolués
Brun-Rouge : sols à alcali, sols à
croûte saline parfois sulfatée, sols
hydromorphes des fayas Feuille Zinder

Termes associés aux Sols Peu Evolués
Ferrugineux : sols à alcali sur li-
mons calcaires, sols à alcali et sols
hydromorphes, sols hydromorphes et sols
calcimorphes sur limons calcaires Feuille Zinder

Sols à hydromorphie totale temporaire. Sur formation sableuse des bordures du lac Tchad. Sols à variations de salure suivant celles du lac Tchad

Feuille Zinder

Sols à Pseudogley. Sols à amas et nodules calcaires. Sur dépôts sableux du lac Tchad.

Feuille Zinder

Sols à Gley de profondeur. Sur formation sableuse des vallées sèches. Association à Sols à Alcali (Dallol Bosso). Association à Sols Hydromorphes polyphasés et à Sols à Alcali (Dallol Maouri

Feuille Niamey

Chapitre XIV

LES ETAPES DE
L'EVOLUTION DES SOLS
DU NIGER MERIDIONAL

1. E S Q U I S S E D E L ' H I S T O I R E
 D E S S O L S (M.GAVAUD, 1968)

La plupart des sols évolués des formations superficielles sont apparus pendant le Quaternaire ancien et moyen. Ils ont été précédés par des altérites, suivis par des sols peu différenciés. Ils se situent dans une période dont la forte cuirasse ferrugineuse des grès Mio-Pliocène indique le début et les sols rouges d'âge Wurmien la fin. La péjoration climatique que ces deux bornes indiquent a été également enregistrée par les sols d'âges intermédiaires ou plus récents et s'étend à tout le Quaternaire. Elle est la tendance longue à l'aridité d'une succession de pseudo-cycles alternant des phases de pédogenèse de moins en moins actives et des phases d'érosion à hydraulicité de plus en plus réduite. La combinaison de ces fluctuations avec un abaissement continu du niveau de base a produit dans les régions surélevées des modelés étagés aux sols d'autant plus juvéniles et moins différenciés qu'ils sont plus bas. Les sols sont uniformément récents dans la cuvette subsidente tchadienne.

Les restes des modelés les plus anciens n'ont conservé que des Sols Ferrugineux Lessivés à cuirasse puis concrétions, à l'exception limitée de Sols Faiblement Ferrallitiques. Ils définissent une première période de

formation des sols dont on suppose que les phases pédogénétiques correspondaient à des climats analogues. Pendant la seconde période, les sols se sont diversifiés sur un modelé unique en fonction du substrat; les Vertisols, les Sols Halomorphes, les Sols Hydromorphes se sont ajoutés aux Sols Ferrugineux. La fin peut en être séparée non que des processus nouveaux y soient apparus, mais parce que les phases d'érosion, très arides, y ont produit un matériel très particulier, les sables dunaires. La dernière période, aux sols à évolution faible ou rapide, recouvre la fin de l'Holocène.

2. L' A C Q U I S A L' O R E E D U Q U A T E R N A I R E

2.1 LES MONTINSULES DU MOUNIO (FAURE, 1966)

Fossilisé par les grès crétacés et tardivement exhumé, ce relief différentiel en roche nue n'a pu être nivellé par l'altération paléocène. La résistance généralement constatée des granites alcalins à grain fin dont ces collines sont formées y a réduit l'extension et l'effet de chaînes d'altération à sols ferrugineux et smectitiques.

2.2 LE CATAPHORMISME DES ROCHES BASIQUES BIRRIMIENNES (WACKERMAN, 1967)

L'altération météorique des roches basiques, gabbros

et grano-diorites, aurait produit non seulement les lithomarges superficielles mais encore des roches tenues habituellement pour volcaniques et sédimentaires. Aux faciès verts du premier degré d'altération, produits dans la zone de cémentation profonde (amphibolites, chloritoschistes, serpentines) succèderaient les faciès pélimitiques du deuxième degré (shales, schistes argileux à vermiculite, séricite, quartz néogénétique) puis les faciès à plasma cryptocristallin du troisième degré (argiles smectitiques à nodules calcaires, argiles illitiques, argiles kaoliniques et oxydes de fer).

La surface de contact entre le premier et le second degré a dans le paysage le même rôle que le front d'altération du manteau paléocène des granites dont l'horizon kaolinique a les faciès pélimitiques pour équivalent. Les lithomarges kaoliniques rubéfiées sous cuirasses sont encore une partie inactuelle, quoique plus récente, de cette épaisse écorce.

Les argiles illitiques et surtout montmorillonitiques n'apparaissent jamais que sur les modelés inférieurs, les plus récents, cette situation pouvant être aussi bien le fait d'une adaptation aux conditions actuelles de drainage qu'un héritage de la zonation verticale des altérations anciennes.

2.3 LE MANTEAU D'ALTERATION PALEOCENE ET LES GRES TERTIAIRES

Il s'est étendu à la surface de discordance séparant le Continental Hamadien du Continental Terminal, au socle du Niger occidental où son épaisseur atteint 70 m sur les granites, au socle du Niger oriental, le Mounio excepté. Il ne s'exprime pas sinon douteusement sur les roches très siliceuses (quartzites sugariens et voltaïens) ni sur celles dont la minéralogie est celle de son propre éluvial (shales et schistes nigériens et birrimiens) ou en approche (grès continentaux crétacés).

Une altération siallitique de milieu biostasique y a produit l'horizon le plus caractéristique, un kaolin impur à phyllites et quartz résiduels. L'alumine, ordinairement

absente ou combinée en petite quantité à des sulfates, s'est parfois concentrée en des gîtes bauxitiques de la base du Continental Terminal. Les horizons profonds, mal connus, peuvent contenir des smectites, des carbonates de sodium et calcium. Le plancher rocheux a été nivelé, à des accidents locaux près (boulders, filons de roches basiques à grain fin).

La phase migratrice soluble et pseudo-soluble s'est accumulée dans le bassin de sédimentation marine du Niger central en carbonates, smectites, oxydes de fer oolithiques. L'érosion rhexistasique du reliquat d'altération a été ensuite inégalement favorisée par des mouvements tectoniques qui ont déplacé le centre du bassin vers le Niger occidental où, en milieu plutôt continental, se sont déposés les grès et argiles tertiaires. A l'est, la cuvette tchadienne recevait des dépôts analogues du Crétacé et du Sugarien (Chad Group). Cette masse de matériel tendre et kaolinique a longuement et fortement influencé la pédogenèse.

2.4 LA CUIRASSE SUPERIEURE

A la fin du dépôt des grès, le relief se réduisait à une surface très régulière, déprimée vers le centre des bassins, relevée en ondulations très molles sur les bordures continentales, en plans monoclinaux à l'emplacement des aires de sédimentation marine éocène. Elle recoupait partout, le plus souvent en conformité structurale, des matériaux très évolués, kaoliniques et ferrugineux pour la plupart. Une phase d'apport ou remaniée, décimétrique, la couronne parfois encore. Elle contient des gravillons d'une cuirasse dont il n'existe pas d'autres traces au Niger (Liptako) des galets de grès oolithiques (Damergou) dont la datation relative est encore très incertaine.

Le substratum et ce matériel ont été altérés et ferritisés sous un climat plus humide qu'aucun de ceux qui suivront mais à forte évapotranspiration. Les quartz se sont cariés, les phyllites résiduelles ont disparu, une partie de la kaolinite a été dégradée, de la gibbsite virtuelle est apparue en petite quantité. Des hydroxydes de fer dissous ont envahi une structure micropédique de type ferrallitique et ont cristallisé en goethite et hématite floconneuse ou sphérolitiques. A l'échelle macroscopique, ils se sont concentrés en volumes nodulaires de plus en plus nombreux, réguliers, denses et déshydratés vers la surface, dans une cuirasse dépassant la dizaine de mètres

d'épaisseur, très indurée, rouge sombre, à horizons successivement pisolitiques (phase d'apport) massifs à porosité alvéolaire ou tubulaire, nodulaires ou pseudo-bréchiques. Les grès très ferrugineux du Continental Terminal, abondants à la base de la formation (Ct.1) ont été réfractaires à ces mécanismes et ont été simplement indurés tout en conservant leur structure.

La canalisation des eaux du sol ou de la nappe phréatique succédant à la ferritisation a provoqué une ablation de matière endogée se manifestant à diverses échelles par des tubes, par des grottes, par des effondrements en cratères, par des concentrations de pisolites dans des cavités en entonnoir, à un stade très précoce de l'incision de cette surface.

3. LA PREMIERE PERIODE DE PEDOGENESE, A SOLS FERRUGINEUX LESSIVES INDURES

3.1 LES CUIRASSES FERRUGINEUSES DU HAUT MODELE (M.1)

La surface supérieure a été déblayée ou découpée en plateaux tabulaires par un premier système de glacis ou de versants sur une épaisseur comprise entre 50 m sur les granites, où le front d'altération n'a pas été atteint, et 120 m dans l'Ader Douchi. Sur le socle du Niger occidental des glacis (M.1a) perchés au-dessus d'un second ensemble de pentes et de fonds de vallées indiquent un creusement en deux temps séparés par une phase intermédiaire de cuirassement. Cet étagement n'a pas été observé ailleurs avec certitude et fait défaut sur les

grès continentaux (Ct.1-3).

Des pavages résiduels et des cailloutis fluviatiles tapissent d'une nappe détritique continue les pentes douces et les dépressions de ces modelés, en dehors de quelques têtes de bassin (M.la). Leur volume peut être considérable, recouvrir plusieurs centaines de kilomètres carrés dans le bassin du goulbi de Maradi, s'entasser en petites collines sur les glacis à pavage de l'Ader Douchi. Leur squelette de roches dures et peu altérables (quartz, grès ferrugineux, cuirasse supérieure) est émoussé dans les concentrations fluviatiles; la matrice en est kaolinique. Des pluies fortes et concentrées devaient caractériser le climat autorisant, sur des modelés aussi doux, une pareille hydraulicité et une telle agressivité des eaux. Il n'a pas de modèle actuel dans l'Ouest africain et si, par récurrence, on le suppose moins humide que pendant le cuirassement, il ne saurait être assimilé avec le climat subaride tel que nous le connaissons.

L'épaisseur et l'extension du cuirassement sont réduites par rapport à la surface supérieure et modulées par l'âge, la richesse en fer du substrat, par le gradient pluviométrique. Il est encore généralisé sur le Birrimien, où il est épais de 3 à 5 m sur M.la, de 0,5 à 3,5 sur M.lb. Sur les grès, cette épaisseur varie entre 0,5 m et 2 m. Aux basses latitudes, il forme encore une auréole continue autour des plateaux de la surface supérieure : plus au nord, il se limite à la base des versants et se réstreint finalement, dès la zone actuellement sahélienne, aux phases conglomératiques les plus grossières. Le pédoclimat était moins humide et moins uniforme en latitude que celui qui fut contemporain de la cuirasse supérieure.

Quelques restes d'horizons meubles conservés sur les grès, les traits micro-structuraux, indiquent que les cuirasses sont des horizons B illuviaux indurés de toposéquences à Sols Ferrugineux Lessivés dont les termes supérieurs, les mieux drainés, pouvaient être des Sols Faiblement Ferrallitiques (M.la).

La ferritisation atteint la nappe détritique, le substratum, altérite kaolinique ou grès. Les ciments, goethitiques et hématitiques, sont peu cristallisés, irrégulièrement répartis à fine échelle; les couleurs sont en conséquence plus ternes et hétérogènes que dans la cuirasse supérieure, la cohésion très variable. Les faciès macroscopiques, massifs, pisolitiques, nodulaires, feuilletés, ces derniers

caractéristiques d'une circulation latérale, s'organisent en horizons peu distincts et différents d'un site à l'autre, traduisant la variabilité des régimes hydriques. Le degré d'altération du plasma est le même que celui de la cuirasse supérieure, mais les quartz ne sont plus que rarement cariés. La structure de base peut être encore régulièrement micropédique mais elle est plus ordinairement remplacée ou englobée dans de gros volumes irréguliers dus à une distribution relative du plasma et du squelette et correspondant à la macro-structure polyédrique. A l'imprégnation et à la nodulation par des ciments purement ferrugineux, s'ajoutent une illuviation d'un plasma argilo-ferrugineux disposé en cutines épaisses autour des nodules ou sur les parois de macro-vides et une venue tardive d'oxydes de manganèse associée à une déferritisation locale de vides structuraux, de pores tubulaires, de fissures. Les remaniements texturaux, les structures grossières, l'illuviation associée de l'argile et du fer, les circulations obliques dans de gros vides, le pseudogley sont des caractéristiques de Sols Ferrugineux Lessivés qui n'existaient pas, à l'exception de la première, dans la cuirasse supérieure où seuls les hydroxydes de fer se déplaçaient dans la matrice argileuse par des micro-vides très fins.

Les mêmes mécanismes ont été appréciés dans les conglomérats des terrasses dont certains ont également fonctionné en horizons B illuviaux. Dans les cailloutis de Maradi, des accumulations discontinues à goethite sphérulitique ont été attribuées à un apport de nappe.

La fissuration et la recimentation des cortex ferrugineux, la circulation d'éléments fins siliceux, argileux, carbonatés, sont des caractéristiques posthumes nées de l'érosion et de l'apparition de toposéquences nouvelles de climats plus secs.

3.2 LES SOLS FERRUGINEUX LESSIVES A CONCRETIONS ET CUIRASSE DU BAS-MODELE (K.2)

Une incision de 10 à 35 m déplace les lignes de drainage des bassins du socle, inverse le relief, isole les glacis cuirassés en tables monoclinales, dégage les fonds de vallées en hautes terrasses. Elle approche du front d'altération et met en affleurement des filons de roches dures ou

à grain fin (quartz, gabbros) des altérites gonflantes autour de pointements locaux de roches basiques. Dans la nappe détritique, moins épaisse, des roches altérables s'ajoutent au quartz, aux gravillons de cuirasses. Les cailloutis fluviatiles peuvent être encore importants (2-10 m) mais leur usure est moins forte. La matrice est généralement kaolinique.

Le tracé des vallées sur grès (Ct.1-3) reste stable; un bas-versant recreuse de 5 à 25 m l'ancien thalweg. Des fragments de grès ferritisés, des gravillons de la cuirasse supérieure le tapissent d'un mince niveau graveleux résultant moins d'un épandage que de processus d'éluviation différentielle à l'échelle du profil. Les cailloutis fluviatiles correspondants ne sont pas connus hors de la vallée du Niger.

Comme sur le haut-modélé, le cuirassement naît de la ferritisation des agrégats d'horizons B kaoliniques de toposéquences où les Sols Ferrugineux Lessivés dominent. Il est moins intense et encore plus sensible aux facteurs mésologiques.

Son épaisseur est de l'ordre de 0,4 à 0,6 m sur les glacis du socle où souvent il est remplacé par un horizon simplement concrétionné. En bas de pente, des cuirasses manganésifères sont attribuées à des Sols Hydromorphes Lessivés. Le feuilletage du lessivage oblique est très visible dans les conglomérats fluviatiles dont l'épaisseur indurée atteint trois mètres au sud et 0,6 m au nord.

L'extension des terres bien drainées et rubéfiées, à structures plus fines, stables et perméables, a limité le cuirassement aux parties basses des vallées les plus méridionales (Gaya) des grès tertiaires. En des sites privilégiés par leur richesse en fer, certains de ces sols rouges confinaient aux Sols Ferrallitiques par leur structure et la présence de petites quantités d'alumine.

L'afflux des eaux phréatiques a ceinturé la cuvette tchadienne d'une auréole de cuirasses à niveau de base constant (400-410 m) s'étendant du Mounio au bassin de la Korama et au delà jusqu'en République du Tchad. On l'interprète comme une première marge lacustre.

4. LA SECONDE PERIODE DE PEDOGENESE

4.1 LES SOLS LITHO-DEPENDANTS DES BAS-GLACIS NUS (M.3)

Le creusement qui façonne cette dernière forme est très modéré. Sur le socle, sur la partie méridionale des grès crétacés, il isole des panneaux indurés M. en sommet d'interfluves sans les couper du réseau de drainage encore fonctionnel. Les vallées des grès tertiaires n'ont que deux versants successifs, le plus bas pouvant alors être polygénique (M.2-3). Les bas-glacis sahéliens sur roches tendres (Ct.2, Nigérien) auraient la même origine. Ces formes se réduisent à des entailles étroites au sud et se développent en glacis très étendus à moins de 550 mm sur le socle, limite qui dans d'autres territoires est repoussée jusqu'à 900 mm. En dehors de quelques bad-lands sur argilites, les pentes sont très faibles, de moins de 0,6% sur le socle, le Crétacé, les argiles du Ct.2, de moins de 2% sur les grès tertiaires. Bien que le front rocheux soit partout atteint, l'altération, ou la délapidification, libèrent toujours des matériaux fins et argileux dont la nature minéralogique oriente fortement la pédogenèse. L'horizon de départ est ordinairement recouvert et souvent raviné par un mince niveau graveleux, dû aux effets combinés de l'érosion superficielle et, dans les toposéquences à Sols Ferrugineux, du lessivage. Il a alimenté de minces cailloutis généralement non indurés bien visibles en bordure de vallées sèches sahéliennes et les graviers sous berge du Niger, du Gorouol, à matrice le plus souvent hydromorphe. Mis à nu et remanié en regs pendant des vicissitudes très arides, il indique un hiatus dans l'évolution des sols desglacis :

- première génération de sols autochtones; mise en place progressive d'un horizon grossier, souvent concrétionné (Fe, Mn, Ca)
- érosion accélérée des horizons meubles en climat sub-désertique; remaniement en regs des horizons graveleux dans l'aire désertique d'invasion dunaire
- seconde génération de sols fossilisant les regs ou les nappes gravillonnaires, à pédoclimat un peu plus sec que pour la première génération

4.11 Les toposéquences à Sols

Ferrugineux Lessivés à taches et concrétions et à Sols Hydromorphes Lessivés et acides

Ce type de développement, subordonné à la présence de kaolinite entre des limites pluviométriques plus étendues que celles de la kaolinisation, a pu se maintenir sur de vastes surfaces des grès continentaux et des lambeaux préservés du manteau d'altération paléocène. Cette stabilité vis-à-vis du climat a permis à ces sols de se développer sans grandes modifications dans toute l'étendue latitudinale du Niger méridional (actuellement 900 à 400 mm) en conservant tous les caractères, hormis l'intensité du cuirassement, des Sols Ferrugineux plus anciens. Les caractères les plus saillants sont une forte mobilité du plasma par rapport au squelette, du fer par rapport à l'argile, ainsi qu'une désaturation héritée élevée qui ne cède qu'en surface aux apports de la végétation. Les processus principaux sont le lessivage du fer et de l'argile, l'éluviation superficielle par le ruissellement ou par circulation hypodermique, la nodulation ferrugineuse, le pseudogley associé à cette dernière ou induit par les contrastes texturaux et structuraux. Les toposéquences réunissent des termes rubéfiés relativement bien drainés très étendus sur les grès du Niger moyen (Ct.3) des termes à taches et concrétions moins bien drainés communs sur les argilites du Ct.2, des Sols Hydromorphes Lessivés spécialement répandus sur les grès crétacés. Des sols plus rares à forte éluviation latérale ont été observés sur le socle granitique. L'imperméabilité consécutive à leur organisation et à leurs mauvaises propriétés structurales, le

blocage de l'approfondissement par les horizons concrétionnés, entraînent une érosion lente, normale, qui aboutit à des sols squelettiques conservant néanmoins dans leur phase fine la même succession d'horizons. Après l'accélération de ce processus pendant les périodes très arides, une seconde génération de Sols Ferrugineux Lessivés s'est mise en place, différant de la première par l'absence de concrétionnement, sinon d'un type tout différent dû à des nappes phréatiques.

4.12

Les toposéquences à Sols

Ferrugineux Lessivés, à Solonetz,

à argiles noires (BOCQUIER, 1965)

L'agressivité climatique est réduite pendant cette période par rapport à la précédente où seule la kaolinite et les hydromicas résiduels étaient stables dans les sols. Des argiles gonflantes apparaissent sur d'énormes étendues à travers tout le continent sur la frange septentrionale des glacis que l'érosion dégage d'une carapace ferrugineuse moins épaisse et continue que plus au sud. La diminution du drainage permet la rétention d'une partie du lessivat d'altération, le fer et le magnésium dans des smectites ferrifères, le calcium dans des concentrations carbonatées, le sodium à l'état échangeable. Sur un premier ensemble de roches plagioclasiques calco-alcalines (andésine, oligoclase) qui sont au Niger les granites et certains grès crétacés arkosiques, la richesse globale en bases et le rapport du calcium au sodium induisent une chaîne d'altération et de sols dont les termes supérieurs sont kaoliniques et désaturés, donc ferrugineux, et les termes inférieurs smectitiques et saturés, localement alcalisés.

A l'emplacement du manteau paléocène, jusqu'à la limite locale de l'érosion des glacis cuirassés (575 mm) le front d'altération exhumé favorise la simatisation par sa topographie aplanie propice au confinement des solutions, par ses bases et ses smectites, par sa céméntation préalable facilitant la pénétration de l'altération météorique. Les reliques d'horizons concrétionnés ou cuirassés anciens et de leur lithomarge kaolinique évoluent en Sols Ferrugineux. Les divers termes se répartissent alors plutôt par panneaux correspondant chacun à un glacis qu'en

chaînes. Ces dernières sont au contraire bien différenciées sur les grès arkosiques, avec des termes intermédiaires comme des Sols Ferrugineux Lessivés rubéfiés à nodules calcaires en profondeur et de singulières aires circulaires d'accumulation qui plus tard porteront les brousses annelées. Le relief trop contrasté du Mounio réduit les termes sommitaux à de simples cortex d'altération kaoliniques et les termes inférieurs à des flats vertiques.

Les séquences réunissent des Sols Ferrugineux Lessivés, des Solonetz Solodisés, des Solonetz, des argiles noires diversement alcalisées ou vertiques mais toujours à structures grossières ou instables. Toutes sortes de types intermédiaires résultent de la disposition relative ou de l'interpénétration de domaines minéralogiques distincts :

- le domaine de stabilité de la kaolinite réunit les horizons A et B ferrugineux et les horizons A des Solonetz. La kaolinite y est produite par altération siallitique ou concentrée relativement à la suite du lessivage, de la solodisation, de la dégradation en milieu acide des smectites. Les processus et mécanismes pédogénétiques y sont le lessivage, l'éluviation superficielle, la rubéfaction et la nodulation ferrugineuse dans les horizons B.

- La surface de contact avec le domaine des smectites est planique. Le lessivage oblique, la concentration du squelette, l'hydromorphie y sont patents. Elle serait également le site de la solodisation.

- Le domaine de stabilité des smectites, saturé, réunit les horizons B des Solonetz, la masse des argiles noires, l'argile d'altération. Les argiles gonflantes y sont héritées du substrat (manteau paléocène, grès arkosiques) ou produites par altération en milieu confiné ou synthétisées aux dépens d'éléments dissouts circulant dans la chaîne. On y observe le brunissement, la marmorisation, la carbonatation, une alcalisation inconstante, parfois un développement pédique de type vertique.

Les termes smectitiques paraissent avoir subi les épisodes arides sans grandes transformations, encore que la rareté des types lessivés puissent en être une conséquence. Les Sols Ferrugineux ont été érodés, parfois jusqu'aux horizons concrétionnés où de surcroît des dépôts de carbonates de calcium, d'oxydes de manganèse ont parfois succédé aux accumulations ferrugineuses.

Les toposéquences à argiles noires calciques

Des argiles gonflantes saturées par du calcium et du magnésium sont apparues sur un deuxième groupe de roches plus riches en bases et à rapport du calcium au sodium plus élevé. Elles évoluent en profils A-(B)-C qui ne sont ni lessivés ni alcalisés mais qui peuvent être encore rubéfiés et subir une éluviation superficielle moins efficace que lorsqu'elle est associée au lessivage. Elles recouvrent les faciès verts ou le front de cimentation des roches basiques du Birrimien et du Sugarien, sur des glacis jusqu'à 550 mm actuels, dans des entailles jusqu'à 700 mm. Elles sont également produites par la délapidification d'argilites crétacées, éocènes (250-600 mm) voltaïennes (850 mm) également sur des glacis ou des entailles à bad-lands. La formation d'argile noire, un développement pédique important, la nodulation calcaire et manganésifère sont des caractéristiques constantes sous la dépendance du drainage.

Sur Birrimien, les sols sommitaux les plus anciens ont pu être rubéfiés, partiellement désaturés et à argiles dégradées, à nodules ferrugineux et manganésifères abondants. Ces Sols Fersiallitiques ont été érodés jusqu'à formation d'une nappe grossière remaniant les concrétions. Les Sols Brun-Rouge de deuxième génération qui les ont remplacés développent des structures de surface laminaires et cubiques dues à un cycle d'humectation très contrasté et à un fort ruissellement. Les Sols Bruns Eutrophes qui occupaient la partie moyenne des glacis n'ont conservé leur fine structure polyédrique que sous le couvert graminéen dense des régions méridionales. En région sahélienne, ils ont été remplacés par des Sols Bruns Tirsifiés, intermédiaires par leur texture et leur développement pédique entre les sols rouges de glacis et les Vertisols Topo-Lithomorphes de bas de pente. Ces derniers sont peu variables dans leur morphologie et ne présentent que rarement les traces d'érosion et de fossilisation si fréquentes dans les sols de glacis.

Sur argilites, seuls les Vertisols, très foncés et riches en nodules, sont fortement évolués. Les termes sommitaux, toujours et partout en voie d'érosion, sont juvéniles, à faciès Brun Eutrophe au sud, vertique au nord.

4.14 Les toposéquences à Sols Calcimorphes

Elles sont situées sur les marmo-calcaires éocènes, à argile motmorillonitique, des versants des Maggia. L'altération est totale pendant la première période de pédogenèse. Le pavage du premier glacis qui les entaille (M.1) ne contient ni carbonates, ni argiles gonflantes. Pendant la phase pré-dunaire de la seconde période, le calcaire est dissout, lapiazé. Des sourcins déposent des travertins, pétrifient en grès calcaires les sables remblayant le glacis de piedmont (M.2-3). Les résidus s'accumulent sur des replats structuraux ou sur le glacis et évoluent en Vertisols très foncés. Les versants calcaires sont ensuite fortement érodés. Les horizons de départ s'accumulent à leur base en cônes d'épandage limoneux. Après le retour de conditions plus humides, la dissolution des carbonates reprend, mais à un rythme plus modéré. Dans les fissures la calcite est dissoute aux deux tiers, le résidu formant des para-rendzines noires, pulvérulentes, à matière organique peu liée à l'argile. L'érosion est encore forte, car la roche est imperméable. Les produits donnent des Sols Alluviaux Calcimorphes ou des Vertisols Hydromorphes, moins sombres sur les précédents, dans les fonds de vallées. Il n'y a plus de dépôts d'évasion du gaz carbonique. La circulation du calcaire, par la nappe, les eaux de ruissellement, est lente et difficile. Il est redistribué en pseudomycelium, en nodules.

La phase de forte dissolution a son équivalent dans la cuvette tchadienne où le calcaire provenant de lointaines toposéquences à Sols Ferrugineux et à Sols smectitiques encroûte la base d'un remblai sablo-argileux. Elle a été provoquée par une pluviosité plus forte que de nos jours, des niveaux phréatiques plus élevés, peut-être des températures plus basses.

4.15 Les toposéquences à Sols Hydromorphes Lessivés

La minéralogie des schistes nigériens et de pélites birrimiennes à hydromicas (muscovite, séricite, illite) et kaolinite leur vaut d'être érodibles mais inaltérables, sans affinité pour les hydroxydes de fer, imperméables et impénétrables

aux racines. La rareté des témoins cuirassés récents, généralement manganésifères, indique que la toposéquence n'a guère différé de son état actuel depuis la destruction du haut glacis. Le matériau est difficilement produit par fragmentation mécanique, par délitage, par expurgation des hydroxydes. Peu couvert de végétation, il est déblayé par le ruissellement intense que provoque son imperméabilité. L'hydromorphie pétrographique s'y manifeste par un pseudogley généralisé, par des structures de retrait bien développées aux formes régulières et de petite taille du fait de la richesse en limon. Les oxydes et hydroxydes de manganèse et de fer ne sont immobilisés qu'au contact de la roche, site d'un engorgement prononcé, plus rarement dans des horizons B rubéfiés ou à taches ferrugineuses. Les horizons A sont décapés sur les glacis, appauvris et lessivés en fer et argile en quelques sites bordant de grandes dépressions (Beli). Les bases sont superficiellement lixiviées. Elles se concentrent dans ces mêmes cuvettes, leur véhicule étant la nappe sous-alluviale, surtout dans le bassin des schistes nigériens où existent des lentilles de roches carbonatées (grès, dolomie). Des dépôts de calcaire, un début de simatisation s'opèrent dans des dépôts argileux qui, débarassés d'une partie des sables et des limons par la décantation, peuvent acquérir des structures verticales. Cette transformation est incompatible avec la gleyfication acide qui sévit au centre des flats, efface le microrelief et fait régresser les structures verticales.

Les toposéquences comptent une majorité de Sols Régiques Hydromorphes, quelques Sols Hydromorphes Lessivés, des Vertisols Hydromorphes et des Sols à Gley verticales. Les Sols Hydromorphes Lessivés ont des affinités certaines avec les Sols Ferrugineux Lessivés et représentent l'élément ancien, d'âge immédiatement post-dunaire, au minimum, de cet ensemble. Les autres types peuvent être tenus pour actuels (Sols Régiques) ou subactuels (Vertisols).

4.2 LES SOLS FERRUGINEUX DYSTROPHES

4.21 Leur histoire

Vers le Würm récent, le climat devient progressivement désertique. L'érosion normale des sols est accélérée, surtout celle des terres sommitales lessivées ou appauvries. Les horizons grossiers ou concrétionnés sont mis à nu. Le transit colluvial s'accroît et des proluvions s'accumulent aux pieds des versants et glacis, déjà mêlés des premiers sables éolisés. Les cours d'eau qui avaient taillé de graviers leur dernière incision du bas-modèle (M.3) remblaient leur lit de sables fins. Le manteau sableux, formé d'horizons éluviaux ou lessivés, de proluvions et de dépôts de tarissement, s'accumule en nebkas puis, au fort de l'aridité, s'organise en un erg (E.1) modelé par les vents d'Est. Les dunes prennent en écharpe la partie septentrionale de l'aire d'érosion, jusqu'aux isohyètes de 700 mm sur le socle, de 800 mm sur les grès, de 1.000 mm pour l'avance extrême en Nigeria. Les horizons grossiers se disposent superficiellement en reg. Les hauts modèles cuirassés et la surface supérieure sont définitivement décapés, ciselés par corrasion. Les cours d'eau les plus puissants, comme le Tilemsi, s'assèchent et sont barrés de dunes. Au sud des dunes vives, l'érosion des sols et le transit colluvial se poursuivent dans une zone péri-désertique dont l'emplacement est actuellement repéré par d'immenses étendues gravillonnaires (M.2).

La pluviosité s'accroît de nouveau et les formes dunaires vives sont promptement détruites, dès 100 à 250 mm, avant que la pédogenèse n'ait produit autre chose que des Sols Gris Subdésertiques. L'alluvionnement reprend derrière les barrages dunaires qui sont finalement rompus, leurs sables s'étalent en levées digitées. L'ensemble du manteau évolue en Sols Ferrugineux Dystrophes (S.1) sous un climat plus humide que de nos jours et peut-être plus frais. Les horizons B qui sont alors produits sont en effet peu sensibles au gradient latitudinal jusqu'à 100 mm actuels et des sources pétrifiantes cimentent de calcite la base du remblai sableux des vallées de l'Ader Douchi. Sur les glacis, le pédoclimat paraît cependant moins humide qu'il n'était pendant la phase prédunaire. Les Sols Ferrugineux Lessivés à concrétionnement d'origine interne, les Sols Fersiallitiques disparaissent, alors que les argiles noires paraissent parfaitement stables.

Une récurrence désertique détruit et remodèle les sols les plus exposés et les moins cimentés parce que plus pauvres en fines, ceux des crêtes dunaires, des Dallols, de la cuvette tchadienne. Dans cette dernière, seul le remblai du Kadzel et quelques sites isolés de la région de Dungass échappent à cette réjuvenation. Ce deuxième erg (E.2) ne dépasse pas l'isohyète actuel de 550 mm vers le sud. Ses formes plus localisées, linéaires, resteront des points de faiblesse permanents pour l'érosion éolienne. Une deuxième génération de Sols Ferrugineux Dystrophes (S.2) apparaît ensuite sur ces dunes adoucies et homogénéisées par l'érosion hydrique, sur les sables dont l'acquis pédologique avait été effacé par ce vannage supplémentaire. Des sols similaires ou Hydromorphes évoluent sur un second remblai, plus localisé et sableux que le précédent. A cette seconde période de pédogenèse correspondent les hauts niveaux phréatiques et lacustres datés de 10.000 BP sur les marges sahariennes. Ils produisent les concrétions stalagmiformes du niveau T.3 des Dallols, les horizons jaunis inactuels des plaines du Manga, les dépôts palustres ou lacustres tchadiens atteignant les cotes 380 à 400 m. Une nouvelle péjoration climatique assèchera ces eaux libres, abaissera la nappe phréatique, arrêtera la pédogenèse rubéfiante sur l'isohyète 650 mm à un moment que l'on peut dater par le retrait du lac de son rivage de 420 m (5.400 BP).

4.22

L e u r s c a r a c t é r i s t i q u e s

La pauvreté en plasma minéral assure la quasi-indépendance du développement à l'égard de la minéralogie des argiles. La perméabilité texturale entraîne une convergence des termes les mieux drainés, les plus étendus, avec les Sols Ferrugineux Lessivés rubéfiés des toposéquences sur matériaux kaoliniques. Le lessivage associé du fer et de l'argile, les changements de couleur du plasma minéral en fonction du drainage local produisent des profils A-B-C ou A - (B couleur) - C, rouges, jaunes ou bruns. Le développement pédique est nul ou très restreint ainsi que le colmatage par illuviation et sa conséquence habituelle, la ferritisation d'agrégats. Inversement, les accumulations discontinues, le concrétionnement ferrugineux de nappe, sont fréquents.

Dans la génération S.1 la famille 3 assure l'intermédiaire avec les sols du bas-glacis. Elle regroupe des matériaux un peu plus argileux ayant échappé au vannage

éolien ou ayant évolué plus longtemps et continûment grâce à leur situation méridionale. L'organisation de base est celle des Sols Ferrugineux Lessivés : A.1-A.2-AB-B.2t-B.3 en mais le développement pédique n'y est qu'à la limite de la structure polyédrique, les termes rubéfiés s'étendent plus largement alors même que la base du profil est engorgée par une nappe sous-alluviale (remblais), le cuirassement est totalement absent. De même les termes inférieurs brunis peuvent s'approcher des Sols Bruns Tirsifiés lorsque l'argile est smectitique (Ader Douchi).

La famille 2 des dunes anciennes (E.1) et de quelques remblais offre l'organisation modale de cet ensemble dans ses termes rubéfiés : A.1 - A.2 (porosité) - B.1 (structure) - B.21 (couleur) - B.22 (texture) - BC - C, où l'illuviation de l'argile et du fer créent un horizon B vivement coloré, légèrement agrégé sans que la structure dépasse le niveau du débit. La couleur, les accumulations discontinues, les traits de nappe se combinent en de nombreuses Séries déterminées par le drainage local et général, c'est-à-dire par la situation du profil dans la toposéquence et par la situation du modelé dans une partie définie du bassin et sur un substrat déterminé. Les Séries rubéfiées se forment en sommet de toposéquences, sur les plateaux et versants gréseux (Ct.3) sur les interfluves en tête de bassin (Maradi) tous sites dont la toposéquence autochtone abondait elle-même en Sols Ferrugineux Lessivés rubéfiés. En bas de pente, sur les glacis situés en aval des bassins, ou dans des dépressions structurales (Dosso) sur les anciennes toposéquences peu perméables, smectitiques ou hydromorphes, se développent des Séries à horizon B plus jaune ou brun, à accumulations discontinues, à concrétions et autres traits de nappe, les deux derniers caractères s'excluant quelque peu. Une conséquence de grande importance pratique de l'origine locale des sables est que la richesse en bases et par là en matière organique reflète celle des toposéquences autochtones fossiles.

Des taux de plasma minéral infimes caractérisent la seconde génération de Sols Ferrugineux Dystrophes (S.2) sur dunes récentes (E.2) sur sables de la cuvette tchadienne et des niveaux T.3 des Dallols. La concentration du fer et de l'argile est constante pour l'ensemble du solum, moins fréquente pour le seul horizon B. Les variations du fer, plus mobile et plus aisément dosable, sont plus sensibles que celles de l'argile. Les profils, A-B-C ou A-(B)

couleur - C, ne dépassent pas deux mètres de profondeur. La structure y est presque entièrement particulière et des brassages éoliens périodiques entretiennent la jeunesse du sol. L'influence du substrat, du drainage général est très réduite du fait de la pauvreté en plasma et de la perméabilité. Les couleurs seules séparent les termes de la toposéquence d'où disparaissent les accumulations discontinues. Les traits de nappe, jaunissement, concrétionnement, décoloration repèrent les anciennes zones d'émergence de nappe.

5. LA TROISIEME PERIODE DE PEDOGENESE A SOLS BRUNS ET SOLS HYDROMORPHES

5.1 LES SOLS BRUNS

Pendant les six derniers millénaires l'assèchement des lacs, la baisse des niveaux phréatiques ne s'accompagne pas d'un retour du désert au Niger méridional mais des fluctuations sèches suffisent à remodeler les dépôts sableux les plus récents ou les plus exposés en formes mineures et isolées, cordons de rives ou de plages, nebkas. La pédogenèse ferrugineuse disparaît des sites les plus septentrionaux et le profil tend à se réduire à une accumulation médiocre de matière organique riche en acides humiques gris et bruns. Une première génération (S.3a) est définie sur la marge périlacustre de 320 m. A moins de 400 mm le profil est de type A-C, brun, épais de moins de 150 cm, à solum enrichi en fer et argile par capture de poudres éoliennes. Au delà il est de type A-(B)-C, très modérément rubéfié. Les sols des niveaux T.2 des Dallols et Goulbis, des dépressions ou fayas de la

cuvette tchadienne, noyés ou façonnés pendant la période humide antérieure, conservent, après assèchement, des organisations très proches de celles des sols bien drainés, A - C (g) et A - (B) - C (g) au concrétionnement et à des couleurs plus sombres près. La seconde génération, S.3b, celle du cordon périlacustre de 287 m, n'est formée que de profils A-C bruns ne dépassant pas 60 cm d'épaisseur à 500 mm de pluies. On lui rattache une suite indéfinie de sols juvéniles subactuels à actuels sur crêtes dunaires remaniées, où la caoudeyrisation est souvent liée à une activité agricole ou pastorale. Finalement, l'âge et la pluviosité décroissant, le paysage dunaire s'est couvert, aussi bien à partir des sommets que des fonds, de sols tenant aux Sols Peu Evolués par leur profil A-C, à l'idéal subaride par leur couleur, par leur réaction, par la qualité de leur matière organique.

5.2 LES SOLS HYDROMORPHES ET LES SOLS HALOMORPHES

Les alluvions chimiques et organogènes dominent dans les dépôts superficiels de la cuvette tchadienne situés au-dessus de la cote 300 m et attribués à la période humide de 10.000 à 5.000 BP. Le couvert végétal devait être très dense et les sols des marais phréatiques ne recevaient d'apports terrigènes que sur les bordures continentales où ils évoluaient déjà en argiles noires variablement alcalisées.

Des argiles gonflantes sont la phase caractéristique des alluvions que dépose la Komadougou postérieurement au rivage de 300 m alors que le lac se retire jusqu'à son niveau actuel. Empruntées aux bas-glacis à sols smectitiques, on les retrouve, avec la même évolution, dans tous les lits majeurs continentaux. L'hydraulicité accompagnant ce colmatage était forte car le bassin désertique situé entre l'Air et l'Adrar des Iforas alimentait l'Azaouak, aujourd'hui tari, sur près de 500 km. Selon la durée de l'inondation il évolue en Vertisols Hydromorphes ou en Sols à Gley vertiques, sous l'effet d'une double circulation d'eau à laquelle réagissent également les alluvions plus sableuses qui lui sont associées. Les eaux superficielles créent des horizons acides, alors que le confinement des eaux phréatiques profondes produit des horizons saturés, souvent carbonatés ou alcalisés.

En dehors de mares sahéliennes où se poursuit le colmatage argileux, l'alluvionnement actuel ou subactuel, liés à une érosion accélérée des sols, est trop rapide pour que l'évolution pédologique dépasse le stade des Sols Peu Evolués.

Les Sols à Gley de profondeur sableux des zones d'émergence et des rivages du lac Tchad sont salés par l'évaporation de la nappe phréatique. Les sels les plus solubles, principalement des sulfates et carbonates de sodium, forment des efflorescences ou des croûtes alors que les carbonates de calcium et magnésium difficilement lessivés par les eaux pluviales s'accumulent dans les sols. Le sodium est fixé de préférence par des phases plus argileuses. Sauf sur les rives du lac Tchad qui atteignent l'isohyète 200 mm, la salure n'est active qu'à plus de 450 mm de pluies jusqu'à 875 mm. Les hauts niveaux phréatiques anciens ont laissé des traces plus septentrionales de ce processus, tels que des horizons calcaires ou à alcali. Les fluctuations récentes de l'alimentation de la nappe dues à la variabilité interannuelle de la pluviosité sont enregistrées dans les profils de la même façon par des horizons calcaires. En régime d'épandage sahélien ce rôle est dévolu aux structures verticales qui, dans les Vertisols à alcali de l'Azaouak, se forment occasionnellement à une profondeur supérieure à celle qu'autorise la pluviosité du moment.

5.3

LES TRANSFORMATIONS ACTUELLES DES SOLS BIEN DRAINES

Elles sont dues au gradient pluviométrique et sont d'autant plus fortes que la pluviosité est plus faible. Elles ne touchent guère les horizons B, reliques de climats plus humides participant de moins en moins souvent dans leur totalité aux échanges hydriques au fur et à mesure que l'aridité croît. Les épipédons se modifient continûment par déplacement de l'équilibre entre des mécanismes de destruction et de reconstitution. Les plus septentrionaux sont regroupés en Faciès Subarides dont les caractéristiques paraissent ne plus correspondre aux processus à l'origine des horizons B anciens ou qui sont recouverts d'une végétation typiquement sahélienne. Des épaisseurs médiocres, des taux de matière organique et des rapports C/N faibles, des teintes moins sombres en sont des propriétés constantes dues à la réduction du couvert

végétal. D'autres sont davantage liés à certains ensembles de sols.

Les Sols Ferrugineux Lessivés sont très peu sensibles au gradient latitudinal. Ils conservent des horizons lessivés et acides jusqu'à 300 mm de pluies, mais moins épais et organiques. Ils sont localement sujets en zone sahélienne à une forme d'érosion très particulière par laquelle les horizons B sont dénudés et tronqués et les horizons A et les sables ruisselés accumulés en nebkas sur lesquelles se différencient des sols juvéniles A-C à raies. L'adaptation de la végétation à ces bandes alternativement imperméables et meubles se révèle par une brousse tigrée.

Sur les sols smectitiques, l'accroissement du ruissellement substitue aux horizons lessivés et aux structures fines liées à un fort développement radiculaire des structures plus grossières, laminaires, parfois rubéfiées. En même temps, la végétation se contracte encore en brousse tigrée, les sols brun-rouge de glacis ou certains sols solonetziques rubéfiés occupant les bandes dénudées et des sols plus bruns, dont, en bas de pente, les premiers sols bruns tirsifiés, se développant dans les bandes arbustives faisant office de filtre pour les transports solides et de barrage de perméabilité pour le ruissellement.

Les épipédons sahéliens des Sols Ferrugineux Dystrophes perdent de leur épaisseur, de leur matière organique, la répartition dans le profil de cette dernière restant inchangée. La diminution du lessivage des bases libérées par la minéralisation et l'accroissement des pH sont une autre caractéristique de ces faciès Brun-Rouge, la neutralité étant atteinte dans la plupart des familles pour des pluviosités de l'ordre de 400 à 450 mm. La succession en chaque point de périodes d'ablation et d'apport hydriques et éoliennes rajeunissent en permanence les horizons A, ce d'autant plus que le sol est moins différencié (S.2) plus sableux (F.1) que sa situation topographique l'expose davantage et que la pluviométrie est plus faible. Les processus pédogénétiques qui s'impriment encore dans ce matériel sont les mêmes que ceux qui ont formé la génération la plus tardive, S.3, à Sols Bruns ou intergrades vers les Sols Ferrugineux. Un reste de mobilité plasmique, rarement un début de rubéfaction, superposent aux anciens horizons B, souvent superficiellement brunis et durcis par exposition aux eaux météoriques, des profils juvéniles A-C ou

A-(B) à raies. Ni cette ressemblance avec de petits sols ferrugineux, ni l'adaptation du régime hydrique aux horizons anciens, observable dès 600 mm de pluies, ne suffisent à démontrer l'identité de cette pédogenèse actuelle avec celle qui produisit les Sols Ferrugineux Dystrophes, car sur les sites bien drainés, ce sont des sols bruns ou douteusement rubéfiés, des sols à raies qui dominent, même si l'âge est de l'ordre de plusieurs millénaires. Le brassage hydrique et éolien atteint la totalité du profil qui est ainsi détruit en zone subdésertique, entre 250 et 100 mm de pluies. La nappe meuble, saisonnièrement mobilisée, est moins organisée que les épipédons sahéliens, la différenciation pédologique s'y réduisant à des croûtes organiques. Ces Sols Gris sont également en équilibre avec des pentes beaucoup plus faibles que celles des sables vifs, de telle sorte que, selon le sens de la variation pluviométrique qui les déplace en latitude, ils effacent le modelé des dunes sahariennes ou rajeunissent celui des dunes fixées méridionales. L'instabilité latitudinale de cette aire de destruction explique l'absence, au nord des Sols Ferrugineux, d'une zone où les processus de type subaride aient pu s'exprimer pleinement et longuement dans des sols spécifiques. On chercherait en vain, en bordure du Sahara, l'équivalent de ces ceintures de sols steppiques, bruns ou châtaîns, qui entourent nombre de déserts; des sols juvéniles, ou des reliques de climats humides les remplacent.

5.4

LE DESEQUILIBRE ENTRE LES SOLS ET LA VEGETATION ET SES CONSEQUENCES

Le capital de sols meubles des glacis a dans le passé été fortement réduit par la formation d'horizons concrétionnés ou cuirassés, d'horizons graveleux liés au lessivage et à l'éluviation superficielle, par les périodes d'érosion arides qui ont raboté les pentes. Ce qui a pu en être reconstitué, par altération ou par remontées biologiques, subit une destruction irréversible même en dehors de toute atteinte actuelle par les défrichements. Sous végétation naturelle, les horizons A n'ont que de mauvaises structures induites par le ruissellement et, continuellement décapés, transmettent cette dégradation au sommet des horizons B. Certains

sols dunaires de modelés très adoucis subissent une érosion de même nature. La végétation naturelle ne peut empêcher que leur épipédon soit pauvre en matière organique, durci, imperméabilisé et qu'il ne finisse par découvrir les horizons B eux-mêmes, cela aussi bien en région sahéliennes qu'à 700 mm de pluies. A cette érosion aréolaire, s'ajoute, en des régions localisées qui peuvent être actuellement désertes mais qui ont été à un moment particulier densément peuplées, un ravinement trop violent pour n'être pas récent. Tels sont le remblai de la Mekrou, de l'Ader Douchi, le Gober, le Djermaganda, la région de Sambahra. La cause fondamentale de cette érosion irrépressible est un déséquilibre entre le couvert végétal, les pentes et les sols légués par des climats plus humides. Jadis un pseudo-climax plus favorable à la conservation des sols a pu se maintenir avant que les feux et les défrichements n'amènent la végétation à son état actuel. Les déplacements de populations, les uns dus à la péjoration climatique ou à des fluctuations pluviométriques mineures, les autres à des circonstances historiques, ont étendu cette nouvelle situation à tout le Niger, les zones désertées ne retrouvant jamais leur ancien équilibre. L'érosion a été accélérée lorsque la pression agricole était excessive (Gorouol, Djermaganda) ou lorsque les dénivellées étaient plus importantes du fait d'un ancien abaissement du niveau de base (Mekrou) ou du mode de dépôt lui-même (Ader Douchi). Sur les crêtes dunaires, les mêmes causes ont produit une érosion par brassage et fossilisation éoliens, où de nombreux sols anthropiques ont conservé les traces de populations souvent disparues ou occupant actuellement des sites différents.

Il n'y a donc pas à compter sur la seule régénération naturelle pour améliorer les sols cultivables du Niger. Leur surface tend au contraire à rétrécir d'elle-même vers les flats et les zones d'épandage actuels. Une utilisation modérée et rationnelle est toujours préférable à un abandon total. Il est évident que le Niger, immense et peu peuplé, ne saurait manquer de terres dans un avenir prévisible. Mais ce problème de conservation peut se poser localement, où une spécialisation excessive du régime agronomique traditionnel a fini par épuiser les terres dunaires (Gorouol) où une culture industrielle déplace les cultures vivrières vers des terres plus pauvres et abandonnées à l'érosion depuis trop longtemps (Ader Douchi).

B I B L I O G R A P H I E

- ADAM (J.G.).- 1953 - Contribution à l'étude floristique des pâturages du Sénégal. Ministère des Eaux et Forêts du Sénégal, Dakar, multigr.
- ALIMEN (H.).- 1957 - Sables Quaternaires du Sahara Nord-Occidental (Saoura-Ougarta). Publ. Service de la Carte géologique de l'Algérie, bull. n°15, 207 p., 89 fig., 8 pl., Alger.
- AUBERT (G.).- 1965 - Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., vol. III, fasc.3, pp. 279-288.
- AUBERT (G.) - SEGALEN (P.).- 1966 - Projet de classification des sols ferrallitiques. Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., vol.IV, fasc.4, pp. 97-112.
- AUBREVILLE (A.).- 1949 - Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. Edit. Geo. Marit. Colo. Paris, 357 p.
- AUDRY (P.).- 1960 - Les conditions de la pédogenèse dans le cercle du Guidimaka (Mauritanie) et les grands types de sols qui en résultent. Centre de Pédologie O.R.S.T.O.M. de Hann, 39 p. multigr., Dakar.
- AUDRY (P.).- 1961 - Etude pédologique du Cercle du Guidimaka (République Islamique de Mauritanie). Centre de Pédologie O.R.S.T.O.M. de Hann, 3 vol., multigr., 1 carte 1/200.000.
- AUDRY (P.)-- ROSSETTI (Ch.).- 1962 - Observations sur les sols et la végétation en Mauritanie du Sud-Est et sur la bordure adjacente du Mali (1959 et 1961). Projet du fonds spécial des Nations Unies relatif au criquet pèlerin, rapport sur l'avancement des travaux, n° UNSF/DL/ES/3, F.A.O., Rome, 267 p., 26 phot., bibl.

- AUDRY (P.).- 1967 - Observations sur le régime hydrique comparé d'un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sous savane et sous culture (arachide et pénicillaire) (Coll. sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, 1967). centre ORSTOM de Fort-Lamy, multigr., 24 p., bibl.
- AUVRAY (C.).- 1960 - Monographie du Niger, B, la cuvette lacustre. O.R.S.T.O.M., Paris, multigr.
- BAWDEN (M.G.) - CARROLL (D.M.) - TULEY (P.). - 1968 - Preliminary description of land systems, North-East Nigeria project, D.O.S., London, 250 p., 4 cartes, bibl.
- BLANCK (J.P.).- 1968 - Schéma d'évolution géomorphologique de la vallée du Niger entre Tombouctou-Labbezanga (République du Mali). A.S.E.Q.U.A. Dakar, bull. n°19-20, pp. 17-26, 2 fig. bibl.
- BLEACKLEY (D.). - 1963 - Observations on the white sand areas of the Berbice formation, British Guiana. The Journ. of Soil Sc., vol. n°14, I, pp. 44-51, cart. phot., bibl.
- BOCQUIER (G.). - 1964 - Présence et caractères de Solonetz Solodisés Tropicaux dans le bassin tchadien. Congr. int. de la Sc. du sol, Bucarest, VIII, t.V, pp. 687-693.
- BOCQUIER (G.) - GAVAUD (M.). - 1964 - Etude pédologique du Niger oriental. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar, 2 t., 80 + 267 p., multigr., 1 carte 1/500.000.
- BOCQUIER (G.) - BARBERY (J.). - 1965 - Carte pédologique de reconnaissance de la République du Tchad, feuille Singako. Centre O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 122 p. multigr., 1 carte 1/200.000.
- BOCQUIER (G.).- 1967 - Introduction à quelques problèmes relatifs au lessivage dans les Sols Ferrugineux Tropicaux. Note présentée à la réunion annuelle des pédologues O.R.S.T.O.M., centre de Fort-Lamy.
- BOCQUIER (G.).- 1967 - Biogéocénoses et morphogenèse actuelle de certains pédiments du bassin tchadien. Congr. Int. de la Sc. du sol, Adelaïde, IX, V, D, 13 p.
- BONFILS (P.) - CHARREAU (C.) - MARA (R.).- 1962 - Etudes lysimétriques au Sénégal. C.R.A. Bambey, l'Agron. Trop., pp. 881-914.

- BOTELHO DA COSTA (J.). - 1959 - Ferrallitic, tropical fersiallitic and tropical semi-arid soils. Conf. interafric. sols, III, Dala, pp. 317-319.
- BOUDET (G.) - DUVERGER (E.). - 1961 - Etude des pâturages naturels sahéliens, le Hodh (Mauritanie). Vigot frères, Paris, 156 p., bibl.
- BOUCHARDEAU (A.) - LEFEVRE (R.). - 1957 - Monographie du lac Tchad. O.R.S.T.O.M., III p., multigr.
- BOULET (R.). - 1964 - Etude pédologique du Niger central. Centre C.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, 211 p., multigr., 1 carte 1/500.000.
- BOULET (R.). - 1966 - Observations pédologiques dans le Tamesna oriental (République du Niger) relations sol-végétation. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, 67 p., multigr., bibl.
- BOULET (R.). - 1968 - Etude pédologique de la Haute Volta au 1/500.000, région centre-nord. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar, 351 p., multigr., 1 carte.
- BRABANT (P.). - 1967 - Contribution à l'étude des horizons blanchis dans la région de Garoua. Centre O.R.S.T.O.M. de Yaoundé, 85 p. + 10, multigr.
- BREWER (R.). - 1964 - Fabric and mineral analysis of soils. J. Wiley, New-York.
- BUYLOV (V.). - 1965 - Rôle of the adsorbed magnesium in the formation of the solonchaks of Turgay Hollow. Soviet Soil Sc., pp. 476-481.
- CHARREAU (C.). - 1955 - Tournée pédologique effectuée du 3 au 18 août dans le territoire du Niger. C.R.A. Bambey (Sénégal), multigr.
- CHARREAU (C.). - 1961 - Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal. Agro. Trop., XVI, n°5, pp. 504-561, 14 tabl., 32 graph., bibl. 17 réf.
- CHATELIN (Y.). - 1966 - Essai de classification des sols ferrallitiques au Gabon. Cah. O.R.S.T.O.M., série Pédol., vol. IV, n°4, pp. 45-60, bibl. 19 réf.

- CHAUVEL (A.) - MONNIER (G.). - 1967 - Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie, examen des problèmes posés par la caractérisation de texture de certains sols tropicaux. C.R.Acad.Sc., sols, Paris, t. 264, pp.1969-1972.
- CHAUVEL (A.) - PEDRO (G.). - 1968 - Considération sur l'analyse granulométrique et le problème de la constitution minéralogique élémentaire de certains sols tropicaux; nécessité et limites de la déferrification. C.R.Acad.Sc., sols, Paris, t. 264, pp. 2089-2092.
- CLAVAUD (G.). - 1967 - Carte pédologique au 1/50.000 du bassin versant du Bam-Bam établie en vue d'un essai de définition d'unités à comportements hydrologiques différents. Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy. 39 p. multigr.
- CLOS-ARCEDUC (A.). - 1956 - Etude sur photographie aériennes d'une formation végétale sahélienne : la brousse tigrée. Bull. I.F.A.N., Dakar, t. XVIII, sér.A, n°3, pp. 677-684, 1 carte, 3 phot.
- CLOS-ARCEDUC (A.). - 1966 - L'application des méthodes d'interprétation des images à des problèmes géographiques. Exemples et résultats, méthodologie. Symp. int. de photo-interprétation, Paris, IV, I, pp. 17-34, 21 fig.
- COLLIN-DUFRESNE (J.).- 1961 - Matériaux de construction et produits céramiques au Niger. Rapport B.C.E.O.M., Niamey, multigr.
- COPPENS (Y.). - 1967 - De l'archéologie à la paléogéographie. Bull. A.S.E.Q.O.A., Dakar, n° 14-15, pp. 11-17, 6 fig., bibl. 40 réf.
- DABIN (B.). - 1958 - Rapport de mission au Niger. I.D.E.R.T. Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) multigr.
- DABIN (B.) - PERRAUD (A.). - 1961 - Etude pédologique des plaines alluviales de Koulou et Say. O.R.S.T.O.M., Paris, multigr.
- DAVEAU (S.). - 1965 - Dunes ravivées et dépôts du Quaternaire récent dans le Sahel mauritanien. Rev. de géogr. de l'Afrique Occidentale, Dakar, n°1-2, pp. 7-48, phot.
- DE BLIC (Ph.). - 1968 - Adaptation en français de "Fabric and mineral analysis of soils", de BREWER (R.). Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar, 114 p. multigr.

- DEGALLIER (R.). - 1964 - Réflexions et questions sur l'alimentation des eaux souterraines. Centre interafricain d'études hydrauliques, Dakar, 50 p., bibl.
- DUBOIS (J.). - 1949 - Esquisse des différents types de sols de la moitié sud du Sénégal. Centre de pédologie de Hann, Dakar, multigr.
- DUBREUIL (P.) - LEFEVRE (R.). - 1962 - Monographie du Niger, C, le Niger moyen. O.R.S.T.O.M., Paris, multigr.
- DUCELLIER (J.). - 1958 - Sur la composition des schistes dits argileux. Direction des Mines, A.C.F., Dakar, multigr.
- DUGAIN (F.). - 1960 - Rapport de mission au Niger. Centre de pédologie de Hann, O.R.S.T.O.M., Dakar, multigr.
- DURAND (J.M.). - 1956 - Le choix des sols irrigables en Algérie. Conf. int. sc. du sol, Paris, vol. D, VI, 10, pp. 537-542.
- DURAND (J.M.). - 1958 - Les sols irrigables (étude pédologique). Direction de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural, service des études scientifiques. Clairbois, Birmandreïs, Alger.
- ELOUARD (P.). - 1959 - Etude géologique et hydrogéologique des formations sédimentaires du Guebla mauritanien et de la vallée du Sénégal. Thèse, Paris, juin et Mém. Bur. Rech. géol. min. n°7 (1962) 250 p., 28 pl., 31 fig., 8 pl. phot.
- FAUCK (R.). - 1964 - Les sols rouges faiblement ferrallitiques d'Afrique occidentale. Cong. int. sc. sols, VIII, Bucarest, pp. 547-557.
- FAUCK (R.). - 1968 - Contribution à l'étude de la morphologie et de la classification des Sols Ferrugineux Tropicaux. Note présentée à la réunion annuelle des pédologues O.R.S.T.O.M., Paris, 36 p. multigr., bibl. 17 réf.
- FAURE (H.). - 1952 - Le Pré-Cambrien à l'est de Zinder (République du Niger). Rap. Dir. Féd. Mines Géol., Dakar, multigr.
- FAURE (H.). - 1955 - Rapport hydrogéologique sommaire sur le cercle de Gouré (Niger). Rap. Dir. Féd. Mines Géol., Dakar, 55 p. multigr.
- FAURE (H.). - 1960-1961 - Reconnaissance hydrogéologique du Niger oriental. Rap. Bur. Rech. géol. min. Dakar, 12 fasc., 377 p. multigr.

- FAURE (H.). - 1962-1966 - Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental. Thèse (1962) Paris et Mém. Bur. Rech. géol. Min. n° 29, 630 p.
- FAURE (H.). - 1965 a - Inventaire des évaporites du Niger. Rep. Niger. Rap. Bur. Rech. géol. min., Dakar, 430 p. multigr.
- FAURE (H.). - 1965 b - Evolution des grands lacs sahariens à l'Holocène (note présentée au congrès de l'INQUA, septembre 1965, Denver, 13 p. multigr., tabl. 14 âges absolus du Niger.
- FAURE (H.). - 1967 - Le problème de l'origine et de l'âge de l'eau des oasis sahariennes du Niger. Réunion de l'A.I.H., Hanovre, pp. 277-278.
- F.A.O. - 1967 - A study of the agroclimatology of the semi-arid area south of the Sahara in West Africa. U.N.E.S.C.O., Paris, 325 p., nbr. tabl. fig., bibl.
- FOURNIER (F.). - 1958 - Etude de la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Thèse, Paris, multigr., 328 p.
- FOURNIER (F.). - 1960 - Influence des facteurs climatiques sur l'érosion du sol, estimation des transports solides effectués en suspension par les cours d'eau. Ass. int. Hydrol., Rome, publ. n° 38, t. III, pp. 283-288, 2 fig.
- GAVAUD (M.). - 1964 a - Etude pédologique de l'Ader Douchi. République du Niger, service du Génie Rural, rap. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann (Sénégal) 104 p. multigr., 9 fig., 1 carte 1/100.000.
- GAVAUD (M.). - 1964 b - Etude pédologique des périmètres de Keita-Adouna-Taboyé, République du Niger, service du Génie Rural, rap. centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann (Sénégal) 84 p. multigr., 3 cartes 1/5.000.
- GAVAUD (M.). - 1966 a - Etude pédologique du Niger occidental, monographie des sols. République du Niger, service du Génie Rural, rap. centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, 2 t., 248 + 265 p., 43 fig., 1 carte 1/500.000.
- GAVAUD (M.). - 1966 b - Compte-rendu d'une tournée pédologique au Tchad. Rap. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, 42 p. multigr.

- GAVAUD (M.). - 1967 a - Etude des sols du bassin et des alluvions du Gorouol-Beli. Rép. du Niger, service du Génie Rural, rap. centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, 176 p., 1 carte 1/100.000 + 1 carte 1/50.000.
- GAVAUD (M.). - 1967 b - Esquisse de l'histoire des sols du Niger Centre Ouest Méridional. Bull. liaison ASEQUA, n°14-15, pp.24-27, texte définitif in Bull. Inst. Fond. d'Afrique Noire, t. sér.A, pp.
- GAVAUD (M.). - 1967 c - Interprétation chronologique des systèmes de dunes fixées du Niger méridional. Note présentée au Cong. Panafr. de Préhist. et de l'étude du Quat., VI, Dakar, 17 p. multigr., bibl.
- GAVAUD (M.). - 1968 a - Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger; essai de systématique régionale. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. VI, n°3-4, pp. 277-307.
- GAVAUD (M.). - 1968 b - Projet de corrélation pédologique dans le bassin du lac Tchad. PNUD/UNESCO/REG.71, 123 p., multigr. (à paraître) 1 carte 1/1.000.000, 1 carte 1/5.000.000, 1 carte 1/5.000.000 estimation des drainages, bibl. 77 réf.
- GAVAUD (M.) - BOULET (R.). - 1967 - Notes sur la description de la structure des sols sur le terrain. Bull. bibliogr. Pédol. XVI, fasc.3, pp. 10-13.
- GREIGERT (J.). - 1954-1955 - Etude hydrogéologique du bassin occidental du Niger. Rap. Dir. Fed. Mines Géol. Dakar, multigr.
- GREIGERT (J.). - 1957 - Introduction à la connaissance hydrogéologique du bassin occidental du Niger. Rap. Dir. Fed. Mines Géol. Dakar, multigr.
- GREIGERT (J.) - POUGNET (R.). - Essai de description des formations géologiques de la République du Niger. Mémoires du Bur. Rech. Géol. Min., n°48, 199 p. + bibl. 605 réf. (1863-1965).
- GROVE (A.T.). - 1958 - The ancient erg of Hausaland and similar formations of the south side of the Sahara. Geogr. Journ., 124, pp. 528-533.
- GROVE (A.T.) - PULLAN (R.A.). - 1963 - Some aspects of the Pleistocene paleogeography on the south side of the Sahara. African ecology and human evolution, Viking Fund Publications in Anthropology, n°36.

- HESS (C.) - SCHOEN (U.). - 1964 - La tirsification. Al Awania, n°13, Rabat.
- HURAUULT (J.). - 1966 - Etude photo-aérienne de la tendance à la remobilisation des sables éoliens sur la rive nord du lac Tchad (région de Mao et de Bol). Symp. int. de photo-interprétation, II, Paris, IV, I, pp. 71-83, nbr. fig.
- JANITZKY (P.) - WHITTIG (L.D.). - 1964 - Mechanisms of formation of Na₂CO₃ in soils; laboratory study of biogenesis. Journ. of Soil sc., 15/2, pp. 145-157.
- JEAMBRUN (M.) - MACHENS (E.). - 1962-1963 - Prospection générale du Liptako (République du Niger). Rap. Bur. Rech. Géol. Min., Dakar, 63-A.22, multigr.
- JONES (D.G.). - 1957 - The rise in the watertable in parts of Daura and Katsina emirates, Katsina province. Rec. of the geol. surv. of Nigeria, pp. 24-27.
- JONGENS. - non daté - Aménagement hydro-agricole de la plaine d'Ibohamane. Rep. du Niger, service du Génie Rural, SOGETHA, Grenoble, 43 p. annexe (profils) 2 cartes.
- KALOGA (B.). - 1966 - 1967 - Etude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge en Haute-Volta. Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol., IV, n°1, pp. 23-62, IV, n°3, pp. 29-61, troisième article à paraître.
- KALOGA (B.). - 1969 - Etude de la pédogenèse sur les glacis soudaniens de Haute-Volta. Bull. Ass. Sénég. Etud. Quat. Ouest Afric., n°22, pp. 20-23.
- KOECHLIN (J.). - non daté - Végétation sahélienne au Niger. I.E.M.V.T., multigr.
- LAKTIONOV (B.I.). - 1961 - Nature of the high dispersity of solonchic soils and methods for their chemical amelioration. Soviet Soil Sci., 6 (june 1962) pp. 635-641.
- LAMBERT (R.). - 1938 - Les salines du Dallol Fogha (Niger). Bull. Service Mines Dakar, n°1, pp. 47-51.
- LENEUF (N.). - 1959 - L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites de la Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Thèse, Paris, publ. O.R.S.T.O.M., 210 p.

- LEPRUN (J.C.). - 1967 - Les sols de la région de Goudiry; inventaire, relations génétiques et mise en place des matériaux. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, 133 p. multigr., 1 carte 1/50.000, bibl. 56 réf.
- MACHENS (E.). - 1958-1964 - Mission de prospection générale du Liptako, rapport de fin de mission (1964). Bur. Rech. Géol. Min., multigr.
- MAIGNIEN (R.). - 1958 - Le cuirassement des sols en Afrique tropicale de l'Ouest. Thèse, Strasbourg, Mémoires de la carte géologique d'Alsace et Lorraine, n°16, 239 p.
- MAIGNIEN (R.). - 1959 - Les sols subarides au Sénégal, Agron. trop., n°7, pp. 535-571.
- MAIGNIEN (R.). - 1968 - Les sols ferrugineux tropicaux; unités pédogénétiques. Centre O.R.S.T.O.M. de Yaoundé (Cameroun) 34 p., multigr.
- MANGUIN (E.) - TROMPETTE (R.). - 1967 - Nouvelles observations sur le Quaternaire lacustre de l'extrémité sud-est de l'Adrar de Mauritanie (Sahara occidental) - Laboratoire de Géologie, Fac. Sc. Dakar et BRGM Dakar, à paraître in Annales Fac. Sc. Dakar, II p. multigr.
- MICHEL (P.). - 1959 - L'évolution géomorphologique des bassins du Sénégal et de la Haute Gambie. Ses rapports avec la progression minière. Rev. Géom. Dynam., X, n°5-12, pp.117-143.
- MICHEL (P.). - 1968 - Genèse et évolution de la vallée du Sénégal, de Bakel à l'embouchure (Afrique occidentale). Zeitschrift für Geomorphologie, t.12, n°3, pp. 318-349.
- MICHEL (P.). - 1969 - Les grandes étapes de la morphogenèse dans les bassins des fleuves Sénégal et Gambie pendant le Quaternaire. Bull. Inst. Fondamental Afr. Noire, t.XXXI, sér.A, n°2, pp. 293-324, 6 fig., 1 tabl., bibl. 34 réf.
- MICHEL (P.) - ELOUARD (P.) - FAURE (H.). - 1967 - Nouvelles recherches sur le Quaternaire récent dans la région de Saint-Louis (Sénégal). Lab. Géol. Université Dakar, rap. n°7, 35 p. multigr., 6 fig., 1 tabl., annexes (âges absolus) bibl. 31 réf.
- PEDRO (G.). - 1964 - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Ann. Agron., 15 (2) pp. 85-191, 15 (3) pp. 243-333, 15 (4) pp. 343-456.

- PIAS (J.). - 1958 - Transgressions et régressions du lac Tchad à la fin de l'ère tertiaire et au Quaternaire. Acad. Sc. Paris, t. 246, n°5, pp. 800-803.
- PIAS (J.). - 1967 - Chronologie du dépôt des sédiments tertiaires et quaternaires dans la cuvette tchadienne. Acad. Sc. Paris, D, n°21, p.2342.
- PIAS (J.). - 1968 - Contribution à l'étude des formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et des sols qui en dérivent. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. VI, n°3-4, pp. 367-377, 4 fig.
- PIAS (J.) - GUICHARD (E.). - 1957 - Origines et conséquences de l'existence d'un cordon sableux dans la partie sud-ouest de la cuvette tchadienne. Acad. Sc. Paris, t. 2444, pp. 791-793.
- PIRARD (F.). - 1960-1963 - Reconnaissance hydrogéologique du Niger oriental. Rapp. Bur. Rech. Géol. Min., DAK 64 A.II, 100 p. multigr.
- PIRARD (F.). - 1964 - Reconnaissance hydrogéologique du Niger oriental. Rapp. Bur. Rech. Géol. Min., 109 p. multigr.
- PIRARD (F.). - 1965 - Notice explicative de la carte géologique du Manga. Bur. Rech. Géol. Min., Paris, 1 carte 1/500.000.
- PLOTE (H.). - 1961 - Reconnaissance hydrologique du Liptako et des régions adjacentes (République du Niger). Rapp. Bur. Rech. Géol. Min., Dakar, multigr.
- POUGNET (R.). - 1957 - Notice explicative sur la feuille Kandi-est (Carte géologique de reconnaissance au 1/500.000 de l'Afrique occidentale). Dir. Féd. Mines Géol.
- POUGNET (R.) - AICARD (P.). - 1956 - Observations géologiques nouvelles sur la région du parc national du W du Niger. Gouvernement Général de l'A.O.F., Dakar, multigr.
- PULLAN (R.A.).- 1962 - A report on the reconnaissance Soil Survey of the Nguru-Hadejia-Gumel area with special reference to the establishment of an experimental farm. Min. of Agric. Northern Nigeria, Soil Survey section, bull. n° 18.
- PULLAN (R.A).- 1964 - The recent geomorphological evolution of the south central part of the Chad basin. Journ. West Africa Sci. Assoc., t.9, pp. 115-139.

- PULLIAN (R.A.). - 1967 - A morphological classification of lateritic ironstone and ferruginised rocks in Northern Nigeria. The Nigerian Journ. of Sci., vol. 1, n°2, pp. 161-171, 18 phot., bibl.
- RATTRAY (J.M.). - 1960 - The grass cover of Africa. F.A.O. Agric. Studies, 49.
- REICHELT (P.). - 1961-1962 - Géologie et hydrogéologie de la bordure sud-est du Gourma (République du Niger). Bur. Rech. Géol. Min. rap. DAK 62, A 29, multigr.
- ROBERTY (G.). - 1964 - Carte de la végétation de l'Afrique tropicale occidentale à l'échelle de 1/1.000.000. Documents annexes, I, introduction et glossaires. O.R.S.T.O.M., Paris, 107 p.
- RODE (A.A.). - 1947 - The soil forming process and soil evolution. Israel program for scientific translations, Jerusalem, 1961.
- ROSSETTI (Ch.). - 1963 - Prospection écologique. Etudes en Afrique occidentale. Observations sur la végétation, conclusions sur les travaux entrepris en 1959 et 1961. F.A.O., projet du fonds spécial des Nations Unies relatif au criquet pèlerin, rapp. n° UNSF/DL/ES/5, 71 p., 9 fig., 6 tabl.
- SCHNEIDER (J.L.). - 1967 - Evolution du dernier lacustre et peuplements préhistoriques des Pays-Bas et du Tchad. Bull. Ass. Sénégalaise Etudes Quatern. Ouest Afric., n°14-k5, pp. 18-23.
- SCHOELLER (H.). - 1959 - Progrès récents dans l'hydrologie de la zone aride. UNESCO.
- SCHUMM (S.A.) - HADLEY (R.F.). - 1961 - Progress in the application of landform analysis in studies of semi-arid erosion. Geological Survey Circular 437, U.S. Dep. of interior, Washington.
- SEGALEN (P.). - 1968 a - Problèmes posés par la détermination du fer libre dans les sols à sesquioxides. O.R.S.T.O.M., Paris, 24 p. multigr.
- SEGALEN (P.). - 1968 b - Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol., vol. VI, n°1, pp. 105-126.
- SEGALEN (P.) - MARTIN (D.). - 1966 - Notice explicative de la carte pédologique du Cameroun oriental au 1/1.000.000. Centre O.R.S.T.O.M. de Yaoundé, 133 p.

- SERVANT (M.). - 1967 - Nouvelles données stratigraphiques sur le Quaternaire supérieur et récent au nord-est du lac Tchad. A paraître dans les Actes du Congrès Panafricain de Préhistoire et de l'Etude du Quaternaire, VI, Dakar.
- SERVANT (M.) - SERVANT (S.) - DELIBRIAS (G.).- 1969 - Chronologie du Quaternaire récent des basses régions du Tchad. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 269, pp. 1603-1606.
- SIEFFERMAN (G.). - 1967 - Variations climatiques au Quaternaire dans le sud-ouest de la cuvette tchadienne. Congr. Soc. Sav. Strasbourg.
- SOGETHA. - 1964 - Etude pédologique de la Komadougou. Grenoble.
- SOGETHA. - 1965 - Etude pédologique de la Maggia. Grenoble.
- SOGETHA. - 1965 - Etude pédologique de la vallée du Dallol Bosso. Grenoble.
- SOGETHA. - 1965 - Etude hydrogéologique de la vallée du Dallol Bosso. Grenoble.
- SCULA (L.). - 1950 - Les sels alimentaires du Manga (Niger). La thénardite de Maine-Soroa. Sante Publique, Dakar, publ. n°61.
- THOMANN (Ch). - 1963 - Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols. Méthode au pyrophosphate de sodium. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédologie, n°3, pp. 43-71.
- THOMANN (Ch). - Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'ouest africain. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédologie, vol. II, fasc.3, pp. 43-79, 1964
- TRICART (J.). - 1961 - Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal. Bur. Rech. Géol. Min., Mémoire n° 8, 137 p., 3 cartes 1/100.000.
- TRICART (J.). - 1965 - Rapport de mission de reconnaissance géomorphologique de la vallée moyenne du Niger. Inst. Français Afrique noire, Dakar, Mémoire n° 72, 196 p.
- TURK (L.). - 1955 - Le bilan de l'eau dans les sols. Annales Agronomiques, sér. A, n°4.
- TURK (L.). - 1961 - Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Annales Agronomiques, sér. A, vol.12, n°1.

- URVOY (Y.). - 1933 - Les formes dunaires à l'ouest du Tchad. Ann. Géog. XLII, n°239, pp. 506-515.
- URVOY (Y.). - 1942 - Les bassins du Niger. Etude de géographie physique et de paléogéographie. Mémoires de l'Institut Français d'Afrique noire, n°4, 139p., 36 fig., 6 pl., photos, 4 cartes, bibl. 139 réf.
- U.S.D.A. - 1960 - Soil classification. A comprehensive system. 7th approximation. Soil Survey Staff. Soil Conserv. Serv. United States Dept. of Agric., 265 p.
- VIDAL (P.). - 1962 - L'influence des facteurs pédoclimatiques sur la nutrition et sur la production du mil pennisetum cultivé au Sénégal. Colloque C.C.T.A./F.A.O. sur les céréales de la zone de savane. Dakar.
- VOGT (J.). - 1957 - Rapport provisoire de mission sur le plateau Mandingue. Arch. S.G.P.M.
- VOGT (J.). - 1959 - Aspects de l'évolution morphologique récente de l'ouest africain. Annales de Géographie, n° 367, pp. 193-206.
- VOGT (J.). - 1960 - Badlands du Nord-Dahomey. Congr. Nat. Soc. Sav., LXXXV, Chambéry-Annecy, sect. géogr. pp. 227-239, 3 fig., 11 phot. bibl.
- WACKERMAN (J.M.). - 1967 - Les faciès pétrographiques de la Série de Mako dans les régions de Kanemere et Mamakono (Sénégal oriental). Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar, 34 p., multigr., annexes, micro-photographies.
- WHITE (E.M.). - 1964 - Relations entre la morphologie et le chimisme de quelques sols solodisés à horizon A mince issus de matériaux modérément fins de pentes bien drainées. Soil Sc., vol.98, n°4, pp. 256-263, bibl. 10 réf.

A N N E X E S

1. DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DES SOLS SUR LE TERRAIN

Elle réunit l'observation du développement pédique et l'estimation de propriétés mécaniques. Elle dépend de l'échelle, de l'humidité, du processus opératoire, du système descriptif

1.1 L'ECHELLE

Sur le terrain les descriptions ont été faites à l'oeil nu, avec le secours éventuel de loupes ($\times 6$, $\times 10$). Elles diffèrent des descriptions microscopiques par la nature des traits pédologiques et par le relevé de propriétés mécaniques. Nous avons donc évité les notations qui impliquent des observations à des échelles très différentes, et cela dans deux cas.

Nous n'avons nommé particulières que les structures à éléments squelettiques effectivement libres, les sables déliés, boullants du langage ordinaire. Les structures des matériaux très sableux ayant acquis quelque cohésion, ont toujours été décrites comme massives, car il est macroscopiquement impossible de faire la part de ce qui revient, dans cette prise en masse, au compactage, à l'engrenure des grains, ou à la formation de liens plasmiques ténus.

De même l'identification des structures de ciment qui impliquent une forte proportion de plasma fermement lié au squelette requiert le plus souvent un examen micro-morphologique. On peut, il est vrai, la déduire de l'estimation texturale, mais le procédé manque de rigueur. Nous préférons décrire ces types comme massifs, l'indication des propriétés mécaniques suffisant à enlever toute ambiguïté.

1.2 L'HUMIDITE

Les sols étant décrits en saison sèche, leur humidité est ordinairement très basse, inférieure au point de flétrissement. Nous ne l'indiquons que lorsqu'elle diffère notablement de son niveau habituel.

1.3 LE SYSTEME DESCRIPTIF

Les caractères sont notés indépendamment. Les notions synthétiques ont été éliminées, soit parce que non définissables (consistance, degré de développement structural) soit parce qu'inutiles (consistance, ou cohésion, à l'état humide, à l'état sec).

1.31 Niveaux d'organisation

L'inventaire des caractères descriptifs énumérés ci-dessous est applicable à chaque niveau de la structure. La structure de base est celle qui est jugée subjectivement la plus caractéristique d'un horizon donné; elle diffère donc de la structure de base des micromorphologistes. Elle n'a pas de signification génétique, non plus que la sur-structure ou la sous-structure. Ce sont simplement des termes commodes pour décrire la hiérarchie dimensionnelle des structures.

1.32 S t r u c t u r e s

1.321 Structure particulière

Elle n'est notée comme telle que si les éléments du squelette sont indubitablement libres.

1.322 Structures massives

Elles sont subdivisées par les caractères de relief et d'orientation des faces de débit, secondairement par la taille et la forme de ce dernier.

Orientation des faces de débit

Les faces de rupture peuvent être uniquement définies par le système de contrainte employé; elles sont alors planes et le débit est dit régulier. Il est parfois plus facile parallèlement à un plan déterminé, horizontal ou oblique, trace d'un litage en général, ou être au contraire sans orientation préférentielle dans le profil. Le débit est dit alors horizontal, oblique, non orienté. Les faces de rupture peuvent acquérir une certaine indépendance par rapport aux forces de rupture. Elles sont alors déformées, plus ou moins obliques sur le plan du débit régulier. Le débit irrégulier manifeste une hétérogénéité microstructurale généralement due au développement du profil.

Relief des faces de débit

Il est considéré comme minimum lorsqu'il se réduit à la rugosité du squelette (débit non mamelonné). Il croît ensuite avec le degré d'organisation et se manifeste par des inégalités arrondies de quelques millimètres (débit mamelonné). Il est maximum lorsqu'apparaissent des arêtes anguleuses et des facettes; le débit est dit polyédrique. Ce dernier terme est ambigu, car il confond forme et rugosité, mais commode car la séquence ci-dessus n'est utilisée que dans les matériaux ou pauvres en plasma, ou à argile à faible pouvoir de gonflement, dans lesquels la structure polyédrique est de règle.

Taille et forme du débit

Elles dépendent fortement du processus opératoire et de

ce fait ne sont pas habituellement notées. La taille maximum obtenue par une opération déterminée croît avec la cohésion et décroît avec l'hétérogénéité microstructurale et peut concourir à estimer ces caractéristiques. Il arrive également que par fragmentation ménagée et standardisée, on aboutisse à des éléments possédant une certaine homogénéité de forme, de taille, dont la cohésion est supérieure à celle des fragments plus gros et plus petits. Ce type de débit reflète un début de développement pédique; il est décrit par des adjectifs empruntés aux structures fragmentaires (cubique, en plaquettes, polyédrique); sa taille est mentionnée.

Terminologie abrégée

L'association constante de caractères permet d'abréger considérablement la description des structures massives les plus fréquentes :

- structure massive à débit régulier non orienté non mamelonné
- structure massive à débit régulier horizontal non mamelonné
- structure massive à débit régulier oblique non mamelonné
- structure massive à débit irrégulier mamelonné
- structure massive à débit irrégulier polyédrique

Seuls les mots soulignés figurent dans les descriptions. Lorsque le débit polyédrique (rugosité) s'accompagne d'une fragmentation calibrée polyédrique, on ajoute la taille en centimètres.

1.323

Structures fragmentaires

Les formes sont décrites selon le vocabulaire ordinaire, bien qu'il pêche par l'absence de distinction entre forme des peds et relief des faces, par l'emploi de mots imagés à contenu synthétique ou imprécis (grumeleux, nuciforme). La taille est toujours donnée exactement par une valeur médiane ou les extrêmes. Les axes principaux des formes allongées ou déprimées sont mesurés. Des diverses composantes de l'assemblage : engrenure, mode d'empilement, inclinaison, porosité d'assemblage, nous n'avons retenu que cette dernière. L'assemblage est noté compact (porosité nulle)

lâche (porosité élevée, peds non adhérents); les cas moyens ne sont pas spécifiés. Les structures coexistant dans le même horizon au même niveau d'organisation sont décrites séparément avec leur localisation propre. Le "degré de développement", notion synthétique, ne figure jamais dans la description mais peut en être déduit par le lecteur familiarisé avec ce genre d'appréciation. Le mot agrégé n'est jamais employé lorsqu'il découle du reste de la description (structure fragmentaire). Il est utilisé lorsqu'on soupçonne l'existence d'agrégats dont les dimensions sont à la limite des possibilités de la méthode de terrain.

Il est possible, mais inhabituel, de décrire le débit des éléments structuraux les plus petits. Les états intermédiaires entre les structures massives et fragmentaires sont indiqués ainsi :

débit ou structure X (nécessairement en assemblage compact)

1.324 Porosité

Elle est d'assemblage ou de base (structure massive ou niveau structural inférieur). Dans cette dernière on distingue les types tubulaire, semi-tubulaire (logettes abouchées par des pores) interstitiel (assemblage du squelette) vésiculaire (volumes sphériques isolés). Les tailles sont précisées, de même que l'orientation et la disposition par rapport aux éléments structuraux. L'adjectif compact est employé au sens de non poreux macroscopiquement.

1.33 P r o p r i é t é s m é c a n i q u e s

Elles sont définies par le type d'essai et sont notées indépendamment de l'humidité qui est relevée séparément.

1.331 Etat plastique

Plasticité (essai de modelage) adhésivité : notations habituelles

1.332

Etat rigide

La cohésion estime la résistance à l'écrasement entre les doigts d'un fragment ou agrégat d'un diamètre de l'ordre de deux centimètres. Ses niveaux sont les suivants :

- nul : trop fragile pour être manipulé
- faible : intermédiaire
- moyen : l'élément s'écrase entièrement pour un effort jugé subjectivement moyen
- fort : pour ce même effort, fragmentation en un petit nombre de morceaux
- très fort : on ne peut qu'émousser les arêtes
- excessif : pas de résultats

Cet essai s'applique à un agrégat isolé, à un assemblage, à un fragment quelconque. Il est nécessaire de préciser la taille lorsqu'elle s'écarte trop du standard.

La résistance éprouvée lors de l'obtention des débits ou du démontage des assemblages n'est mentionnée que par deux degrés (aisé, difficile) qualifiant le débit. Par convention, un assemblage lâche de cohésion faible se débitant aisément définit une structure friable.

La dureté estime la résistance à la pénétration d'un outil pointu. Ses trois degrés (tendre, dur, très dur) sont définis par l'appréciation subjective de l'effort correspondant.

Les propriétés mécaniques des matériaux indurés (cohésion élevée indépendante de l'humidité) sont estimées par la méthode proposée par MAIGNIEN (1958) qui met en jeu divers outils et propriétés (sectilité, résistance au cisaillement, à la percussion).

1.4

MODE OPERATOIRE

Structure massive

- 1° - extraire du profil un fragment aussi gros que possible avec un instrument à dents

- 2° - le rompre entre les mains par flexion sans l'écraser; noter la résistance à cet essai; décrire le débit ainsi produit; répéter l'opération pour rechercher s'il n'existe pas une amorce de développement pédique
- 3° - estimer la cohésion sur plusieurs fragments de 2 cm, la dureté sur la face de la coupe.

Structure fragmentaire

- 1° - définir les niveaux d'organisation sur la coupe, si possible
- 2° - extraire du profil un fragment comprenant tous les niveaux
- 3° - procéder comme pour une structure massive afin de démonter manuellement les assemblages; noter la facilité de l'opération
- 4° - décrire les peds et leurs assemblages, en commençant par les plus petits
- 5° - estimer la cohésion des peds et assemblages, en précisant la taille si elle diffère du standard (2 cm)
- 6° - estimer la dureté sur la coupe.

2. COURBES DE REPARTITION DE LA
 MATIERE ORGANIQUE EN FONCTION
 DE LA PROFONDEUR DANS LES SOLS NON HYDROMORPHES SABLEUX
 ET SABLO-ARGILEUX (SOLS FERRUGINEUX PEU LESSIVES,
 SOLS BRUN-ROUGE ET SOLS ASSOCIES)

Les formes des courbes de répartition de la matière organique (m) en fonction de la profondeur (z) appartiennent à un petit nombre de types qui existent tous, identiques, aux divers niveaux de la classification pédologique, y compris les plus petits (Série). Ils sont donc indépendants de l'interprétation pédogénétique et des éléments qui la déterminent : morphologie, matériau, pluviosité, site. On peut donc les tenir pour équivalents et chercher à leur donner une représentation commune.

Le premier type, le plus fréquent, est caractérisé par une décroissance monotone des taux, d'autant plus rapide que la profondeur est moins grande. Dans le second, la décroissance est linéaire. Dans le troisième, un ou plusieurs points anguleux divisent la courbe que nous considérerons comme formée de segments des deux premiers types. Ceux-là satisfont aux conditions :

$$\frac{d m}{d z} < 0 \quad \frac{d^2 m}{d z^2} > 0 \quad e < m < M \quad , \quad e \text{ et } M \text{ étant les}$$

taux mesurés aux profondeurs extrêmes, de l'ordre de 200 cm et de 0 à 5 cm respectivement. Une solution très simple apparaît lorsqu'on a vérifié qu'un très grand nombre de courbes s'ajustent à des droites lorsque l'ordonnée est anamorphosée en $\log z$:

$$\frac{d m}{d z} = A \cdot z^{n-1} \quad A = \text{cte} < 0$$

avec $n = 1$ $m = A \cdot z + M_0$ M_0 : valeur de m pour $z = 0$
 $n = 0$ $m = 2,32 \cdot A \cdot \log z + M_I$ M_I : valeur de m pour $z = 1$

$$0 < n < 1 \quad m = \frac{A}{n} z^n + M_0$$

La valeur la plus commune de n dans la dernière expression est de l'ordre de 0,5.

Sur les figures ci-jointes on verra quelques exemples des courbes les plus fréquentes, linéaires et surtout logarithmiques. Les taux, qui sont des valeurs moyennes arithmétiques, ne sont pas reportés exactement à leur cote mais à la moyenne arithmétique. Il en résulte une erreur pour les courbes non linéaires des cotes limitant le prélèvement. Elle est relativement faible, surtout en profondeur, ce qui justifie le tracé simplifié des courbes de répartition.

cotes limitant le prélèvement (cm)	moyenne des cotes	cotes correspondant au taux moyen de matière organique	
		$n = 0$ (1)	$n = 0,5$
0-5	2,5	3,2	2,2
0-10	5	4,2	4,7
20-30	25	25,7	25,6
120-130	125	126,2	125,4

(1) en prenant $z + 1$ comme variable

Il n'est pas possible de définir sans arbitraire la limite inférieure de l'accumulation organique qui caractérise l'épipédon lorsque les courbes de répartition sont continues. Habituellement cela se fait au juger, soit en choisissant le point où se raccordent les branches approximativement horizontales et verticales (z') soit en estimant le point où la courbure est maximum (z'') soit en recherchant la limite au delà de laquelle les taux décroissent moins rapidement. Dans le premier cas on choisit le point où la tangente est également inclinée sur les deux axes, dans le second le point correspondant au rayon de courbure minimum, dans le troisième on se donne une valeur minimum de dm/dz , cela sur les courbes non linéaires qui

sont évidemment les seules à se prêter à ce genre de traitement. Or les cotes de z' et z'' sont fonction du module des axes du graphique et des unités de mesure choisies. Si l'on désigne par p le module de l'axe des taux, par q celui des profondeurs, les courbes tracées ayant pour équation $Y = f(X)$ avec $Y = p.m$ et $X = q.z$, les profondeurs z' et z'' sont égales à :

$$(z')^{n-1} = - \frac{\sqrt{2}}{2 A} \cdot \frac{q}{p} \quad 0 \leq n < 1$$

$$(z'')^{n-1} = - \frac{1}{A} \cdot \frac{q}{p} \cdot \sqrt{\frac{n-2}{2n-1}} \quad 0 \leq n < \frac{1}{2}$$

$$\text{si } n = 0 \quad z' = 2 z'' = \sqrt{2} \cdot A \cdot \frac{p}{q}$$

Ci-contre on trouvera l'exemple d'une courbe réelle dont le tracé est progressivement déformé par accroissements successifs du module des taux, ce qui a pour effet d'accroître la profondeur des points d'égale inclinaison de la pente ou à courbure maximum. Le résultat eut été le même si on avait choisi des unités de mesure des taux de plus en plus petites (en dixièmes, millièmes ...) ou des unités de longueur de plus en plus grandes. On voit ainsi que cette difficulté ne peut être levée en choisissant des modules égaux ($p/q = 1$) car le résultat dépendrait encore des unités de mesure de m et z . Le même inconvénient se manifeste lorsqu'on choisit une valeur minimum de la pente car évidemment $(dY/dX) = (p/q) \cdot (dm/dz)$. Ce défaut, qui apparaît lorsqu'on estime cette pente sur le tracé graphique, peut être éliminé par le calcul direct de dm/dz . Mais nous ne connaissons pas de critère de choix de cette valeur, dont l'évaluation ne peut donc qu'être arbitraire.

Les courbes à points anguleux ne donnent pas de renseignements généralisables, ne serait-ce qu'à cause de leur rareté. Ces discontinuités de pente ne correspondent pas à des limites d'horizons génétiques mais en général à des variations dans le régime hydrique (nappe), dans la stratigraphie du matériau.

Il est donc possible de donner une expression unique aux lois de répartition de la matière organique dans les profils de cette grande famille. Leur caractère le plus remarquable est la continuité en ce qu'elle ne permet pas de définir l'épaisseur de ce qu'on entend ordinairement par

horizons humifères, soit que leurs limites soient indéterminables (formes linéaires) soit qu'elles n'aient pas de réalité physique en dehors du système de mesures et de représentation (formes non-linéaires). Pour s'en assurer on se reportera encore à la figure jointe où la même répartition passe d'un aspect "isohumique" à une forme plus contrastée, ordinairement attribuée aux sols lessivés, selon le module des abscisses. L'expression mathématique et ses divers paramètres : valeurs maxima, taux de décroissance, sont de plus sûrs critères de distinction.

3. CALCULS ELEMENTAIRES
CONCERNANT LE LESSIVAGE

Les fractions :

- M , mobile, sujette au lessivage;
- F , stable, de référence;
- R , complémentaire, somme variable des autres constituants;

sont calculées en poids dans chaque horizon de telle sorte que :

$$M + F + R = I \quad (\text{ou } 100)$$

La stabilité de F peut être vérifiée si cette fraction est elle-même la somme de plusieurs éléments dont les rapports doivent être constants sur tout le profil.

Si le taux de M était initialement proportionnel à F dans le matériau, les quantités M/F sont comparables entre elles pour se rapporter au poids unité de F; elles se réfèrent en outre au même poids de matériau (I/F_c) si ce dernier était entièrement homogène sur toute son épaisseur.

Dans l'hypothèse d'un lessivage et d'une illuviation affectant un matériau dont une fraction est stable, les zones A, à défaut de M par rapport au matériau, et B, à excès de M, sont définies par :

$$\frac{M_b}{F_b} > \frac{M_c}{F_c} > \frac{M_a}{F_a} \quad a, b, c \text{ étant les indices des zones A, B, C.}$$

Ces zones sont différentes selon l'élément M considéré et peuvent ne pas coïncider exactement avec les zones d'illuviation et d'illuviation lorsque les deux mécanismes se superposent, par exemple dans un horizon de transition.

Dans la pratique, les zones A et B sont définies par :

$M_b > M_c > M_a$ ce qui se justifie si F est grand et relativement peu variable (sables dunaires).

Si on admet que le gain en B est égal à la perte en A on peut calculer des quantités L_a et L_b telles que :

$$\frac{\frac{M_c}{F_c} - \frac{M_a}{F_a}}{\frac{M_b}{F_b} - \frac{M_c}{F_c}} = \frac{L_b}{L_a}$$

Elles sont proportionnelles aux poids initiaux de F en A et C si F et M étaient en rapport constant dans le matériau, aux poids initiaux de matériau si tous ses constituants étaient en rapports constants, aux épaisseurs primitives des zones A et B si le produit $\phi_c \cdot F_c$, ϕ_c désignant le poids spécifique, était constant sur tout le profil. Dans cette dernière hypothèse, on peut évaluer le changement de volume de chaque horizon car :

$$L'_a = L_a \cdot \frac{F_c \phi_c}{F_a \phi_a} \quad L' \text{ désignant l'épaisseur théorique finale de l'horizon.}$$

Types de répartition de la fraction mobile dans les sols sableux

Les lettres A, B, C représentent ci-dessous les quantités M_a , M_b , M_c , ou M_a/F_a , M_b/F_b , M_c/F_c , relatives aux horizons morphologiques A, B, C. L'horizon B est défini par le développement maximum de la structure, coïncidant souvent avec la couleur la plus vive.

Répartition O, de sol homogène, A = B = C : elle est peu fréquente. Elle s'associe à la répartition 1 dans les sols les plus sableux, les moins différenciés, les plus jeunes, où elle démontrerait l'absence de lessivage mesurable, soit qu'il ne se manifeste effectivement pas, soit que ses effets restent inférieurs aux erreurs d'analyse, ici relativement importantes du fait de la petitesse des taux. Cette répartition est connue également dans les sols plus évolués où elle est attribuée à l'érosion.

Répartition 1, de sol enrichi, $A = B > C$: elle est caractéristique des sols les plus sableux, tout particulièrement ceux de la cuvette tchadienne, sans y être exclusive ni même la plus fréquente. Le mécanisme de l'enrichissement est indéterminé : l'altération, la chute de poussières éoliennes peuvent y contribuer.

Répartition 2, de sol appauvri, $A < B = C$: on l'observe sur les sols évolués de remblai, de dunes basses, de voiles sableux peu épais. L'interprétation par la seule érosion différentielle de l'horizon A est insuffisante parce que l'horizon B y est identique à celui des sols à répartition de type 3.

Répartition 3, de sols lessivés : $A < B > C$

Répartition 3_a, de sols lessivés normaux; $A < C$

C'est le type idéal des sols lessivés; avec le type 3_b il domine dans les sols à différenciation moyenne ou faible, mais est moins fréquent que le type 3_d dans les sols les plus argileux. L'interprétation qui en est faite repose sur des observations de mobilité plasmatique : raies, bandes, qui lui sont associées.

Répartition 3_b, de sols lessivés atypiques; $A > C$: sa distribution est la même que celle du type 3_a. Son existence peut être due à l'hétérogénéité du matériau (rapport M/F variable) et plus encore aux mêmes causes qui font que dans la répartition normale l'épaisseur réelle de l'épipédon lessivé est inférieure le plus souvent à l'épaisseur finale théorique L'_a : migrations latérales, érosion superficielle.

Répartition 3_c, de sols lessivés atypiques à base lavé; le lavage par une nappe phréatique, dont la présence est décelée par un horizon blanc particulière surmonté de concrétions et autres traits typiques, abaisse fortement les taux à la base de profils situés dans les grandes vallées et dans la cuvette tchadienne. Le contraste textural de la répartition 1 est souvent accentué de la sorte.

Répartition 3_d, de sols lessivés atypiques profonds; $A < B < BC$: les taux croissent jusqu'au substrat fossilisé ou jusqu'à une grande profondeur (plus de deux mètres) au-dessous de l'horizon B structural. Ce type s'observe surtout sur les sables argileux méridionaux, sur les ensablements minces. Dans ce dernier cas le substrat,

perméable (gravillons, grès) filtrerait la solution du sol tout en entretenant un léger engorgement gênant le développement du B structural à son contact. Cette interprétation repose sur le fait que l'accumulation maximum peut se faire dans le niveau grossier profond. On conçoit que la répartition 2 puisse dériver du même mécanisme, avec ou sans interférence de l'érosion superficielle. Il existe des cas où l'on soupçonne également un héritage du mode de mise en place, par superposition de sables éoliens ou remaniés par le vent, pauvres en plasma, et d'horizons B plus anciens.

4. GRANULOMETRIE DES SABLES

4.1 TECHNIQUE

On détruit ou disperse les ciments organiques ou argileux de la prise, séchée et pesée, par les méthodes de routine de l'analyse mécanique. On ne dissout les ciments ferrugineux dans l'acide chlorhydrique dilué que si le matériel est induré; cette attaque a en effet l'inconvénient de morceler les quartz cariés inclus dans les agrégats ferritisés. On lave ensuite sous l'eau sur le tamis de 0,05 mm. Le refus est séché et pesé ce qui permet de calculer le poids des fractions fines et de la matière organique. On vérifie au binoculaire qu'il est bien formé de grains minéraux libres entre eux et d'une proportion négligeable d'agrégats ferrugineux ou siliceux. Son poids doit être suffisant pour que l'erreur relative ne dépasse pas 5% sur les classes granulométriques dont la masse relative est égale ou supérieure à 5% :

$$m = 0,5 \left(\frac{1}{e^2} \right) \left(\frac{1}{p} - 2 \right) d \neq 38.000 d$$

m : masse limite inférieure du refus à tamiser (g)

e : (en fraction décimale) moitié de l'erreur relative à ne pas dépasser dans 95% des cas sur la masse de la classe granulométrique

p : (en fraction décimale) masse relative de la classe granulométrique

d : moyenne arithmétique des cubes des dimensions extrêmes de la classe (en cm³)

l : masse volumique de la substance (g/cm³)

Pour nos échantillons les valeurs limites m correspondent à des prises initiales comprises entre 50 et 200 grammes. On procède ensuite au tamisage à sec, pendant 10 minutes, à l'aide d'une machine à secousses sur une colonne de 17 tamis à mailles carrées AFNOR (raison $\sqrt[10]{10}$) dont l'ouverture s'échelonne de 0,050 à 2 mm.

Il est nécessaire de corriger par des mesures au compte-fils les ouvertures nominales des tamis qui diffèrent suffisamment de leur valeur réelle pour déformer systématiquement les courbes granulométriques, par exemple 0,75 mm au lieu de 0,71 mm ou 0,60 mm au lieu de 0,63 mm. Les refus sont assimilés à des classes de diamètres des grains dont les limites sont les deux ouvertures réelles consécutives, ce qui n'est vrai que des grains sphériques. S'ils sont oblongs, ellipsoïdaux, ce type de tamis sélectionne le produit de l'axe intermédiaire, ou diamètre moyen, par $\sqrt{2}$; les limites de classe sont alors égales aux ouvertures réelles multipliées par ce même coefficient. Des sondages au binoculaire montrent que la population de diamètres moyens d'un refus peut être interprétée comme résultant d'un mélange de grains sphériques et ellipsoïdaux :

1° - la plus petite ouverture réelle est toujours la limite inférieure; il existe donc des grains isodiamétriques

2° - le produit de l'ouverture maximum par $\sqrt{2}$ diffère de moins de 20 microns de la limite supérieure des diamètres réels

3° - 40 à 55% des diamètres moyens réels sont compris entre les limites correspondant à des grains ellipsoïdaux; 20 à 55% correspondent à des grains sphériques; 1 à 35% n'entrent dans aucune de ces catégories

4° - le rapport de la moyenne des diamètres moyens réels à la moyenne des ouvertures varie de 1,20 à 1,30 dans les échantillons testés

Les diamètres nominaux sous-estiment donc les diamètres réels d'un coefficient qui dépend des proportions des formes dont la morphoscopie nous apprend qu'elles peuvent varier selon le matériel et la classe granulométrique. Lorsque des courbes granulométriques sont dissemblables, il est toujours possible que l'écart soit dû à l'addition de différences dans les dimensions et les formes. Si elles conservent quelque ressemblance, on admet que le facteur granulométrique est prépondérant. La répartition des formes étant à peu près

le même, toutes les courbes de fréquence sont déplacées d'une valeur constante le long des abscisses, de l'ordre de + 0,9 unité alpha dans les sables dunaires du Niger occidental. Dans ce qui suit, nous entendrons par diamètres les dimensions calculées à partir de la moyenne (géométrique en unités alpha) des ouvertures des tamis consécutifs.

4.2 CALCULS GRAPHIQUES

Les refus, en pourcentage du total compris entre 0,05 et 2 mm, sont cumulés des tailles grossières aux tailles fines puis reportés sur un graphique ayant :

- pour abscisses la valeur alpha (X) des ouvertures (d, en mm) ou dixième de leur cologarithme décimal
- pour ordonnées les fréquences cumulées probit (Y) constant des longueurs proportionnelles aux valeurs correspondantes de la variable réduite d'une loi de distribution normale.

Si la population est gaussienne, sa courbe de fréquences cumulées est alors une droite :

$$Y = \frac{I}{S} (X - \bar{X}) \quad S, \text{ écart type; } \bar{X} \text{ moyenne (valeurs alpha).}$$

Mais les populations naturelles sont :

- limitées, ce qui produit deux asymptotes verticales aux extrémités de la courbe probit
- pour la plupart représentées par des courbes de fréquences en cloche, déformées de modes secondaires et asymétriques; la courbe probit est alors formée de segments tendus raccordés par des inflexions (modes) ou par des changements rapides de pente (asymétrie); les parties les plus linéaires sont parallèles aux droites correspondant aux populations normales composant théoriquement la population réelle
- parfois rectangulaires; ce cas correspondant à une population normale d'écart type infini, la courbe probit est encore presque rectiligne dans sa partie centrale.

La quasi-rectilinéarité de la plupart des courbes probit est un grand avantage qui facilite les interpolations nécessaires à la construction précise de la courbe des fréquences cumulées en ordonnées arithmétiques. De cette dernière on déduit, en utilisant un dérivimètre à prisme, la courbe des fréquences absolues.

On relève sur la courbe probit les paramètres suivants :

X_{50} , d_{50} : médiane en valeur alpha et en mm.

Q_1 , Q_3 ; P_{10} , P_{90} : premier et troisième quartiles; premier et neuvième déciles; en mm.

X_{16} , X_{84} : valeurs alpha correspondant aux fréquences 16 et 84.

On calcule ensuite :

$\frac{1}{2} (X_{16} + X_{84})$: égal à la moyenne \bar{X} si la population est normale; on en déduit la moyenne géométrique \bar{d} , en mm.

$\frac{1}{2} (X_{84} - X_{16})$: égal à l'écart type S si la population est gaussienne.

$\sqrt{\frac{Q_1}{Q_3}} = S_0$, coefficient d'écart interquartile de Trask; inférieur à 2,5 il caractérise une population homogène; elle est encore bien calibrée à moins de 3 et hétérogène à plus de 4,5; ces normes valables pour l'ensemble des sédiments ne sont pas utilisées au Niger dont la plupart des sables, même manifestement mélangés, ont un coefficient inférieur à 2,5.

$\frac{1}{2} \cdot \frac{Q_1 - Q_3}{P_{10} - P_{90}} = K$, indice d'acuité interquartile; il indique une acuité supérieure (courbe leptokurtique) ou inférieure à celle d'une courbe de fréquence absolue gaussienne selon qu'il est inférieur ou supérieur à 0,26.

3. $\frac{\bar{X} - X_{50}}{S} = A_s$, indice d'assymétrie; nul pour toute courbe symétrique, normale ou pas; il est positif lorsque la courbe des fréquences s'étale vers les petits diamètres et inversement; l'assymétrie est attribuée à un tri différent des

classes extrêmes ou à la perte d'une partie d'une population symétrique au départ.

Sur la courbe des fréquences absolues en ordonnées arithmétiques (unités : unité de taux/unité alpha) on relève la taille des modes ainsi que les fréquences correspondantes (y'_m) conventionnellement données en %.

En comparant ces paramètres à leurs valeurs dans des distributions normales ou rectangulaires, on élimine les erreurs les plus grossières; le formulaire ci-dessous sert également à calculer les populations composantes d'une population complexe.

- courbes normales -

$$y'_m = \frac{40}{S} \quad \log SO = 0,0674 S \quad K = 0,26$$

$$y'_S = 0,606 y'_m \quad y'_S = \text{fréquences correspondant à des diamètres différent du mode de S.}$$

$$N = 2,5 \cdot S \cdot y'_m \quad N = \text{effectif total.}$$

- courbes rectangulaires -

$$SO, \text{ en valeur } \alpha = - 0,25 D \quad D = \text{différence des valeurs alpha maximum et minimum.}$$

$$y' = \text{constante} = 100/D$$

$$K = 0,31$$

4.3 PRESENTATION DES DONNEES

4.31 Courbes de fréquences absolues

Elles conviennent le mieux au but principal de cette étude granulométrique, la définition d'ensembles homogènes. Elles visualisent parfaitement les principales caractéristiques :

- amplitude de variation des tailles
- dispersion
- assymétrie
- importance relative des modes, plus généralement type de distribution
- homogénéité, existence éventuelle de populations élémentaires composantes

ainsi que toutes les particularités locales, qui échappent ordinairement aux paramètres, n'en permettent pas moins d'identifier les ensembles locaux : sables d'un profil, d'une coupe topographique, d'une même famille pédologique. Chacune de ces unités peut donc être représentée par une courbe de fréquence que l'on peut obtenir de deux façons:

- les courbes cumulées probit sont regroupées en un faisceau dont on trace la courbe moyenne qui, reportée en ordonnées arithmétiques puis dérivée, donnera la courbe de fréquence caractéristique. Cette méthode a l'inconvénient d'être fastidieuse et de donner des courbes trop régulières par rapport aux courbes réelles.

- Parmi les courbes de fréquence, on choisit celle dont les paramètres ont des valeurs approximativement moyennes ou centrées. Cette méthode plus simple est celle qui est employée lorsque les courbes ont des formes irrégulières, c'est-à-dire dans la majorité des cas.

4.32

D i a g r a m m e s

Les plus utilisés sont ceux qui ont pour coordonnées d'une part un paramètre de position (\bar{X} , X_{50} , mode principal) d'autre part un paramètre de dispersion (S , S_0). Les paramètres de forme, K et A_s , sont parfois utiles pour coter les points du diagramme lorsque ces derniers ne se regroupent pas en nuages suffisamment distincts. Cette subordination tient d'une part à la définition de K , que ne sépare que les courbes d'égale dispersion, d'autre part aux faibles valeurs de A_s dans la plupart des cas qui le rendent sensible aux fluctuations aléatoires de \bar{X} et X_{50} . Elle exprime le fait que les courbes granulométriques sont en petit nombre au Niger et qu'elles diffèrent surtout par leur position et leur tri.

4.33 H i s t o g r a m m e s

On ne les a utilisés que pour représenter la distribution de paramètres : taux de la fraction inférieure à 0,05 mm et mode principal .

4.34 G r a n u l o m é t r i e c o m p l è t e

Les courbes de fréquences absolues ne sont pas modifiées dans leur forme et leur position par l'élimination des fractions supérieures à 2 mm et inférieures à 0,05 mm. Les ordonnées sont simplement multipliées par un coefficient constant (I - fractions éliminées/100). Seules les fractions fines ont de l'importance mais, notées en unité alpha, sont étalées en une queue de courbe sans intérêt. Il est plus commode de les rassembler dans un histogramme particulier.

4.4 I N T E R P R E T A T I O N

Le but principal est de définir le degré d'homogénéité granulométrique d'une famille pédologique par la recherche de courbe de fréquence caractéristique ou de groupements de points bien individualisés sur les diagrammes.

Il est parfois possible de suivre une filiation par la déformation progressive du tracé des courbes et les variations concomittantes des paramètres, ces dernières pouvant être compatibles avec un mécanisme sédimentologique impliqué par le mode de mise en place du matériel.

On ne peut cependant déduire l'agent de transport du seul examen des courbes; on ne peut que le vérifier. Une première raison en est le fort héritage granulométrique des sables du Niger triés par des événements sédimentaires successifs, les plus tardifs n'étant perçus que par des retouches dans le tracé des courbes. Une seconde en est la parenté d'action du vent et de l'eau, rendue possible par la finesse générale des matériaux :

- séparation entre sables et fraction fine
- répartition des premiers en populations unimodales, symétriques sinon gaussiennes, en deçà d'une certaine épaisseur du dépôt.

Cette parenté n'est pas infirmée par la bonne corrélation existant en une région limitée entre les tracés caractéristiques et les formes topographiques, donc entre les courbes granulométriques et les agents de transport. En effet, variant d'un lieu à un autre, cette liaison n'est pas physique, mais historique et contingente. Par exemple dans une étude faite au Sahara, J. CHAVAILLON (1964) attribue des courbes bi-modales étalées aux dépôts fluviatiles et des courbes uni-modales moins dispersées aux sables éoliens. Or au Niger ces dernières appartiennent à la fois aux barkhanes vives du cordon de Tal, aux alluvions actuelles issues du socle du Goulbi de Maradi, à des cordons E.2, à des remblais supérieurs. Les courbes bi-modales sont, elles, très communes sur les dunes E.1. Cependant, dans les deux territoires, les sables proluviaux ou de "ruissellement en nappe" ont une distribution irrégulièrement rectangulaire. Les caractères les plus communs des courbes doivent être attribués plutôt à des lois générales qu'à un agent particulier :

- les vitesses élevées et constantes correspondent à des distributions unimodales et peu dispersées : crêtes de dunes, sédiments de grandes rivières
- inversement les vitesses faibles ou irrégulières sélectionnent ou individualisent mal les modes et n'assurent pas de tri : proluvions
- les rythmes des agents de transport peuvent introduire partout plusieurs modes, l'un pouvant dominer parce que correspondant à une période d'activité prépondérante. La configuration topographique peut avoir le même effet en agissant sur les vitesses. Le résultat est le litage du dépôt, la superposition de populations unimodales, ultérieurement mêlées par l'érosion ou le prélèvement.

Le vent et l'eau, s'ils ne produisent pas dans les sables du Niger de formes de courbes spécifiques, ont cependant des compétences différentes. L'éventail des tailles des sables éoliens est plus resserré; les modes principaux restent compris entre 0,12 et 0,35 mm.

On ne peut donc établir de nomenclature des courbes

granulométriques que fondées sur leurs propriétés mathématiques. Mais il n'existe pas de classification intrinsèque des courbes modales qui sont la majorité au Niger en dehors de celle de J. ROUSSEAU (1965) (1) une extension de la méthode d'interprétation de la granulométrie des sédiments meubles et fins de J. RIVIERE (1962). Ces derniers sont caractérisés par des courbes de fréquence amodales d'expression générale :

$$y' = a \cdot d^{N-1}$$

y' = fréquence absolue
d = diamètre
a = constante

L'exposant N est négatif lorsque, les abscisses étant en $\log.d$, les fréquences y' croissent continûment vers les petits diamètres; il est nul lorsque les fréquences sont constantes, positif lorsqu'elles croissent vers les grands diamètres. Il suffit à caractériser la courbe lorsque les unités et la grossièreté ont été éliminées en réduisant à la même valeur, 1, l'extension des abscisses. Cette propriété permet de construire une abaque de l'ensemble des courbes de fréquences cumulées. J. ROUSSEAU remarque que les deux parties d'une distribution (y') unimodale situées de part et d'autre du mode prennent leur place dans l'abaque de RIVIERE, après une transformation convenable, et peuvent être caractérisées par deux valeurs de N de signes opposés. Ce procédé n'a pu être appliqué aux sables du Niger pour les raisons suivantes :

- il repose sur l'hypothèse que les populations élémentaires composantes des populations réelles sont amodales. Or les distributions des sables les plus évolués du Niger sont toujours uni-modales, souvent symétriques; l'analyse des granulométries en somme de populations gaussiennes en rend compte à 5 ou 10% près; la tendance amodale n'apparaît qu'artificiellement dans les sables les plus fins par limitation du tamisage au diamètre de 0,05 mm et disparaît des granulométries complètes.

- lorsque l'on a quelque raison de penser que diverses fractions d'une même population ont une origine ou un comportement sédimentologique distincts, elles s'individualisent en modes séparés et non sur chacune des parties fine

(1) ROUSSEAU (J.) - Sur une loi d'association des faciès granulométriques des fractions grossières et fines d'un sédiment sableux. 1965, C.R.Acad.Sci., Paris, t.261, pp. 3653-3655

RIVIERE (J.) - 1962, Méthode d'interprétation des sédiments meubles fins

ou grossière séparée par un mode comme le voudrait l'hypothèse précitée

- les deux valeurs de N correspondant à chacune des moitiés de courbe ne donnent que des renseignements d'une extrême évidence :
- . si l'une des parties croît vers les petites tailles (N négatif) l'autre croît nécessairement vers les grandes (N positif) puisqu'elles sont affrontées
- . elles tendent simultanément vers 0 en même temps que l'indice de classement (extension des log.d, proportionnelle à S) s'accroît; autrement dit lorsqu'une courbe unimodale tend vers une forme rectangulaire, c'est que chacune de ses moitiés en fait autant et que sa dispersion augmente, constatation trop banale pour être utile.

Sans entrer dans des calculs trop compliqués, il est possible de retenir dans la nomenclature quelque chose de l'hypothèse la plus vraisemblable de mélanges de populations modales pour la plupart. La forme est suffisamment dégrossie par la mention de l'une des deux grandes catégories, rectangulaire ou en cloche, précisée par l'acuité lorsqu'elle est exceptionnelle et combinée à une faible dispersion. La complexité est définie par le nombre de modes qui a de grandes chances d'être proche de celui des populations composantes. L'asymétrie peut indiquer l'ablation partielle de la fraction grossière (positive) ou fine d'une distribution initialement symétrique, ou l'addition de populations inégalement dispersées. La combinaison de ces quelques termes suffit à désigner clairement le petit nombre de courbes-types des sables du Niger (Pl.48).

4.5 RESULTATS

4.51 Les proluvions issues de granites altérés

Ce sont des sables grossiers et des sables argileux lités et stratifiés mis en place par les marigots temporaires drainant les glacis M.3 à sols ferrugineux lessivés plus ou moins

érodés du Liptako. On les suppose semblables par leur granulométrie aux matériaux qui ont donné naissance aux sables plus évolués des dunes et remblais.

4.511 Taux des limons et argiles (moins de 50 microns)

34 à 50%, moyenne 43%.

4.512 Forme des courbes de fréquence

Rectangulaires déformées par deux ou trois modes secondaires et un début d'asymétrie.

Les modes sont variables et répartis en trois groupes :

0,5 - 0,8 mm : le plus caractéristique quoique le moins bien représenté ($y'_m = 1$ à 7,5%); au-dessous de 1% les grains de quartz et feldspath peu morcelés qu'il représente étalent encore la courbe vers les fractions grossières

0,18-0,3 mm : quantitativement le plus important ($y'_m = 6$ à 16%)

0,06-0,07 mm : présent dans un cas sur deux seulement ($y'_m = 9,5$ à 11%); cette poudre peut avoir pour origine celle qui caractérise les A.2 des sols lessivés.

L'asymétrie est le plus souvent forte et négative (- 0,2 à - 1,44) ce qui correspond bien à l'aspect macroscopique courant de grains grossiers enrobés dans une matrice plus fine (porphyrosquelettique). Les niveaux graveleux peuvent posséder une asymétrie positive (0,97).

4.513 Grossièreté (paramètres de position)

médianes : 0,158 - 0,772 mm
moyennes géométriques : 0,165 - 0,462 mm

les valeurs les plus faibles s'observant une fois sur 6.

4.514 Dispersion

S : 2,9 - 4,9

SO : 1,6 - 2,4

Ces matériaux sont, comme on s'y attendait, parmi les plus étalés du Niger; P_{10} variant de 0,9 à 1,3 mm, P_{90} descend jusqu'à 0,76 - 0,107 mm. Intrinsèquement, selon SO, ils sont cependant encore tenus pour homogènes ou encore bien calibrés.

4.515 Profils

L'hétérogénéité verticale et aléatoire est de règle; exemple, NM 14 Alareni :

au sommet médiane de 0,200 mm, SO = 2,11
à la base médiane de 0,668 mm, SO = 2,36.

4.516 Interprétation

Mélange de gros cristaux peu altérés arrachés à l'a-rène, localement concentrés dans les lits, et d'un ma-tériel plus fin emprunté aux sols : argile et quartz pulvérisé.

4.52 Produits d'altération des
grès - quartzites voltaïens

Situés à la base de sols ferrugineux lessivés ou hy-dromorphes, ils n'ont subi que de faibles déplacements le long des pentes ou sont en place.

4.521 Limons et argiles

57 à 58%

4.522 Forme des courbes

Bimodales à mode grossier prédominant :

0,38 - 0,72 mm, $y'_m = 16$ à 32%
0,076 - 0,089mm, $y'_m = 5\%$

Asymétrie nulle ou fortement positive : 0 à 1,8

Plutôt platykurtiques : $K = 0,24$ à $0,30$.

4.523 Dispersion

S : 3,0 - 4,6
SO : 1,6 - 2,0
P₁₀ : 0,84 - 1,23 mm
P₉₀ : 0,094 - 0,127 mm

4.524 Grossièreté

médianes : 0,676 - 0,388 mm
moyennes : 0,355 - 0,357 mm

4.525 Profils

Homogènes

4.526 Interprétation

Granulométrie plus grossière mais moins étalée que celle des matériaux issus des granites; elle est héritée des grès; l'altération désagrège les grains de quartz sans les morceler.

4.53 Grès continentaux crétacés

Les prélèvements ont été effectués sur l'aire du Turonien (formation du Koutous du Niger est) et du Sénonien-Danien (Niger centre) soit dans des puits, soit à la base de profils pédologiques. La granulométrie est indépendante de l'état d'altération mais est fonction des faciès que l'on peut regrouper en deux ensembles :

- des grès argileux bariolés à feldspaths, tendres, roches-mères des sols
- des grès quartzeux et ferrugineux, durs, présents dans les nappes détritiques.

4.531 Taux des limons et argiles

de 15% (grès durs) à 35%.

4.532 Formes des courbes

Bimodales à mode fin prédominant (grès tendres) ou unimodales à asymétrie nulle à positive (grès dur). Les modes forment deux groupes :

0,200 - 0,250 mm : mode principal des grès argileux
($y'_m = 13$ à 18%)

0,600 - 0,700 mm : mode secondaire des grès argileux
($y'_m = 4$ à 7%) parfois réduit à un simple étalement; mode principal des grès quartzeux ($y'_m = 17\%$).

Asymétrie : 0,15 à - 0,7 : grès argileux
près de 0 : grès dur

Plutôt platycurtiques : $K = 0,20 - 0,26$.

4.533 Dispersion

S : 2,75 - 4,73
SO : 1,52 - 2,08 minimum pour les grès durs
P₁₀ : 0,65 - 1,30 (grès argileux)
1,600 (grès dur)
P₉₀ : 0,060-0,130
0,270

4.534 Grossièreté

médianes : 0,195 - 0,270 mm
0,680
moyennes : 0,186 - 0,326 mm
0,678

4.535 Interprétation

Les géologues font de ces grès des épandages fluviatiles de climat sec (on y trouve des galets éolisés) alimentés par des altérites arénacées à la fois smectitiques et kaoliniques, ressemblant par conséquent à celles du glaciaire M.3. L'évolution granulométrique est cependant plus poussée que dans les proluvions du socle; le mode fin est déjà presque aussi développé que dans les sables des dunes et d'alluvions des Goulbi.

4.54 Les grès du Continental
Terminal (Ct.2-3)

Les échantillons inaltérés ont été prélevés sur des coupes naturelles; le faciès dominant est formé de grès argileux bariolés à bancs plus durs de grès siliceux ou ferrugineux et de sables rouges. Les échantillons inaltérés sont des grès à tubulures sous-jacents à des cuirasses et la roche-mère de sols ferrugineux lessivés rubéfiés méridionaux.

4,541 Formes

Quatre ensembles :

- courbes unimodales symétriques peu dispersées et proches d'être gaussiennes; elles caractérisent les grès sableux qui forment des bancs résistants parmi les grès argileux;

- courbes unimodales à asymétrie positive à la fois étalées et leptokurtiques; ce sont les plus communes : grès argileux, grès sableux, grès à tubulures;

- courbes unimodales à asymétrie négative pour les sables, nulle pour l'ensemble de la granulométrie, cela étant dû à la finesse du mode; dispersion proche de celle des courbes précédentes; grès argileux et roche-mère des sols ferrugineux lessivés méridionaux qui lui doivent leur finesse texturale;

- courbes rectangulaires très étalées irrégulièrement polymodales; cette dispersion est d'origine lithologique dans des grès de base proches du contact avec le socle cristallin (N 146) d'origine sédimentaire dans des grès à tubulures sous-jacents à des cuirasses conglomératiques; elle existe également dans quelques grès argileux sans particularités de gisement.

Modes :

1er groupe : 0,15-0,23 mm ($y'_m = 27 - 38\%$)

2è groupe : 0,20-0,37 mm ($y'_m = 15 - 20\%$)

3è groupe : 0,10 mm ($y'_m = 11 - 27\%$)

4^e groupe : 0,95-1,7 mm ($y'_m = 5\%$)
0,23-0,28 mm ($y'_m = 7-8,5\%$)
0,09-0,10 mm ($y'_m = 5-8,5\%$)

Asymétrie

1^{er} groupe : 0-0,15
2^e groupe : 0,1-0,6, moyenne 0,3
3^e groupe : - 0,7
4^e groupe : 0 à - 0,6

Acuité

1^{er} groupe : 0,22 - 0,29
2^e groupe : 0,11-0,22
3^e groupe : 0,19-0,23
4^e groupe : 0,24-0,30, valeur 0,3 trois fois sur quatre

4.542 Argiles et limons

1^{er} groupe : 10 à 45%
autres : 21 à 60%

4.543 Grossièreté

médianes

1^{er} groupe : 0,154-0,225 mm
2^e groupe : 0,168-0,340
3^e groupe : 0,128-0,156
4^e groupe : 0,210-0,380

moyennes

1^{er} groupe : 0,151-0,225

2è groupe : 0,155 - 0,318
 3è groupe : 0,157 - 0,186
 4è groupe : 0,215 - 0,422

4.544 Dispersion

	S	SO	P10 P90
1er groupe	1,03-1,53	1,20-1,25	0,360-0,088 mm
2è groupe	3,02-3,91	1,50-1,63	1,04 -0,063 mm
3è groupe	3,71-4,25	1,76-1,99	0,670-0,056 mm
4è groupe	5,10-6,30	2,34-2,64	2,95 -0,069 mm

4.545 Interprétation

Les sables des grès tertiaires se distinguent de ceux du Crétacé par une finesse et un tri plus grands se traduisant dans le détail par :

- l'absence de mode secondaire grossier (0,6 mm)

- une meilleure sélection des modes moyens et fins principaux (0,10-0,37 mm) et leur concentration plus fréquente dans des phases particulières à dispersion très réduite. Ces différences se traduisent macroscopiquement par l'absence de grains cristallins grossiers, notamment des feldspath qui sont très rares et de taille microscopique (région de Bandé). Leur origine principale est dans l'altération plus poussée du manteau kaolinique paléocène qui leur a donné naissance; les quartz en sont en effet très fortement cariés et fragilisés, les feldspath y ont pratiquement disparu. La meilleure sélection des tailles suggère également des cours d'eau moins intermittents et turbulents.

4.55 Les recouvrements sablo-argileux des versants sur grès Ct.3

Si sur les bas-glacis des grès Ct.2, des grès crétacés, la délapidification ne provoque guère de transformations granulométriques, sur les versants Ct.3 les pentes sont suffisamment fortes pour avoir provoqué un brassage hydrique qui a parfois modifié les courbes originelles. Les prélèvements portent sur les horizons C ou BC de sols peu évolués

sur colluvions actuelles et de sols ferrugineux lessivés sur colluvions anciennes, les uns homogènes à un certain litage près, les autres progressivement enrichis en débris de grès et grains de quartz à leur partie inférieure.

4.551

Formes des courbes

La plupart sont unimodales, à asymétrie négative; celles qui correspondent aux matériaux hétérogènes grossiers sont rectangulaires et irrégulièrement polymodales. Les plus communes des courbes unimodales des toposéquences septentrionales ne s'identifient exactement avec aucun des groupes des grès. Elles possèdent l'extension en ordonnées et abscisses du groupe 2 mais sont décalées d'environ deux unités alpha vers les petites tailles en même temps que leur asymétrie change de signe. Quelques unes, situées en haut de versant, coïncident exactement avec le groupe 2 (NJ 323). Les sables des sols rouges méridionaux s'identifient au groupe 3, en dérivent par formation d'agrégats stables (sols ferrallitiques) ou s'y apparentent (sols rouges de la Tapoa). Les courbes rectangulaires sont propres aux matériaux proluviaux des zones basses (groupe 4). Rien ne correspond au groupe 1.

Modes :

groupe 2', plus fin que le groupe 2 :
 0,156-0,195 mm; $y'_m = 11,5-22\%$
 groupe 2 : 0,376 mm ; $y'_m = 13\%$
 groupe 3 : 0,112-0,118 mm; $y'_m = 15-17\%$
 groupe 3 : Tapoa : 0,068 mm; $y'_m = 56\%$
 groupe 4 : 0,384-0,767 mm: $y'_m = 5-14\%$
 0,141-0,178 mm; $y'_m = 9-16\%$
 0,070-0,085 mm; $y'_m = 11-14\%$

Asymétrie

groupe 2' : - 0,1 à - 0,57; moyenne - 0,30
 groupe 2 : 0,41
 groupe 3 : - 0,41 à - 0,71; Tapoa : - 2,0
 groupe 4 : 0,14 - 0,24

Acuité

groupe 2' : 0,20-0,26
 groupe 2 : 0,24

groupe 3 : 0,19 - 0,22; Tapoa : 0,15
 groupe 4 : 0,29 - 0,30

4.552 Argiles et limons

22 à 61%

4.553 Grossièreté

	médiane (mm)	moyenne (mm)
groupe 2'	0,156-0,209	0,165-0,245
groupe 2	0,288	0,263
groupe 3	0,130-0,151	0,143-0,177
groupe 4	0,204-0,359	0,199-0,329

4.554 Dispersion

	S	SO	P.10-P.90(mm)
groupe 2'	2,3-3,5	1,40-1,69	0,708-0,081
groupe 2	3,45	1,71	0,725-0,096
groupe 3	2,92-2,97	1,53-1,57	0,457-0,068
Tapoa	2,45	1,43	0,278-0,058
groupe 4	3,5-4,6	1,81-2,24	1,15-0,073

4.555 Interprétation

Le mélange des produits de désagrégation des grès a recouvert les versants d'un matériel plus uniforme. L'homogénéisation fait disparaître les populations granulométriques extrêmes et prédominer les caractères des grès argileux, les plus communs : dispersion, taux d'argile et limons. On peut expliquer qualitativement le gain en finesse et le changement du signe de l'asymétrie par le mélange des groupes 2 et 3 mais le calcul montre que les diamètres des sables des recouvrements sont plus fins qu'ils ne devraient dans cette hypothèse, compte tenu des proportions vraisemblables des deux ensembles de grès. Une contribution des produits de dissolution de la cuirasse supérieure, seule formation pédologique où les quartz se soient morcelés, est alors envisageable. Ce brassage est le fait d'un ruissellement diffus dont on a constaté l'activité et les traces sur les piedmonts colluviaux actuels et anciens du

Djermaganda (p.); localement il est accentué par des cours d'eau temporaires aux proluvions plus hétérogènes. Des processus pédologiques, seule la formation d'agrégats se fait sentir à des irrégularités dans les tailles grossières. Ces transformations modérées conservent les caractères dimensionnels locaux.

4.56 S a b l e s d e s d u n e s b a s s e s
o u é m o u s s é e s E.1

Leur granulométrie est fonction de la situation dans le profil, dans la toposéquence, et de l'origine régionale de l'ensablement.

4.561 Variations dans le profil

Elles sont estimées par un sondage de 28 échantillons épais de 5 à 10 centimètres répartis par séries de 3 ou 5 sur toute l'épaisseur de 8 profils pédologiques situés sur les types les plus généraux de substrat géologique : grès, granites, schistes. Elles sont faibles et de caractère généralement aléatoire.

La forme de la courbe de fréquence est conservée de telle sorte que le tracé correspondant à n'importe quel horizon caractérise le profil. L'extension en taille, l'asymétrie, les modes sont peu modifiés ainsi que l'importance relative de ces derniers. On peut tenir les granulométries d'un même profil, en première approximation, pour des mélanges au hasard des mêmes populations élémentaires par les mêmes processus.

La série des paramètres ne permet pas de percevoir aussi clairement cette similitude, surtout si les courbes sont plurimodales. Leurs variations sont les suivantes :

y'_m : 12 à 30% de la plus petite valeur (ex : 10 et 13%)
abscisse des modes principaux : 0 à une unité alpha
médiane : 0,2 à 0,7 unité alpha (moyenne 0,45).
S : 0,2 à 0,7
Asymétrie : 0 à 1, valeur élevée due au fait que ce coefficient n'intègre que 68% de la population.

Sur des ensablements peu épais de glâcis sur grès et schistes, on a constaté l'atténuation en surface d'un mode grossier (vers 0,5 mm) présent dans l'horizon C et macroscopiquement visible. Sur dunes, c'est au contraire l'amenuisement d'un mode fin (0,1 mm) vers l'horizon A qui a été observé. Dans les deux cas, les modes centraux (0,2-0,3 mm) sont renforcés et la dispersion diminuée vers la surface. La grossièreté augmente, diminue ou fluctue au hasard selon le lieu, ces trois éventualités se répartissant exactement par tiers. Nous n'avons donc pas retrouvé la tendance systématique à la concentration des sables grossiers en surface, souvent mentionnée et attribuée à une érosion sélective. Plus généralement rien ne paraît être modifié par les processus pédologiques, cela parce que la taille maximum des particules pouvant être déplacées dans le profil est inférieure ou tout juste égale au diamètre minimum des sables (0,05 mm).

4.562 Variations dans la toposéquence

Elles ont été appréciées sur six groupes de trois profils d'ergs ou d'ensablements de glâcis sur grès, répartis du sommet au bas de pente. Chaque profil est représenté par l'horizon C qui en donne la variante granulométrique la plus complexe et la plus dispersée. Les différences répètent les précédentes en les amplifiant.

La forme de la courbe de fréquence reste caractéristique de la toposéquence, toujours sur ses 2/3 supérieurs, souvent sur sa totalité. En bas de pente l'asymétrie peut changer de signe par inversion de l'importance relative des modes. Cette modification ne diffère donc pas qualitativement des fluctuations qui conservent mieux le tracé.

Les variations des paramètres correspondant à ces transformations sont les suivantes :

y'_m : 21 à 45% de la valeur la plus faible
 abscisse des modes : 0 à 0,25 unité alpha
 médiane : 0,25 à 0,5 alpha
 S : 0,15 à 0,7 alpha
 As : 0 à 1,25.

Les modes fins (0,1 mm et moins) et grossiers (0,5 et plus) tendent à se renforcer, les seconds surtout, en bas de pente, entraînant un aplatissement, une diminution de y'_m dans trois cas sur quatre. L'influence sur la grossièreté et l'asymétrie de cette évolution est inconstante; elles paraissent augmenter

plus souvent, dans trois cas sur cinq, ce qui traduirait un poids plus important des sables grossiers.

Sauf en ce qui concerne les fréquences modales, les variations dans la toposéquence sont semblables et du même ordre de grandeur que dans le profil, plus précisément la variance totale relative à un prélèvement est due pour 70% à la dispersion à l'intérieur du profil et pour 30% à la dispersion le long de la pente, lorsque la forme de la courbe n'est pas modifiée. Lorsqu'elles sont systématiques, elles individualisent une couche plus homogène et centrée vers les tailles moyennes (0,2-0,3 mm) en haut de pente et au niveau des horizons A.

4.563 Variations régionales

Les horizons C ou BC des profils situés sur le tiers supérieur de pente sont les termes de cette comparaison. Ce choix est imposé par la présence variable de matériaux polluants en bas de pente : restes de recouvrements ou alluvions. On peut espérer qu'il désigne des répartitions granulométriques moyennes de chaque toposéquence, moins homogènes qu'en A, moins hétérogènes qu'en position basse.

4.5631 Dunes E.1 sur Crétacé Continental du Niger centre et est

Leur aire est celle du Crétacé Supérieur étudié ci-devant (p. 30). Les courbes de fréquence sont nettement bimodales et généralement à asymétrie positive parce que le mode grossier est prépondérant :

mode principal	: 0,33-0,37 mm; $y'_m = 15$ à 25
mode secondaire	: 0,12-0,19 mm; $y'_m = 9$ à 12
SO	: 1,35 à 1,75
As	: -0,26 à + 0,51

Cette distribution n'est que peu modifiée dans les sables fossilisant les alluvions anciennes de Maradi au sud-ouest des grès. Le poids des sables fins augmente en changeant le signe de l'asymétrie et parfois en donnant une répartition unimodale. Un mode tertiaire grossier apparaît :

modes principaux	: 0,33-0,35 mm; $y'_m = 15$ à 25%
	0,12-0,19 mm; $y'_m = 12$ à 18 (25 uni-mod.)

groupe 2'

modes principaux : 0,168-0,184 mm; $y'_m = 14,5-21$
modes secondaires : 0,233-0,257 mm; $y'_m = 13-16\%$
 0,129 ; $y'_m = 12,5\%$
 0,075-0,089 ; $y'_m = 9-11$
 0,760 ; $y'_m = 3$

asymétrie : -0,1 à -0,66 (moyenne -0,25);

acuité : 0,21-0,27

grossièreté: médianes = 0,164-0,191 mm; moyennes =
 0,163-0,196 mm

dispersion : SO = 1,41 - 1,69; S = 2,32-3,22

Les groupes 2 et 2' n'ont pas de répartition régionale ou topographique définissable. Sur les modelés dunaires ondulés les plus reconnaissables, situés au nord des grès Ct.3 ou sur la surface supérieure, on observe des variantes un peu moins dispersées de l'un ou l'autre ensemble :

Dunes rondes réticulées septentrionales (2)

mode principal : 0,280-0,288; $y'_m = 18-19$
mode secondaire : 0,178 ; $y'_m = 17$
asymétrie : 0,29; acuité : 0,27-0,29
SO : 1,50; S : 2,55

Dunes réticulées sur plateau de la surface supérieure (2')

mode principal : 0,180; $y'_m = 18$
mode secondaire : 0,129; $y'_m = 22$
asymétrie : -0,37; acuité : 0,25
SO : 1,42; S : 2,5.

En prenant comme variance de chaque échantillon la valeur de la variance totale de la toposéquence, ce qui la surestime, on constate les différences suivantes, significatives au taux de 90%, par rapport aux sables argileux de recouvrement :

- modes principaux plus centrés (groupe 2) ou limite inférieure des modes principaux plus élevée (groupe 2')
- médianes moins dispersées (groupe 2) ou limite inférieure des médianes plus élevée (groupe 2')
- limite supérieure de S plus faible (groupe 2)

micas. L'acquis granulométrique antérieur aux actions éoliennes y est minimum puisque les matériaux autochtones sont peu évolués. Nulle part cependant on ne peut être certain que des apports dunaires issus des grès ne soient parvenus; la distance est d'au plus 150 km et partout on observe quelques reliques ferrugineuses ovoïdes ressemblant aux colithes du Continental Terminal. L'isolement géographique paraît quelquefois parfait tel celui de dunes d'obstacles sur Birrimien à la frontière voltaïque (Ouro-Sawabé). Leurs sols ni leur granulométrie ne diffèrent de ceux des sites plus exposés aux apports. Il est donc probable que l'origine de ces matériaux, plasma et squelette, est surtout locale.

Un ensemble granulométrique, analogue au groupe 2, correspond aux dunes d'obstacles, cordons, modelés réticulés sur schistes et granites :

modes principaux : 0,251-0,282 mm; $y'_m = 13,5-16,5$
 modes secondaires : 0,174-0,200 mm; $y'_m = 12,0-14,0$
 0,070 mm ; $y'_m = 7,5$
 0,720 mm ; $y'_m = 2,5$
 asymétrie : 0,1-0,38 (moyenne : 0,28)
 acuité : 0,26-0,27
 médianes : 0,174-0,234 mm; moyennes : 0,166-0,214 mm
 SO : 1,50-1,65 ; S : 2,5-3,1

Dans les plaines sableuses, les remblais éolisés (Boulkagou) sur granites, les courbes de fréquence s'apparentent au groupe 2' :

modes principaux : 0,158-0,186 mm; $y'_m = 17-21$
 modes secondaires : 0,275 mm; $y'_m = 16$
 0,800 mm; $y'_m = 2-7\%$
 asymétrie : -0,21 à -0,51; acuité : 0,15-0,24
 médianes : 0,162-0,184 mm; moyennes : 0,169-0,208 mm
 SO : 1,48-1,56 ; S : 2,3-3,1

4.5635 Propriétés d'ensemble

Les taux d'argile et limon sont en moyenne de 15% dans les horizons B ou BC; les minima, de l'ordre de 6%, sont vraisemblablement plus proches des valeurs antérieures à toute pédogenèse.

Les modes révèlent quatre composantes communes :

- a - étalée de 120 à 230 microns, centrée entre 160 et 180, elle existe toujours, comme mode principal ou mode immédiatement inférieur;
- b - étalée de 230 à 370 microns, centrée entre 250 et 280, elle est moins fréquente comme mode principal; elle accompagne souvent la précédente comme mode subordonné;
- c - étalée entre 70 et 90 microns, elle ne donne que des sommets médiocres et inconstants;
- d - autre mode accessoire, étalé entre 0,63 et 0,8 mm, fréquemment remplacé par une queue de courbe très étalée; il est dû aux sables grossiers qui s'accumulent en ridules à la surface des formes vives.

Une fraction (a, b) est le plus souvent prépondérante ($y'_m = 13-25\%$); elle dessine le corps de la courbe de fréquence qui est déformée par un mode secondaire (a, b; $y'_m = 9-12\%$) ou accessoire (c, d; $y'_m = 5-10\%$). Ce n'est que sur le Crétacé Continental que deux modes sont suffisamment distincts pour évoquer le mélange de deux populations distinctes. Selon que la composante fine (a) ou moyenne (b) domine, l'asymétrie est négative ou positive. Le coefficient d'acuité est généralement plus faible que celui d'une courbe normale; la dispersion est faible ($SO = 1,35-1,75$).

Les composantes fluctuent en taille et en fréquence dans les profils sans que les proportions relatives des dominantes (a, b) et l'allure générale des courbes soient modifiées. Les modes extrêmes dus aux composantes accessoires (c, d) peuvent être éliminés des horizons de surface tout comme des profils sommitaux des toposéquences. Ces variations sont quelque peu amplifiées le long des pentes sans changer d'échelle, sauf au niveau des points bas où les proportions des modes principaux peuvent être inversées. Elles sont dues à un effet croissant du vent sur les crêtes et les épipédons, sites et matériel prédisposés aux reprises éoliennes.

Les fractions constitutives changent en nombre et en importance relative d'une toposéquence à l'autre, sans relation constante avec les facteurs externes. L'unité n'est plus que statistique à l'échelle du substrat géologique où l'une ou l'autre des composantes principales est plus commune. Dans quelques cas, cette dominante possède une

distribution spéciale qui donne un aspect original à la courbe de fréquence (dunes sur grès crétacés, sur grès de Bandé). Cette répartition géographique, la dominance des composantes les moins fines (b) dans les dunes recouvrant les matériaux les plus grossiers (Crétacé, socle) et inversement sont en faveur d'une origine locale des sables, confirmée par les singularités chimiques et morphologiques dues à un plasma minéral autochtone. La filiation n'est pas directe de la roche, même la plus tendre, aux sables dunaires; les modes ne sont généralement pas repris d'un ensemble à l'autre, des formes de courbe disparaissent. Sur grès Ct.3, l'essentiel de la transformation s'est produit dans les sables argileux du recouvrement, c'est-à-dire dans la génération de sols ferrugineux lessivés antérieurs aux dunes E.1, par mélange des produits de délapidification des grès et vraisemblablement de la cuirasse supérieure. Le vent a centré la sélection des tailles entre des limites plus étroites et vanné une forte proportion des éléments limoneux et argileux.

4.57 S a b l e s d e s d u n e s h a u t e s E.2

4.571 Variations dans le profil (fig. 129)

Elles ont été estimées sur cinq profils de cordons et bourrelets du Niger occidental. Les courbes de fréquence se conservent d'un horizon à l'autre avec une fidélité qui peut être plus grande que dans les dunes E.1 et sont caractéristiques de chaque profil. Les limites des variations des paramètres principaux sont les suivantes :

y'_m : 8 à 22% de la plus petite valeur
 abscisse du mode principal : 0 à 2 alpha
 médianes : 0,35 à 1,3 alpha (moyenne : 0,7)
 S : 0,09-0,18
 As : 0,01-0,39

Plus régulières que dans les sables des dunes émoussées, elles peuvent être interprétées avec plus de précision :

- la fréquence modale croît significativement vers la surface dans trois cas sur quatre

- le mode est plus fin en profondeur, la différence

étant statistiquement douteuse

- cette tendance est suivie par la médiane, significativement plus petite en profondeur; elle affecte tout le profil et non un groupe d'horizon particulier

- dans trois profils, la dispersion augmente en profondeur; dans les deux autres, la variation est inverse et plus douteuse

- l'asymétrie fluctue entre des limites étroites.

Ces variations peuvent être traduites par des modifications des composantes élémentaires de la courbe de fréquence (pl. 57)

- la plus grossière est centrée vers 0,5-0,7 mm; de l'ordre de 10% du total elle ne donne qu'une queue de courbe ou un mode accessoire

- la plus importante, de l'ordre de 50%, forme le mode principal le plus fréquent, entre 0,22 et 0,28 mm

- la troisième, variant autour de 0,09-0,14 mm, étale le corps de courbe vers les petits diamètres.

La grossièreté est accrue vers la surface par accroissement de l'importance relative de la fraction centrale, parfois par décalage des modes vers les grandes tailles. La dispersion est accrue en profondeur lorsque la composante fine est hétérogène et se bossèle en modes secondaires; elle diminue l'asymétrie lorsque son poids est suffisant. On retrouve donc la même tendance que sur les dunes E.1 à la sélection vers la surface d'une classe granulométrique bien définie dans un matériel polymodal, non seulement dans l'épipédon, mais encore dans tout le profil.

4.572 Variations dans la toposéquence

4.5721 Cordons du Niger occidental

La courbe de fréquence est plus modifiée que dans le profil tout en restant reconnaissable. Les paramètres de tri varient également davantage :

y'_m : 21% de la plus petite valeur pour la moyenne des

profils, 16% pour les seuls horizons C; la variance totale revient pour 25% aux profils et pour 75% à la toposéquence.

modes : 0,8 alpha pour les moyennes, 2 alpha pour les C; 55% de la variance totale dans les profils, 45% dans la toposéquence.

médianes : 0,55 alpha ou 0,7 alpha pour les C; 20% de la variance revient à la toposéquence.

S : 0,44, ou 0,55 alpha pour les C; 85% de la variance revient à la toposéquence.

Asymétrie : 0,32, ou 0,21 pour les C; 60% de la variance se fait dans la toposéquence.

Le profil de bas de pente est significativement moins fin et trié par accroissement du mode accessoire grossier et amenuisement du mode central. Une observation semblable a été faite à propos des cordons du Niger oriental (Zinder-Takieta-Garagoumza) où les sables d'interdunes ont une granulométrie intermédiaire entre celle des sols sur grès et celle du massif dunaire.

4.5722 Rides transversales du Niger centre et est

Dans les petits massifs transversaux du Niger centre, la finesse et le tri diminuent dans les interdunes par réduction du mode principal (0,18 mm) développement d'un mode secondaire ici plus grossier (0,35 mm) et accroissement des grains de plus de 0,5 mm.

Ce sont au contraire les sables d'interdunes des ergs de hordure de la cuvette tchadienne (erg de Guidimouni, de la Korama) qui sont mieux triés et centrés autour du mode principal (0,2-0,3 mm). L'existence dans ces régions de dunes d'obstacles nettement moins hétérométriques que les "plateaux" sableux montrerait que le vent n'est pas le seul agent en cause. L'écoulement drainant le nappe phréatique aurait amélioré le tri des sables d'interdunes qui seraient comparables au niveau T.2 des Dallols dont ils possèdent les mêmes sols gris et bruns.

4.573 Variations régionales

4.5731 Cordons et bourrelets du Niger occidental

Sept granulométries d'horizons C de haut de pente sur dix s'apparentent au groupe 2 défini sur les dunes E.2, cela aussi bien sur le socle que sur la couverture sédimentaire :

modes principaux : 0,22-0,29 mm (moyenne : 0,26)
 $y'_m = 14-20$
 modes secondaires : 0,12-0,18 mm (moyenne : 0,15)
 $y'_m = 12-15$
 0,077-0,089; $y'_m = 8-14,5$
 0,6 -0,7 mm; $y'_m = 1-5$
 asymétrie : -0,06 à 0,26; acuité : 0,25-0,29, une valeur à 0,17
 SO : 1,45-1,56 S : 2,30-2,90
 médianes : 0,152-0,206; moyennes : 0,154-0,206.

Les autres sont voisines de celles du groupe 2', également sur grès, granites et schistes :

modes principaux : 0,153-0,174 mm; $y'_m = 13-22\%$
 modes secondaires : 0,63 mm; $y'_m = 5$
 asymétrie : -0,05 à -0,36; acuité : 0,24-0,26
 SO : 1,34-1,58 S : 2,0-2,9
 médianes : 0,153-0,180 mm; moyennes : 0,158-0,187 mm

Certains individus en sont très bien triés et leptokurtiques.

4.5732 Rides transversales du Niger central

Sur Continental Crétacé, la granulométrie inverse les modes des dunes E.1 locales :

modes principaux : 0,16-0,19 mm; $y'_m = 18-25\%$
 modes secondaires : 0,33-0,38 mm; $y'_m = 9-15$
 asymétrie : 0 à -0,5 : SO = 1,20-1,50

La même distribution s'observe sur les dunes d'Eidir à l'ouest de Tahoua, sur le sidérolithique (Ct.1) où de très nombreuses oolithes ferrugineuses forment la phase grossière.

Une distribution de type 2' extrêmement triée ($S = 0,9$) a été observée sur le sommet remanié d'une grosse dune de la région de Samia, à l'est de Dakoro.

4.5733 Rides transversales du Niger oriental

Elles sont caractérisées par des courbes de fréquence

très régulières, pratiquement unimodales, peu dispersées, à grossièreté un peu plus élevée au nord, sur le prolongement du grand erg de dunes transversales du Manga-Kanem (ergs de Gouré, de Guidimouni, de Toufafi-ram) qu'au sud (ergs du bassin de la Korama).

modes principaux :

nord : 0,256-0,355, moyenne 0,309 mm; $y'_m = 25$
sud : 0,200-0,250, moyenne 0,240 ; $y'_m = 26$
asymétrie : 1,5-1,9 (nord) - 0,4-1 (sud);
acuité : 0,25-0-27
SO = 1,41-1,47 (nord) - 1,25-1,35 (sud)
S = 1,47 en moyenne (nord) - 1,3 (sud)
médianes : 0,355 mm (nord) - 0,280 (sud).
moyennes : 0,325 mm (nord) - 0,269 (sud)

Les sables des dunes transversales de Mao, terminaison orientale de l'erg du Manga-Kanem en République du Tchad, ont une granulométrie très proche de celle des sables de l'erg de Gouré-Guidimouni :

médianes : 0,390 mm; moyenne : 0,327 mm
asymétrie : 1,0 ; acuité : 0,27 (B.DUPONT,1967)
SO : 1,85 ; S : 2,15

ce qui est un des multiples aspects de l'homogénéité surprenante de ce vaste ensemble.

4.574

Caractères communs

Les taux d'argile et de limon sont en moyenne de 5% dans les horizons C ou BC; les minima, de 3%, sont une meilleure estimation des taux antérieurs à toute pédogénèse.

Les modes définissent les composantes suivantes :

a - étalée entre 0,12 et 0,19 mm, centrée entre 0,14 et 0,175 mm, elle est plus souvent le mode secondaire que le mode principal

b - étalée de 0,200 à 0,355 mm, elle se centre entre 0,22-0,28 mm, ou entre 0,25-0,355 mm (erg du Manga); elle fournit le mode principal le plus commun

c - étalée entre 0,075 et 0,090 mm, elle donne un mode

accessoire ou se confond plus ou moins avec la composante a;

d - très souvent une queue de courbe ou un mode accessoire se situe vers 0,5-0,7 mm;

La fraction b est prépondérante ($y'_m = 14 - 20\%$) sauf sur grès crétacés et en quelques points des grès Ct.3 où elle est remplacée par la fraction a ($y'_m = 13-25$). Toutes deux peuvent donner un mode secondaire ($y'_m = 9-15$). La fraction la plus fine c dessine des modes accessoires plus développés que ceux de la fraction la plus grossière d ($y'_m = 5-14$ contre 1-5) mais moins fréquents. L'asymétrie est positive ou négative selon que la fraction b ou a domine (-0,5 à 0,55). L'acuité oscille entre 0,24 et 0,29. La dispersion est faible ($SO = 1,20-1,58$) particulièrement dans quelques types unimodaux sommitaux du type 2', à fraction a dominante où SO atteint un minimum de 1,15.

Le nombre et les proportions des composantes sont suffisamment stables dans les profils pour que les courbes de fréquence en demeurent caractéristiques. Une tendance à la sélection de la fraction b a été décelée sur les dunes du Niger occidental. Ces variations augmentent dans la toposéquence, notamment pour les paramètres de tri, par accroissement relatif du mode secondaire (a, b) et du mode accessoire grossier (d). Les sillons interdunaires bordant la cuvette tchadienne font exception par leurs sables mieux triés. A cela près, le matériel est plus homogène en haut de pente et dans les couches superficielles, indépendamment de l'organisation en horizons.

D'une toposéquence à l'autre, les fractions constitutives ne changent que rarement en nombre et en importance relative de telle sorte qu'un seul type de courbe s'étend à de très vastes régions. La forme 2, à fraction b dominante, s'étend à tout le Niger occidental et, dans une variante très triée, à l'erg du Manga et à ses prolongements. La forme 2', à fraction a dominante, se cantonne aux grès crétacés grossiers du Niger central et à quelques points du Continental Terminal. Il est encore possible que des nuances telles que l'affinement du mode des rides transversales dans le bassin gréseux (Ct.3) de la Korama spient dues au substrat, mais dans l'ensemble l'influence de ce dernier est très diminuée par rapport à ce qu'elle était pour les dunes E.1.

4.575 Comparaisons avec les sables des dunes E.1

4.5751 Comparaisons locales (Niger occidental)

Les sites rapprochés des deux types de dunes sont ordinairement situés sur la direction transversale, ce qui ne garantit rien quant à la communauté d'origine des sables. De ce fait, nous n'avons étudié qu'un cas de succession longitudinale d'une dune d'obstacle E.2 située à l'ouest d'un ensablement aplani E.1, sur versant gréseux (Ct.3) de la région de Say. Les deux granulométries sont formées de trois composantes; par inversion de la fraction principale, on passe du type 2' de la dune E.1 au type 2 de la dune E.2 qui ainsi a concentré les sables de taille moyenne.

	E.1 (NL 50)	E.2 (NL 51)
composante a		
mode	0,158	0,126
taux	61	30
composante b		
mode	0,320	0,320
taux	22	57
composante c		
mode	0,076	0,076
taux	17	13
médiane	0,164	0,206
SO	1,58	1,61
asymétrie	- 0,31	0,26

Cette transformation a été retrouvée entre les horizons C de profils sommitaux transversalement disposés, l'un sur cordon E.2, l'autre sur plaine sableuse ondulée E.1 (NO 70-68); nous avons vu qu'elle existe également entre les cordons E.1 et les plaines sableuses des mêmes régions. Lorsque la répartition en E.1 est déjà du type 2, la fréquence modale (b) augmente en E.2, tri et finesse étant aléatoirement modifiés. Cela a été observé de couples transversaux sur grès Ct.2-3 : une queue grossière, due à une concentration de grains très roulés, peut accroître légèrement la dispersion en E.2 (NI 66-71); le mode b peut être légèrement plus fin et mieux trié en E.2, améliorant ces deux caractéristiques (NM 27-28).

Il existe ainsi la même relation entre les deux ensembles qu'entre les profils extrêmes des toposéquences. Elle exprime un parallélisme entre le type de distribution et l'élévation topographique moyenne, entre l'action du vent sur la granulométrie et sur la forme dunaire.

4.5752 Comparaison d'ensemble
.....

Le taux des fractions inférieures à 50 microns est nettement plus faible en E.2, ce qu'en première approximation on attribue à un meilleur vannage du matériau. Ils ne sont cependant pas strictement corrélés avec la granulométrie des sables et l'élévation moyenne des formes. Les cordons E.1 du Niger occidental possèdent des sables très voisins de ceux des cordons E.2, peuvent être localement aussi élevés, mais sont plus riches en argile et limon en C ou BC. Le hasard d'un profil très profond également fait découvrir que la base des sols sur E.1 pouvait être aussi pauvre que celle des sols sur E.2 de la même région :

	E.1 (NJ 18)		E.2 (NJ 19)	
	B, 40 cm	C, 270 cm	B, 35 cm	C, 170 cm
0-2 microns	7,5%	2%	3,5%	3%
2-20	1,0	t	1,5	0
20-50	3,0	0,5	2,5	0,5

S'il reste très plausible que certaines parties initialement peu ondulées de E.1 ont pu être moins vannées que les grandes rides E.2, la différence des taux des fractions fines a été également créée ou accrue par la pédogenèse plus active en E.1.

Ce sont les mêmes composantes qui, localement ou généralement, forment les sables des deux ensembles dunaires. Les sables moyens b tendent à dominer sur les dunes E.2 dont les sables ont une distribution le plus souvent de type 2, à asymétrie positive. Les dunes sur Crétacé Continental font exception. Dans tous les cas, il existe un déplacement des modes d'un ensemble à l'autre :

- sur Crétacé, le mode principal passe de 0,33-0,37 mm en E.1 à 0,16-0,19 mm en E.2
- ailleurs le mode principal passe de 0,164-0,191 mm à 0,220-0,290 mm.

Les limites inférieures des paramètres de tri sont abaissées à cause de l'existence de types très bien triés aussi bien de forme 2 que 2', les premiers dans la cuvette tchadienne, les seconds sur quelques sites sommitaux. La conséquence normale du développement de la forme 2 est un léger accroissement de la grossièreté; il n'est statistiquement pas possible de le mettre en évidence. Dans l'ensemble, la granulométrie des dunes E.2 est plus uniforme et régulière que celle des dunes E.1 et par cela moins dépendante du substrat.

4.58 Comparaison de la granulométrie des dunes nigériennes fixées avec celle des dunes vives sahariennes et des dunes fixées ogoliennes

Les sables des dunes vives du Sahara nord occidental possèdent de nombreux points communs avec ceux des dunes nigériennes (H.ALINEN, 1957) :

- ils sont dépourvus de "poussière fine" inférieure à 0,05 mm
- des sables éoliens "primaires" plurimodaux conservant de nombreux caractères des sables ruisselés antérieurs se disposent en "socle" à la base de sables éoliens "secondaires" mieux centrés, ce qui n'est pas sans évoquer la situation relative de E.1 et E.2 (fig.61)
- les modes ont des valeurs et une hiérarchie voisines de celle de la distribution dominante en E.2, le type 2 :

modes :	principaux	secondaires	
dunes de bordure du grand erg	0,20-0,22	0,150	0,072-0,112
dunes "internes" du grand erg	0,260	0,180	0,11
petites dunes	0,18-0,21	0,13	0,085-0,55

La similitude avec les composantes a, b, c est évidente,

surtout en ce qui touche l'échelonnement des tailles. La fraction qui joue le rôle de b est en moyenne plus fine qu'au Niger. L'auteur estime également que les maxima secondaires de 0,056 à 0,085 mm, notre fraction c, sont caractéristiques des accumulations éoliennes.

- L'origine des dunes est locale, "sans grand déplacement". Ils diffèrent par leur tri, en moyenne deux fois plus élevé. L'ordonnée des modes principaux atteint en effet 36 à 42 dans le grand erg occidental et 21 à 48 dans les petites dunes, cela dans les sables "secondaires". L'allure des courbes est alors à mode fortement prépondérant gaussien ou leptokurtique, les modes secondaires étant extrêmement effacés. Ce très fort centrage est en rapport avec la démesure des accumulations sahariennes, qui atteignent 200 m dans le grand erg et sont encore hautes de 20 m dans les "petites" dunes.

Les rides longitudinales ogoliennes du Sénégal et de la Mauritanie, à sols identiques à ceux des dunes E.2, dépassent également les cordons nigériens par leur hauteur et leur extension. Les sables en sont centrés vers 0,295 mm (J. TRICART, 1961) et très fortement triés ($y'_m = 40$ environ). Plus au sud, à Dakar, nous avons observé un "spc" bimodal à paléosol hydromorphe fossilisé par une dune à sol jeune rubéfié et sables mieux triés :

	mode	y'_m	mode	y'_m
socle	0,263	24	0,182	25
dune rubéfiée	0,447	9	0,178	54

Comme sur les grès crétacés du Niger, nous retrouvons le centrage des sables E.2 sur le mode fin (a) et non sur le mode b plus grossier qu'il n'est habituel. Le tri est ici encore très supérieur.

Les sables éoliens sont une combinaison de trois ou quatre fractions qui évolue par centrage progressif autour de l'une d'elles, située le plus souvent entre 0,2 et 0,3 mm. Il est possible que par inter-réaction des composantes, l'héritage du matériau de départ puisse être transmis jusqu'au stade final qui peut être occasionnellement plus fin. La granulométrie des dunes fixées nigériennes s'est arrêtée à un niveau inférieur dans son évolution, tout comme la topographie éolienne n'acquerrait pas l'ampleur

des grandes formes sahariennes si ce n'est dans l'erg du Manga. L'érosion ultérieure a pu ajouter quelque chose à cette différence mais n'a pu la créer à elle seule. Elle n'a pu changer les dimensions des ergs, qui restent relativement médiocres. On concevrait mal qu'elle ait pu, par simple brassage, disperser des sables très évolués dont l'homogénéité à l'échelle de l'erg n'est pas, selon H. ALIMEN, inférieure à celle de la toposéquence. L'Ogolien a conservé un tri excellent bien qu'il soit une espèce de musée de toutes les formes d'érosion hydrique et éolienne. On admettra donc que l'évolution supérieure des sables sahariens n'a été acquise au Niger qu'où on l'observe actuellement, sur quelques crêtes. Comme le vannage de l'argile et du limon est très précoce, acquis bien avant le tri des sables dans des édifices mineurs, il faut chercher l'origine première des différences de l'évolution pédologique ailleurs que dans celles de l'évolution sédimentologique. Elle a pu cependant intervenir indirectement en localisant les sites des remaniements éoliens aux zones dont les sables étaient déjà les mieux classés : grandes dunes, portions sus-jacentes au "socle", crêtes.

4.59 S a b l e s d' é d i f i c e s

é o l i e n s m i n e u r s

4.591 Nebka du Djermaganda

Pendant la saison sèche le vent accumule en buttes métriques les sables arrachés par le ruissellement d'hivernage aux sols ferrugineux lessivés du Djermaganda (p. Hautes de 2 m, larges de 30 m sous le vent et de 10 m au vent, elles sont obliquement stratifiées de lits millimétriques alternativement plus fins et épais soulignés de raies ferrugineuses. Cette apparence se retrouve dans la granulométrie bimodale des sables où un mode moyen b s'ajoute au mode fin a des sables du sol ferrugineux lessivé, en augmentant la grossièreté et la dispersion d'ensemble :

		mode a	y'm	mode b	y _m	Assym.	Acuit.	Méd.	SO
Nebka	NK 581	0,188	18,5	0,257	14	-0,19	0,24	0,224	1,45
Sol ferrugineux lessivé	NK 705	0,156	22			-0,3	0,25	0,156	1,40

La distribution originelle 2' est en voie de transformation en type 2. Le taux de l'argile et du limon, initialement

de 22%, est abaissé à un taux dunaire de 9,5%.

4.592 Bourrelet de l'Azaouak

Il est situé en rive ouest de cette vallée morte et se distingue des formations similaires bordant Dallols et Goulbis par des sols non rubéfiés estimés plus juvéniles. Sa granulométrie est douteusement moins proche de celle d'échantillons du niveau de remblai T.3 que de celle des dunes E.2 locales :

	mode a	y'm	mode b	y'm	Assym.	Acuit.	Méd.	SO	A+L
Bourrelet NI 553	0,141	17	0,257	20	-0,17	0,29	0,191	1,55	3,5%
Niveau T.3 NI 685	0,191	16	0,257	17,5	0	0,31	0,202	1,52	4,5
Dune E.2 NI 715	0,155	14,5	0,257	15	-0,1	0,29	0,186	1,55	3,5

Cela s'accorde, sans la prouver, avec l'opinion déduite des examens de terrain que le bourrelet était postérieur à la pédogenèse en E.2 et T.3 et avait pu recevoir des apports des sables éolisés de la vallée.

4.593 Barkhanes vives de Tal

Elles forment des champs de quelques kilomètres carrés à la crête du cordon périlacustre de "320 m". Elles conservent la granulométrie unimodale et leptokurtique du cordon tout en augmentant la finesse et le centrage :

cordon mode : 0,209 mm y'm : 35 A + L = 1,5%
 barkhane . 0,155 42 0,3-0,8

4.594 Conclusions

Plus que de préciser certains détails, on attendait de ces granulométries de définir le taux d'argile et limon de matériaux dont l'origine éolienne était récente et certaine. Il est rapidement abaissé, dès le stade nebka, à un niveau qui est inférieur ou égal à celui des horizons C des dunes E.2. On en conclut que la différence qu'il montre entre E.1 et E.2 est surtout d'ordre pédogénétique, que les remaniements éoliens même modérés détruisent non seulement les sols mais limitent les possibilités d'évolution du nouveau matériau.

avons noté un affinement de 0,1 à 0,9 alpha de la moyenne vers la surface et une variation aléatoire dans un sens ou l'autre de la dispersion (0,13 à 0,16 alpha).

- Dans un sol brun à modelé superficiel bosselé par le vent la composante grossière croît progressivement de 14 à 20% du total vers la surface en augmentant la grossièreté et la dispersion d'ensemble (NI 51).

4.51013 Dallol Maouri

Les courbes de fréquence sont constituées de la même façon que dans le Dallol Bosso mais décalées vers les petites tailles et mieux centrées.

Mode principal : 0,29 mm ; $y'_m = 16-33$
Mode secondaire : 0,62 mm ; $y'_m = 8$
assymétrie : 0 à - 0,6; acuité : 0,23-0,26
médiane : 0,28-0,34 mm; moyenne : 0,28-0,37 mm
SO = 1,25-1,31; S = 1,62-1,92

4.51014 Vallée du Niger

Des levées à sols bruns et des sables blancs emboitant des alluvions argileuses forment le niveau T.2 près de Niamey; à Sya, il est constitué d'une banquette à sols ferrugineux peu évolués. Les courbes de fréquence sont unimodales, leptokurtiques, à assymétrie négative. Les tailles sont plus fines sur les levées que dans les fonds, à Sya qu'à Niamey, différences tenant aux conditions locales de dépôt. La grossièreté croît en profondeur.

Modes principaux : 0,42-0,56 mm (N); $y'_m = 33-42$
0,18 mm (S); $y'_m = 30$
assymétrie : - 0,5 à - 1; acuité : 0,23-0,25
médianes : 0,48-0,56 mm (N); moyennes : 0,54-0,60 mm
0,22 mm (S); 0,23 mm
SO = 1,24-1,30; S = 1,40-1,56

La parenté des deux formations est vérifiée par l'existence de sables moyens proches de ceux de Sya dans des lits interstratifiés dans les graviers situés sous les sables de Niamey :

modes : 0,333 et 0,193 mm; assymétrie : - 0,1; acuité : 0,21;
médiane : 0,196; SO = 1,37

4.51015 Résumé

Les taux des fractions de moins de 50 microns sont compris entre 1 et 9%, les minima étant vraisemblablement abaissés par éluviation de nappe.

La partie commune des courbes de fréquence est un corps presque symétrique, leptokurtique, peu dispersé, flanqué d'une queue ou d'un mode secondaire vers les grandes tailles. Cette forme simple est celle de sables du Niger transportés dans le fonds du fleuve. Elle s'étale davantage vers les petites tailles dans les sables de Dallols et se complique de modes secondaires qui lui donnent quelque ressemblance avec une courbe de sable dunaire. Une légère augmentation de la grossièreté vers la profondeur dans les deux premiers mètres correspond au classement vertical de la formation dont la base est formée de graviers. La variation inverse a été observée sur des aires à mode-
lé éolien mineur où elle correspond effectivement au maigrissement des composantes fines et centrales. Cela n'ayant jamais été observé sur les accumulations éoliennes du Niger, il reste à l'attribuer à la déflation dont le bourrelet de l'Azaouak (p. 56 voisin démontre l'existence.

Composantes :

0,3-0,4 mm : mode principal des Dallols et Goulbis
0,15-0,18 mm : mode secondaire; mode principal à Sya
0,40-0,7 mm : mode secondaire (0,55-0,70); mode principal à Niamey
 $y'_m = 16-33$ (Dallols) $33-42$ (Niger)
 $SO = 1,20-1,46$

4.5102 Les sables du niveau T.3

4.51021 Dallol Bosso ou Azaouak

Les sables des buttes à sols rubéfiés découpées par les dépressions T.1 dans la partie moyenne du cours (région de Baleyara) ne diffèrent pas de ceux du niveau T.2. Les sables des banquettes latérales à sols rouges de l'Azaouak sont nettement plus fins :

modes principaux : 0,18 ou 0,26 mm; $y'_m = 17-22$
modes secondaires : 0,11 ou 0,19 mm; $y'_m = 15-16$
assymétrie : 0 à 0,8; acuité : 0,27-0,31

médianes : 0,18-0,20 mm; moyennes : 0,177-0,20
SO = 1,37-1,52; S = 2,13-2,35

Cette granulométrie est comparable à celle du groupe 2 des dunes E.2. Elle fluctue aléatoirement dans le profil entre des limites très étroites (NI 50, médiane de 0,174 à 0,178, SO de 1,34 à 1,41).

4.51022 Dallol Maouri

Au nord de Dogondouchi le modelé superficiel est dunaire et la granulométrie des sables est exactement celle des dunes E.2 locales (mode principal 0,15 à 0,17 mm, mode secondaire 0,31 à 0,33, As : - 0,15 à - 0,4, SO = 1,4-1,5). Plus au sud, sur les banquettes à sols rouges concrétionnés de la série de Kaniagoma, la répartition des sables est unimodale ou à mode principal très prépondérant, à assymétrie négative ou fluctuant autour de 0 :

modes principaux : 0,17-0,20 mm; $y'_m = 24-32$
mode secondaire : 0,65 ; $y'_m = 2$
assymétrie : 0,2 à - 0,6; acuité : 0,23 - 0,26
médianes : 0,175-0,197; moyennes : 0,17-0,21
SO = 1,26-1,30; S = 1,50-1,72

Elle ne diffère de celle du niveau T.2 que par sa finesse. Dispersion et grossièreté augmentent légèrement vers la surface, la médiane de 0,175 à 0,180, SO de 1,50 à 1,58, par accroissement du mode accessoire de 0,6 mm.

4.51023 Petites vallées sur grès du Niger occidental

Elles ne diffèrent des Dallols que par leurs dimensions réduites. La granulométrie des sables en est fort proche de celle du groupe 2 des dunes E.2 :

modes principaux : 0,260-0,295 mm; $y'_m = 17-24$
mode secondaire : 0,188 ; $y'_m = 13$
assymétrie : 0,27-0,32; acuité : 0,24-0,31
médianes : 0,237-0,245; moyennes : 0,234-0,244
SO = 1,35-1,56; S = 1,9-2,75

Elle coïncide avec un modelé dunaire distinct et une situation sahélienne.

4.51024 Vallée du Niger

L'équivalent topographique du niveau T.3 des Dallols est

un remblai à sols ferrugineux rubéfiés dont certaines sections seulement, sans doute parce que plus sableuses, ont été modelées en buttes éoliennes très basses (Ayrou, Niamey, Sya). Leurs sols en sont nettement moins pauvres en argile que ceux des Dallols. La granulométrie des sables en est peu dispersée, unimodale, symétrique ou à asymétrie nulle, plus fine que celle des sables T.2 locaux :

modes principaux : 0,129-0,176 mm; $y'_m = 24-31$
assymétrie : 0 ou - 0,16; acuité : 0,17-0,24
médianes : 0,129-0,176
SO = 1,22-1,32; S = 1,31-2,05

La dispersion et la grossièreté sont légèrement plus élevées en surface; exemple : médiane de 0,129 à 0,138 mm; SO de 1,3 à 1,55.

4.51025 Divers

Les sables de la terrasse de Maradi, à sols ferrugineux évolués, sont comparables à ceux du niveau T.2 des Goulbis du Niger central. Il en est de même de ceux du Rafi, exutoire des vallées de l'Ader Douchi. Les deux bassins ne sont pas exclusivement gréseux.

4.51026 Résumé

Les taux d'argile et limon sont compris entre 1 et 9,5% dans les Dallols et Goulbis, entre 16 et 21% dans la vallée du Niger, le Goulbi de Maradi, le Rafi. La pauvreté du niveau T.3 est donc spécifique des grès continentaux.

La granulométrie est celle du niveau T.2, ou en conserve la forme tout en étant plus fine, ou approche de celle du groupe 2 des dunes E.2 dans les sections sahéliennes des Dallols Maouri et Bosso et de leurs affluents. Elle est légèrement plus grossière et dispersée en surface, effet possible de la déflation. Ses composantes les plus communes sont :

0,129 - 0,176 mm, $y'_m = 23-32$ pour les granulométries unimodales peu dispersées

0,18-0,29 mm, $y'_m = 17-24$

0,11-0,19

0, 31-0,33 pour les granulométries de type 2.

La dispersion (SO) est de 1,22-1,32 dans le premier ensemble, 1,35-1,56 dans le second.

4.5103 Les sables fins des petites vallées de la dépression de Dosso

Sur des sables blancs, modelés en buttes, analogues ou légèrement mieux triés que les sables dunaires locaux, se sont déposés des sables limoneux à sols hydromorphes peu évolués actuellement desséchés. Ce matériel est pédologiquement analogue aux dépôts palustres très fins mais non argileux de dépressions situées dans le Manga ou certains massifs de rides transversales E.2. Il serait un équivalent des argiles de décantation T.1a du Niger et de l'Azaouak, dans des bassins à sols presque exclusivement arénacés.

Des sables limoneux, unimodaux et à assymétrie négative, puis des sables fins, unimodaux et symétriques, puis des sables bi-modaux constituent les coupes de haut en bas :

	mode	y'm	médiane	SO	assymétrie	acuité	argile + limon
sables limoneux	75-94	17-23	96-138	1,35-2,12	-0,53 à -1,18	0,23-0,19	51-54%
sables fins	124-194	22-29	124-188	1,24-1,32	0,06 à 0,12	0,24	4-29
sables	266	20	200	1,41	-0,13	0,29	3
	200	17					

Cette séquence correspond à un tarissement progressif des cours d'eau.

4.5104 Conclusions

Les alluvions superficielles des Dallols et Goulbis sont caractérisées par des sables bien triés leptokurtiques, centrés sur de plus grandes tailles en T.2 (0,3-0,5 mm) qu'en T.3 (0,15-0,20). L'élimination des sables très fins et des limons, traduite par une assymétrie négative, les assimile à des dépôts de fond fluviatiles.

La morphoscopie apprend que les sables T.2 sont empruntés à l'ensemble de la couverture pédologique locale, dunes et

sols d'altération. Son homogénéité granulométrique est donc le fait d'un écoulement longitudinal constant d'une vallée à l'autre. L'extension de ses tailles confirme qu'il n'a pu être arraché aux seules accumulations éoliennes mais aussi aux sables argileux de recouvrement. Il est possible que la séquence complète comprenait à la base des graviers à lits sableux (Niamey) puis des sables grossiers, enfin des sables plus argileux au sommet dans les bassins non entièrement gréseux, sinon des sables plus fins. Cette partie supérieure formerait le matériau des niveaux T.3 du Goulbi de Maradi, du sud du Dallol Maouri, du Niger. Son modelé superficiel a partout été éolisé mais les granulométries 2 des dunes E.2 n'apparaissent qu'en région sahélienne principalement dans l'Azaouak et le haut Dallol Maouri où de véritables dunes se sont formées. Ailleurs l'effet du brassage superficiel a été d'étaler la distribution et d'en augmenter la grossièreté, ce qui peut être une conséquence de la déflation. La surface actuelle de T.2, à sols juvéniles, a été ensuite façonnée au niveau des sables grossiers par incision ou par remaniement (Sya).

Dans les plus petites vallées sur grès, l'écoulement n'a pas été suffisant pour véhiculer des sables grossiers et ce sont presque des limons qui se sont tardivement accumulés au-dessus des sables dunaires.

4.511

L e s s a b l e s d e s r e m b l a i s s a b l o - a r g i l e u x

Le long de la Mekrou un remblai de "limons" rubéfiés emboîte des sables argileux gris hydromorphes dominant eux-mêmes de quelques mètres la levée de débordement actuelle. Les limons rouges du remblai supérieur ont leur équivalent le long du Niger dans la région de Kou-lou où des buttes étirées emboitant des argiles portent des sols ferrugineux peu lessivés à pseudogley bien évolués et passent latéralement au niveau T.3 éolisé local (Sya).

Toutes les courbes de fréquence sont centrées vers les sables très fins ou les limons grossiers et s'étalent plus ou moins, mais toujours nettement, vers les grandes tailles, d'où une assymétrie invariablement négative. Les modes les plus fins n'apparaissent que si on tient compte des fines non sableuses. Sinon la courbe de fréquence est alors amodale, de type hyperbolique (coefficient

N de A. RIVIERE de -0,25 à -1,25). Les variations verticales sont habituellement faibles et aléatoires. Un seul échantillon (NL 44) a montré un tri et une finesse supérieurs en profondeur. Le matériel correspondant aux sections sur socle (amont de la Mekrou, Niger) est plus grossier et moins bien trié que celui du "coude" de la Mekrou, creusé dans la base du Continental Terminal et les très fines altérites sous-jacentes. Les granulométries des divers niveaux sont plus proches sur le même profil transversal que d'une section à l'autre, ce que la morphoscopie attribue à une origine commune et locale.

	mode principal	y'_m	médiane	SO	assymétrie	acuité	argile + limon %
Mekrou, amont							
remblai inf.	67	26	90	1,42	-0,99	0,22	72
remblai sup.	67	27	121	1,90	-0,96	0,16	69
Mekrou, coude							
levée actuelle	63	45	73	1,12	-0,9	0,24	60
remblai sup.	71	49	71	1,18	-1,8	0,05	39
Niger, remblai sup.	118	13	164	1,64	-0,25	0,21	39

Ces remblais sont dus au tarissement de l'écoulement qui avait mis en place les graviers sous-jacents, le remblai supérieur correspondant ainsi avec le niveau T.3 des Dallols. Leur granulométrie diffère essentiellement par la finesse de celle des alluvions des vallées sèches. Comme des dépôts analogues mais plus tardifs se sont mis en place dans les petites vallées sur grès de la région de Dosso, cela ne peut être attribué à la nature du bassin mais au régime de l'écoulement et à l'intensité de l'érosion, l'une plus modérée et l'autre moins brutale dans les régions méridionales ou pendant les périodes sèches mineures postérieures à la mise en place des dunes. Cette hypothèse est appuyée par le remplacement de ces "limons" par des sables argileux à granulométrie de matériel dunaire (cf. p. 33 dans les remblais des rivières du socle plus septentrionales. Elle est moins bonne pour la vallée du Niger, où se juxtaposent les deux types de dépôts, sauf à imaginer que la sédimentation fut influencée par les grands affluents, les uns à remblai sablo-argileux, les autres à bourrage plus purement sableux. Finalement les influences sur la granulométrie de la nature du bassin, de la latitude et du temps peuvent être schématisées ainsi :

	Grès	Socle, Ader Douchi	Régions méridionales
T.3	A+L < 9,5%	16 < A+L < 21	39 < A+L < 69
	0,130 mm < modes < 0,290 mm		0,063 < modes < 0,118
T.1	51 < A+L < 54 0,075 < modes < 0,095	argiles	entaille

4.512 Les sables de la
cuvette tchadienne

En aval de la bordure de rides transversales (p. 48 se succèdent les plaines du Manga, à sols brun-rouge, les formations péri-lacustres de Tal et Sayam à sols bruns et sols éoliens, les alluvions du Kadzel, les plus anciennes à sols brun-rouge évolués, les plus récentes à sols hydromorphes et sols bruns, les alluvions de la Komadougou, à sols hydromorphes et halomorphes. Des buttes éoliennes à sols bruns parsèment également les alluvions rubéfiées du Kadzel.

	modes principaux	μ ym	μ médiane	assymétrie	SO	acuité	argile +lim.
Plaines du Manga	204-155 μ	27	182-222	-0,05 à +0,2	1,21-1,33	0,23- 0,28	1-5
plage de Sayam	174-210 μ	35		-0,1	1,24	0,22	1-2
cordon de Tal	151-182 μ	42		0	1,21-1,25	0,22	<1
alluvions du Kad- zel et de la Komadougou rubéfiées	119-129 μ	37	127-158	-0,2 à +0,2	1,24-1,25		6-12
buttes brunes	121-132 μ				1,23-1,24	0,23	1-2
hydromorphes	105-107 μ	34		0,3 à -0,5	1,23-1,27		5-70

Les sables du Manga sont d'une très grande homogénéité en dépit d'une très grande extension. Par leur pauvreté en argile et limons, leur finesse et leur tri, ils s'apparentent aux sables T.3 des Dallols. On rapproche leur asymétrie plus régulièrement positive de ce que leur surface est déformée de nombreuses formes d'accumulation

éoliennes mineures : cordons longitudinaux de petite taille, nebkas.

La venue de sables légèrement plus grossiers qui forment le matériel de la terrasse de Sayem et des plages récentes du nord du lac est attribuée à une rivière morte, la Dilia, issue du massif gréseux de Termit. Ils sont plus pauvres en fines et mieux triés que les sables du Manga. Les sables du cordon de Tal ont une distribution voisine mais décalée vers les petites tailles et encore moins dispersée, soit par l'effet des remaniements éoliens (cf. p. 56) soit par emprunt aux sables du Manga.

La finesse et les taux d'argile des alluvions du Kadzel les apparentent aux remblais des rivières méridionales. Ils croissent de la formation la plus ancienne, rubéfiée, aux alluvions les plus récentes hydromorphes, ces dernières indiscernables des dépôts de lit majeur de la Komadougou qui a donc pu mettre en place cet ensemble. Les matériaux des berges sont plus grossiers et à asymétrie positive, ceux des flats sont plus fins et à asymétrie nulle ou négative, ou encore amodaux et "hyperboliques". Les sables des buttes éoliennes à sols bruns sont légèrement plus grossiers et dispersés que ceux de leur substrat. Il en est de même de ceux des horizons, ici très étendus, remaniés par érosion anthropique :

	modes	S
horizons remaniés	0,120-0,123 mm	1,6
horizons en place	0,087-0,105	1,3-1,5

Des bordures au centre de la cuvette (pl. 62) les paramètres évoluent parallèlement dans le sens d'un accroissement du tri et de la finesse et de la diminution des effets du vent, des courbes leptokurtiques à assymétrie négative se substituant à des courbes à acuité normale et assymétrie positive. On peut y voir l'effet de l'assèchement à partir de ses marges d'une séquence sédimentaire normale. La diminution de la taille et de la dispersion des sables argileux recouvrant les grès aux sables des rides transversales, puis à ceux des plaines du Manga et enfin à ceux du remblai rubéfié du Kadzel, reflète celle des dépôts primitifs en fonction de l'éloignement des sources de matériau. En amont le vent donneit aux sables la distribution caractéristique des dunes E.2; en aval cette évolution étant empêchée par un retrait trop tardif des eaux ainsi que par la finesse, la cohésion superficielle des alluvions.

4.6 CONCLUSIONS

4.61 Classification

Les modes les plus fréquents des sables éoliens sont aussi ceux des populations normales élémentaires dont les distributions réelles sont les sommes fictives. Ils se répartissent en un petit nombre de classes, les composantes granulométriques, qu'il est possible d'étendre à l'ensemble des modes des sables en modifiant leurs limites :

		sables éoliens	ensemble des sables
composantes	a	120-230	120-200
	b	200-370	200-400
(en microns)	c	70-90	50-120
	d	500-800	400-800

Les populations extrêmes coïncident avec des stocks granulométriques réels. La plus grossière est celle des grains roulés concentrés en ridules et lits, celle des fragments de minéraux peu altérés. La plus fine est celle des poudres siliceuses individualisées en enduits cutiniques. Toutes sont préférentiellement liées à un mode de mise en place, la composante a au ruissellement, la composante b au vent, la composante c à un écoulement lent, au limonage, la composante d au transport sur le fond.

La classification des courbes de fréquence est fondée sur leur dispersion, sur la nature des composantes dominantes :

- le groupe 1 est formé de courbes unimodales, symétriques, peu dispersées, centrées sur l'une quelconque des composantes; elles sont très nettement leptokurtiques
- les groupes 2 correspondent à des courbes asymétriques centrées sur l'une ou l'autre des composantes a et b ou les réunissant; la composante b domine dans le groupe 2 d'asymétrie positive, la composante a dans le groupe 2 d'asymétrie négative; l'acuité est généralement supérieure à la normale

- les groupes 3 sont ceux des courbes dont le mode unique est d, b, parfois a (groupe 3') ou c (groupe 3); leur asymétrie est négative, leur acuité élevée, leur tri meilleur que dans les groupes 2 de mêmes modes
- les courbes rectangulaires, ou à modes multiples dont la fréquence diffère de peu de la constante 100/D, constituent le groupe 4 à dispersion élevée et faible acuité.

Le groupe 4 est celui des proluvions, des produits d'altération des roches cristallines. Le groupe 2' est fréquent dans les sables ruisselés issus des grès. Il s'associe au groupe 2 dans les dunes, ce dernier étant le plus commun en E.2. Les remblais les plus fins, à aspect de limons de débordement, entrent dans le groupe 3, les sables grossiers de T.2 dans le groupe 3'. La limite des groupes 2 et 3 est le groupe 1 lorsque la dispersion diminue. Elle est atteinte sur certaines crêtes dunaires, dans quelques lits alluviaux.

4.62 C a r a c t é r i s t i q u e s e t é v o l u t i o n d e s p r i n c i p a l e s f o r m a t i o n s

La délapidification des roches les plus tendres et le brassage des produits par le ruissellement homogénéisent les sables des grès qui, originellement répartis dans tous les groupes, se situeront surtout dans les groupes 2' et 3. Un certain gain de finesse peut être attribué à des emprunts aux sols très altérés de la surface supérieure mais dans l'ensemble les tailles sont encore celles de la roche-mère. Argile et limon ne sont pas éliminés.

Les fines sont au contraire vannées hors des dunes où une meilleure sélection réduit à a et b les composantes dominantes, augmente le tri d'ensemble principalement en E.2. La constance des proportions des modes donne une meilleure homogénéité au profil et à la toposéquence, si ce n'est dans quelques interdunes. L'élimination des modes accessoires c et d et de l'un ou l'autre des modes a et b est plus accentuée au sommet des profils et de la toposéquence, indépendamment de l'organisation en horizons, par effet croissant du vent sur les couches les plus superficielles et les plus exposées. Le mode principal varie

aléatoirement d'une toposéquence à l'autre mais est statistiquement défini en fréquence et taille sur chaque substrat géologique, ce qui est un des arguments en faveur de l'origine locale des dunes. Si le mode b est plus commun sur les supports les plus grossiers (socle cristallin, grès crétacés) la filiation n'est cependant pas directe des sables d'altération aux sables dunaires : certaines distributions (3, 4) sont éliminées et les dimensions modales plus ou moins modifiées. Cette dépendance s'atténue pour les dunes E.2 dont le mode dominant est presque toujours b; la conséquence en est un élargissement des régions homogènes qui sont l'ensemble du Niger occidental, le Crétacé Continental, la bordure nord de la cuvette tchadienne. La sélection du mode principal d'un type de dune à l'autre est de même nature que le long des toposéquences; il indique un parallélisme entre la granulométrie et la forme topographique, entre le type de distribution et l'élévation. On le retrouve en comparant les dunes nigériennes aux dunes fixées ogoliennes ou aux dunes vives sahariennes, toutes plus hautes et à sables plus triés. Il permet d'assurer que les dunes nigériennes étaient au départ moins évoluées dans leur relief et leur granulométrie, à l'exception partielle de l'erg du Manga-Kanem. La sélection du mode a se produit sur le cordon de Tal, où cette classe domine dans le matériel de départ, sur Crétacé et en quelques sites isolés. On suppose qu'elle est due, dans ces derniers cas, à un excès de grossièreté du stock b présent, ce qui sous entend une inter-réaction des différentes composantes. Cette influence réciproque est le correctif à l'hypothèse des composantes qui permet d'expliquer que certains caractères granulométriques restent régionaux tout en différant de ceux du matériau.

Le vannage de l'argile et du limon est acquis dans les édifices éoliens mineurs, avant l'édification du modelé dunaire, ce qui impose que la différence actuellement constatée dans les couches superficielles de E.1 et E.2 soit essentiellement pédologique.

Les niveaux T.2, sables grossiers du groupe 3', sont localement apparentés aux niveaux T.3 qui diffèrent par leur finesse et une éolisation plus ou moins forte (groupes 3' et 2). La granulométrie montrerait que les premiers forment la base des seconds, que d'autres critères pédologiques ou topographiques indiquent comme tardivement remaniée ou réincisée. Les remblais du groupe 3 ne se distinguent que par leur taille plus faible et l'absence

d'éolisation. Le remblai supérieur peut être considéré comme l'homologue du niveau T.3 en un milieu à écoulement moins brutal, donc moins aride parce que plus méridional. Les taux d'argile et limons décroissent des remblais aux niveaux T, des bassins sur socle aux bassins sur grès. La pauvreté des Dallols et Goulbi serait due à la corrélation de plusieurs facteurs : une couverture pédologique autochtone à dominance de sols lessivés, un taux de recouvrement dunaire du bassin élevé (il existe des grains éolisés dans les sables T) des remaniements éoliens plus faciles sur un matériel meuble peu favorable à la pédogenèse.

Les sables des plaines du Manga sont une phase plus fine parce que plus éloignée du matériel des rides transversales. Leur tri est meilleur mais leur éolisation moins forte (groupes 2 et 1). Leur pauvreté en argile et limon peut être expliquée de la même façon que pour les sables T.3, avec lesquels ils ont de très grandes affinités pédologiques. Les alluvions du Kadzel sont eux-mêmes très proches des remblais des rivières méridionales puisque le niveau supérieur rubéfié n'y manque pas (groupe 3'); ils sont attribuables à la Komadougou. Les sables de la terrasse de Sayam ont pu être empruntés aux alluvions de la Dillia, alors que sa situation permettrait au cordon de Tal de s'édifier aussi sur les sables du Manga (groupe 1). La jeunesse et la latitude de ces formes y a favorisé les reprises éoliennes mineures, responsables d'un vannage éolien maximum.

5. MORPHOSCOPIE DES SABLES

5.1 TECHNIQUES

5.11 Examen (1)

"Les examens à la loupe binoculaire ont été effectués sur les sables lavés et séchés, sans aucun traitement susceptible de détruire les agrégats et la patine ferrugineuse. Pour les différentes classes de quartz (formes et aspects de surface) nous avons utilisé la classification de J. TRICART (Revue de Géomorphologie Dynamique, n° 3/4, 1958, pp. 43-54, et rapport de la Mission de Reconnaissance Géomorphologique de la Vallée Moyenne du Niger, IFAN, 1965, pp. 120-123) ... Nous avons fait les observations sur les quartz de 0,45 à 0,6 mm et examiné les concrétions et agrégats sur l'ensemble de la fraction sableuse".

Les classes de forme combinent émoussé et sphéricité : anguleuse (A, à arêtes vives) subanguleuse (SA, classe

(1) Les examens ont été effectués par Mme A. DERRUAU, du Laboratoire de Géologie de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, au C.S.T. de BONDY, qui en a donné une première interprétation. Quelques échantillons du Niger oriental, du Niger Central, du bassin du Gorouol ont été décrits par des observateurs différents; ces résultats ne figurent pas dans les tableaux et graphiques d'ensemble pour ne pas introduire de nouveaux facteurs personnels.

intermédiaire) émoussée (E, arêtes émoussées) ovoïde (O) ronde (R). Les aspects de surface sont répartis entre les classes luisante (L) picotée (P) mate (M). Les deux ensembles de caractères sont notés séparément pour chaque grain, ce qui facilite beaucoup l'examen tout en diminuant le facteur personnel; par combinaison ils peuvent donner théoriquement 15 états à la variable morphoscopique, ce qui donne théoriquement une grande finesse à l'analyse.

5.12 Présentation des données

Les données brutes sont formées, pour chaque échantillon, des taux relatifs aux huit classes de forme et d'aspect de surface et à leur quinze combinaisons, ce qui impliquerait, pour un traitement statistique correct, un échantillonnage considérable et le recours à l'ordinateur. Or on est limité dans l'échantillonnage par la lenteur de l'examen et pour présenter les résultats d'une cinquantaine de prélèvements nous nous sommes contentés des indices et graphiques traditionnels en la matière.

Par souci d'homogénéité, mais uniquement à titre de présentation, nous avons conservé les diagrammes triangulaires de J. TRICART ayant pour variables : A, SA + E, O + R et L, P, M. Nous utilisons pour l'interprétation des diagrammes rectangulaires possédant les mêmes propriétés que les précédents, lorsque la somme des variables est constante, mais plus facile à construire :

- diagramme ayant pour variables R + O, E, le complément à 100, A + Sa, étant reporté sur la bissectrice.
- diagramme M, P, le complément 100, L, reporté sur la bissectrice.
- diagramme EL, RM.

Nous avons séparé les classes SA et E réunies dans le diagramme de TRICART parce que, la classe A étant généralement peu fournie, c'est le rapport S/E qui sépare les principaux ensembles des sables.

Nous avons utilisé l'indice d'émoussé de TRICART :

$$I_e = 2.S + 4.E + 6.O + 8.R$$

qui s'exprime en millièmes et varie de 0 (que des A) à 800

(que des R). Nous l'avons complété d'un indice de dépoli :

$$I_d = 0,5.P + M$$

qui varie de 0 (que des L) à 100 (que des M) et exprime que les picotés sont un stade intermédiaire du dépoli, ce qui est conforme à la définition de TRICART et à la pratique de l'examen binoculaire. Ces deux indices sont reportés sur un même diagramme qui permet une vue synthétique de l'ensemble de la morphoscopie. Sur ces graphiques il est possible de :

- définir l'homogénéité morphoscopique des familles ayant déjà un contenu pédologique, morphologique, granulométrique;
- définir les lois de variation d'une famille à une autre;
- définir les règles qui lient les diverses classes entre elles, l'é moussé au dépoli, soit par la localisation des points sur certaines aires exprimant certaines inégalités, soit par la formation de nuages de régression.

5.2 RESULTATS

5.21 Grès quartzite du Voltaien

Un grès quartzite ferruginisé en voie de désagrégation granulaire a montré des sables essentiellement anguleux, à agrégats siliceux, où une forte corrosion des quartz associée à la ferritisation se traduit par des taux de mats élevés.

5.22 Grès continentaux crétacés

(Continental Hamadien)

Bariolés, argileux, à graviers et galets, ils renferment des micas et des feldspath. Les grains subanguleux

et anguleux luisants dominant dans les sables, dépourvus de grains ovoïdes ou ronds, si ce n'est dans un échantillon de surface altéré (N 15) prélevé dans une brousse "ponctuée" à anneaux de sables éoliens. Si l'on se reporte à la courbe de fréquence de la figure 207, on constate qu'effectivement l'échantillon est enrichi en grains grossiers par rapport aux grès sains mais d'une valeur trop faible pour être statistiquement assurée. La morphoscopie rend plus plausible une pollution par des sables éoliens. Les grains mats ne sont appréciables que dans cet échantillon, plus encore dans un grès ferrugineux (N 7) également riche en agrégats siliceux, vraisemblablement cimenté dans une nappe phréatique.

5.23 La Série argilo-sableuse du
Continental Terminal (Ct.2)

Dans les grès argileux sous-jacents aux sols ferrugineux lessivés des glacis, les agrégats de quartz dans un ciment silico-ferrugineux ou simplement siliceux sont constants. Les grains les plus communs sont émoussés, luisants ou picotés, plus rarement subanguleux et luisants. L'émoussé est nettement plus élevé que dans la formation précédente, tendance confirmée par la présence de quelques grains ovoïdes et ronds, généralement mats. Les sables des grès fortement cimentés ont les mêmes répartitions de formes mais des aspects de surface variables, soit identiques aux précédents (grès siliceux N 57) soit dominés par les mats (grès ferrugineux N 53). Les variations morphoscopiques ne sont corrélées avec les variations granulométriques que dans un cas extrême (N 270) à grains subanguleux dominants et à courbe de fréquence rectangulaire.

5.24 Les grès argileux du
Moyen Niger (Ct.3)

Les sables des grès bariolés qui forment la masse des buttes-témoins sont constitués invariablement de 60% de grains subanguleux plus souvent picotés que luisants. Les ovoïdes sont rares, les ronds absents, les mats inférieurs à 10%. Dans un échantillon de grès rouge sableux bien trié on a noté autant de grains émoussés que de grains

subanguleux, pas de ronds, mais un enrichissement en grains mats. Ce dernier a été également noté deux fois sur trois dans les échantillons prélevés sous cuirasses (grès à tubulures N 146-155) ou sous un sol ferrugineux (N 99) en même temps que l'apparition, dans les mêmes proportions, de quelques grains ronds. Les agrégats siliceux sont abondants dans les grès à tubulures (50 à 60%) qui renferment également des concrétions ferrugineuses ou silico-ferrugineuses jaunes ou brun-rouge. Les extrêmes morphoscopiques sont également des extrêmes granulométriques, les grains émoussés étant les plus fréquents dans les sables à répartition peu dispersée de type 1, les anguleux dominant dans les distributions rectangulaires de type 4 (N 155). Dans ce dernier cas la modification de l'émoussé est associée à la mise en place d'un conglomérat.

5.25

E v o l u t i o n d' e n s e m b l e d e s
g r è s c o n t i n e n t a u x (fig. 206 à 211)

Le Continental Terminal, plus évolué dans sa minéralogie et sa granulométrie, possède également des sables plus corrodés et usés que ceux du Crétacé Continental par l'effet d'une altération supérieure de la lithomarge paléocène et d'une hydraulicité moins irrégulière. L'usure est également plus élevée dans le faciès tertiaire le plus fin, le Ct.2. La croissance simultanée de l'émoussé et du dépoli implique une liaison entre l'altération et la fragmentation que l'on retrouvera dans les matériaux quaternaires dont l'évolution paraît prolonger celle des grès continentaux.

Dans le détail on remarquera l'absence de grains ronds ou ovoïdes en dehors de la Série argilo-sableuse, de faciès rares très bien triés, d'échantillons pollués par des sables éoliens. Les grains mats sont minoritaires sauf dans les grès ferrugineux ou ferritisés lors de leur altération. Cette association entre la corrosion des quartz et le dépôt d'oxydes de fer est fréquente sans être obligatoire, ce que nous avons déjà noté dans les cuirasses. Les grains picotés sont toujours abondants, particularité attribuée aux alluvions des fleuves tropicaux par J. TRICART (1961).

5.26 Sables argileux d'altération, sables proluviaux ou colluviaux, sables de dunes

Cet ensemble morphoscopique est défini par la même corrélation positive entre l'usure et l'état de surface. Il est dû à des types d'altération modérés (délapidification, ferritisation, simatisation) à des remaniements hydriques médiocres à nuls excluant les écoulements concentrés des grandes vallées, à des actions éoliennes évidentes. Les transformations qu'il a subies ne sont pas suffisantes pour effacer les différences morphoscopiques des roches mères et sont plus commodément suivies par familles lithologiques.

5.261 Sables issus de la Série argilo-sableuse (Ct.2)

5.2611 Sables argileux, proluviaux, colluviaux

Les échantillons ont été prélevés dans les vallées du Djermaganda et sur les glacis situés immédiatement au nord-ouest. Ce sont soit des produits d'altération (NL 184, 844) soit des colluvions de piedmont de buttes témoins (NL 198).

L'ensemble, homogène, est caractérisé par la dominance des émoussés, par des taux approximativement égaux des trois aspects de surface. Il conserve sensiblement l'histogramme de formes des grès, ainsi que leurs agrégats et concrétions ferrugineuses. Il diffère par la présence de mats dans toutes les formes, ce qui peut être attribué à l'altération (accompagnée de ferritisation en NL84) par des taux plus importants de ronds et ovoïdes mats pour la plupart, même dans les échantillons paraissant absolument en place pour conserver la structure du grès. Ce fait, que nous n'expliquons pas, est à rapprocher de la présence de quelques grains ronds mats dans les échantillons superficiels de grès. Il est responsable d'une augmentation de l'émoussé.

5.2612 Sables des dunes basses E.1

Si les sables des dunes fossilisant le glacis du Ct.2

renferment quelques oolithes ferrugineuses, en principe propres au Ct.3, leur morphoscopie est différente de celle de la couverture sableuse sur grès du Moyen Niger. Les grains émoussés sont les plus communs, quelquefois les subanguleux; les grains anguleux sont très rares. L'augmentation importante des taux de ronds et de mats par rapport aux sables argileux est conforme à l'éolisation.

MM. WACKERMAN et LAUNAY, du Centre O.R.S.T.O.M. de Hann, ont examiné quelques échantillons de cette formation par une méthode différente, synthétique, notant directement des grains éolisés, émoussés-luisants, non usés chimiquement altérés, non usés, sur quatre tailles : 0,3, 0,5, 0,7, 1,0 mm. Le taux des grains "éolisés" croît vers les grandes tailles jusqu'à un palier atteint généralement vers 0,7 mm, parfois 0,5 ou 1 mm. L'écart entre les taux à 0,5 et 0,7 mm varie de 0 à 43%, ce qui donne un ordre de grandeur de la sous estimation de l'"éolisation" maximum faite en choisissant comme intervalle d'observation 0,45 à 0,6 mm. A 0,5 mm on a noté environ 45% de grains émoussés-luisants, 40% de grains mats, 5% de grains non usés. La corrélation avec nos résultats n'est pas évidente puisque les RM n'atteignent pas 25% et les EL 15%, mais est intéressante parce que cette méthode synthétique est souvent utilisée. Les grains "éolisés" correspondent approximativement à la somme des grains ronds, ovoïdes, émoussés, mats ou picotés. Les émoussés luisants sont approximativement égaux à nos grains émoussés luisants, subanguleux luisants et picotés, outre une proportion indéterminable d'émoussés picotés. Les grains non usés sont nos anguleux luisants ou légèrement picotés. On remarquera que la méthode de J. TRICART donne moins de grains réputés éoliens (RM); la différence est de 40% de la plus petite valeur, de 70% en tenant compte de la différence des tailles d'observation.

5.2613

Sables des dunes hautes E.2
.....

Ce sont encore des sables plus émoussés que subanguleux, plus mats que picotés, avec des taux appréciables de grains ronds et ovoïdes. Ils ne diffèrent pas suffisamment des sables E.1 pour en être morphoscopiquement séparés.

Une toposéquence complète (NI 711 à NI 735) n'a pas donné de variations ordonnées selon la pente ou le profil. La variabilité est énorme : dans le profil elle

vaut les 4/5 de celle de la toposéquence, elle-même égale à celle de l'ensemble de la formation. Cette dispersion ôte beaucoup de sensibilité aux examens morphoscopiques.

Les sables du bourrelet de l'Azaouak (NI 553) à sols plus juvéniles que ceux des dunes E.2 locales (NI 715) ne diffèrent que par des taux de picotés très élevés, particularité qui n'apparaît que dans les niveaux T de l'Azaouak. Un nourrissage partiel à partir de cette dernière est donc possible (cf. p.56)

5.262 Sables issus des grès du Moyen Niger (Ct.3)

5.2621 Sables argileux

Ces matériaux, produits de délapidification ou colluvions reposant sur un mince lit de débris de grès, conservent les caractères généraux des formations superficielles. Les grains les plus abondants sont subanguleux (38-60%) avec des taux variables mais importants d'émoussés pouvant localement atteindre ceux des précédents (11-41%). Les grains luisants, picotés et mats sont irrégulièrement équivalents. Les oolithes ferrugineuses, les agrégats de quartz à ciment siliceux ou ferrugineux sont fréquents. Toutefois les grains aux taux des grains ovoïdes et ronds, particulièrement ceux des ronds mats (0-5%) sont plus élevés tout en restant médiocres. L'indice d'émoussé (178-344) en est augmenté. Il n'y a pas de liaison entre les taux de RM et le degré apparent de remaniement :

grès (N 99) : 2%; sable argileux en place (NL 584) : 5%
grès à tubulures (NL55) : 1%; sable colluvial (NJ 594) : 4%.

Il existe des variantes régionales de l'émoussé : les sables situés au nord de la Tapoa, à granulométrie très triée de type 3 (S = 2,4) sont particulièrement riches en grains émoussés (38-41%) alors que ceux de la région de Gaya, non loin du Crétacé Continental, sont plus dispersés (S = 3 à 4) et mieux pourvus en grains anguleux que la moyenne (13 à 28% contre 6 à 14%). C'est une preuve supplémentaire de l'origine locale des sables argileux rouges.

5.2622 Sables des dunes basses E.1 (couverture sableuse du Moyen Niger)

Ils conservent l'histogramme caractéristique de cette famille lithologique, à grains subanguleux dominants, tout

en étant dans l'ensemble plus émoussés et dépolis que les sables argileux grâce à des taux EM et RM légèrement plus élevés :

(taux moyens)	émoussés	émoussés mats	ronds	ronds mats
sables argileux	27,2	10	4,6	3,3
sables E.1	37,3	16,3	8,1	7

Il n'y a plus d'agrégats siliceux, mais les oolithes ferrugineuses sont omni-présentes, même si les grès sous-jacents en sont dépourvus. Cet ensemble de transformations est compatible avec l'éolisation.

Les sables possédant un modelé dunaire plus net, réticulé (Série de Koutoumbou) ne possèdent pas de taux de grains ronds plus élevés, mais les proportions de grains mats y atteignent des valeurs (43-54%) qui ne sont atteintes ou dépassées que dans quatre profils sur dix de la couverture sans modelé appréciable.

L'étude de trois toposéquences a indiqué, dans deux cas, une tendance douteuse de l'émoussé à croître vers le sommet des versants ce qui s'accorderait avec une éolisation plus poussée dans cette direction. Une conclusion analogue avait été tirée des profils granulométriques montrant un meilleur centrage autour du mode principal en surface et vers les points hauts.

Les variations dans le profil sont décevantes; il n'y a pas de différenciation verticale systématique décelable; il est vrai que la dispersion y atteint au moins la moitié de celle de la chaîne. Les horizons concrétionnés peuvent être indifféremment très riches ou modérément pourvus en grains mats (61 à 32%).

5.2623 Sables des dunes hautes E.2

Ils ne sont représentés dans cet ensemble que par des formes peu développées, bourrelets d'anciens lits, dunes d'obstacles, petits cordons. Leurs sables ne diffèrent que par des taux d'émoussés-luisants plus élevés dans les cordons ou bourrelets situés près du cours de vallées sèches (NI 7, NK 52).

5.263 Sables du Niger Central

Toujours notés de façon synthétique, les sables des

dunes E.2 du Niger central, aussi bien sur grès crétacés (rides transversales) que sur Ct.2 (cordons) montrent plus de grains "éolisés" que les dunes E.1 (70-75% contre 40-45% à la taille de 0,5 mm, le reste formé de 25% d'émoussés luisants et de rares non usés). Les sables dunaires E.1 recouvrant les alluvions anciennes de Maradi sont au contraire très pauvres en grains éoliens (20 à 30%) et dominés par les émoussés-luisants (60 à 80%). M. BOULET interprète ainsi ces résultats : "l'éolisation plus accentuée des sables des ergs récents ne peut ... s'expliquer que par la reprise d'éléments déjà marqués par le vent ... (du fait de) la moindre extension des ergs récents (E.2) par rapport à celle des ergs anciens (E.1)". Les résultats concernant la formation sableuse de Maradi (E.1) "sont compatibles avec l'hypothèse d'un remaniement sur de courtes distances de matériaux d'origine locale, les alluvions du Quaternaire ancien de Maradi".

5.264 Sables recouvrant le Birrimien schisteux

5.2641 Dunes E.1
.....

Les échantillons ont été prélevés sur des dunes d'obstacles (NM 22) à la limite sud de l'erg E.1 (650 mm) et 100 km à l'ouest des grès continentaux. Les sables contiennent de petites concrétions héritées brun-rouge à noires de 0,1 à 1,5 mm attribuables soit au grès, soit aux cuirasses dans lesquelles a été observé un concrétionnement ferrugineux sphérolitique. Ils sont parmi les moins émoussés des sables dunaires ($I_e = 272-334$) pour contenir des taux encore importants de grains anguleux (9-22%) et être pauvres en grains ronds (5 à 13% dont 4 à 10% mats). Les classes dominantes sont celles des grains émoussés et picotés. Ce matériel est comparable à celui qui recouvre les plaines sableuses sur granite (NO 70).

5.2642 Dunes E.2
.....

Les sables concentrent les petites concrétions rondes et de petits grains de minéraux ferro-magnésiens. Leur morphoscopie ne diffère de la précédente que par des taux d'anguleux très faibles (moins de 3%) et par une limite inférieure de I_e plus élevée (306).

5.2643 Sables du Gorouol
.....

Ils ont été prélevés au nord du bassin (450 mm) à l'ouest

et à la même distance des grès (100 km). Des sables proluviaux forment la base d'une coupe à lits de débris de roches inaltérées, quartz et schistes, pris dans des sables quartzeux bariolés par une hydromorphie inactuelle. Ils reposent sur la roche saine et passent au sommet, par simple disparition des lits grossiers, à une dune E.1 érodée. Le site, cirque rocheux fermé à l'est, paraît exclure tout apport hydrique allogène.

Les sables sont plus émoussés que subanguleux, plus picotés que mats; ils renferment quelques ronds mats (3-5%) très caractérisés. Les fragments de roche ou minéraux sains et anguleux, rarement ferritisés ou usés, des quartz à éclat naturel de grande taille (0,8-2,5 mm) indiquent un mélange de produits "frais" arrachés par des ravineaux au substratum local et de sables déjà éolisés en admettant que les RM sont dus au vent. Les sables dunaires sus-jacents, ainsi que ceux d'une plaine sableuse voisine (GB 322) ne diffèrent que par la présence des inévitables concrétions rondes ou lenticulaires (1-1,5 mm) héritées qui s'ajoutent aux fragments de schistes, de quartz non usés. Ces résultats confirment la continuité de la coupe et montrent que les sables proluviaux sont les témoins d'une période où, sur le substratum déjà mis à nu, un certain écoulement pouvait persister localement au milieu de formations dunaires déjà différenciées, avant l'aridification complète représentée par la dune E.1. A ce dernier stade, des éléments allogènes, les petites concrétions, ont pu être amenés par le vent dans le bassin. Ces dernières se sont ensuite concentrées dans les dunes E.2 locales (GB 303) dont les sables sont plus émoussés, par perte des anguleux et accroissement des émoussés, que ceux des proluviations et des dunes E.1 ($I_e = 356-372$ contre $316-328$). La répartition des aspects de surface est voisine. Parmi les concrétions rondes, les unes sont identiques aux oolithes du Continental Terminal (0,3-0,75 mm) les autres, enrobant de petits quartz de 0,2 mm, sont issues d'anciens sols sur schistes.

En résumé, sables proluviaux et sables dunaires sont issus du même stock; l'éolisation croissante augmente l'émoussé par façonnement ou tri préférentiel des formes à forte sphéricité des dunes E.1 aux dunes E.2; elle est également responsable de l'enrichissement en éléments allogènes aptes à un long transport (concrétions) des sables proluviaux aux sables E.1, encore plus de ces derniers aux sables E.2. Cela implique qu'une partie des quartz pourrait également être importée.

		proluvions	sables E.1	sables E.2
(médianes)	I_e	328	316	364
	I_d	68	66	67

5.265 Sables recouvrant les granites

5.2651 Proluvions actuelles

Ces dépôts des cours d'eau temporaires fortement lités et stratifiés possèdent des sables où dominent les grains anguleux et subanguleux ($I_e = 244-296$) également répartis entre les diverses classes du dépoli ($I_d = 45$ à 56). Cette corrosion s'explique par ce que la source de ces matériaux est constituée de sols ferrugineux, d'altérites et non par la roche fraîche. La morphoscopie apporte un élément neuf que n'avait pas montré la granulométrie, une pollution par du matériel évolué, probablement d'origine éolienne, se traduisant par des taux de RM appréciables (2-10%).

5.2652 Dunes E.1
.....

Les sables renferment des débris de feldspath, de micas, de ferro-magnésiens. Des oolithes ferrugineuses (0,3 mm) ont été observées en rive est du Niger, à 20 km des grès continentaux. Selon le profil les grains les plus nombreux sont soit émoussés, soit subanguleux, ces derniers dans le prélèvement le plus distant des grès (90 km, NO 281 à 283). Le dépoli est systématiquement plus fort à la base des profils, toujours jaunié par une légère ferritisation de nappe.

5.2653 Dunes E.2
.....

Les sables de ces cordons sont plus émoussés que ceux des plaines sableuses précédentes, par diminution des grains anguleux ($I_e = 306$ à 374 contre 300 à 344). Le dépoli paraît le même; les oolithes sont toujours présentes.

5.266 Conclusions

5.2661 Evolution morphoscopique d'ensemble
.....

A l'intérieur de chaque famille lithologique l'émoussé

et le dépoli croissent de la roche aux produits d'altération plus ou moins remaniés et de ceux-là aux dunes. En première approximation cette variation est la même sur chacun des substrats et entre chacune des étapes sédimentologiques. Sur la figure on constatera qu'en effet les points représentatifs de tous les profils, à la seule exception des grès-quartzites voltaïens, sont situés dans le même nuage de régression. Le parallélisme des évolutions morphoscopiques est expliqué par celui de l'histoire des matériaux. L'identité de la loi liant le dépoli et l'émoissé révèle une liaison physique permanente telle que, par hypothèse, la dépendance de l'usure par rapport à la corrosion superficielle. La conservation à tous les stades de différences entre les sables issus des divers substrats montre que le façonnement des grains de quartz est quelque chose d'assez lent pour conserver les caractères hérités.

Le graphique M, P, de la figure justifie la liaison intrinsèque entre les aspects du dépoli implicitement admise dans leur définition. Les points représentatifs sont en effet exclus, si ce n'est au voisinage du point médian ($P = M = L$) des aires définies par les inégalités: $M > L > P$ et $L > M > P$. Le "picoté" est donc un état intermédiaire procédant du "luisant" et évoluant en "mat". Il ne peut être inférieur au "luisant" lorsque ce dernier est faible et s'intercale entre le luisant et le mat aux premiers stades de l'évolution morphoscopique. En ajoutant l'hypothèse complémentaire que les variations de P et M sont proportionnelles respectivement à L et P, il est possible de calculer les fonctions liant L, P, M (1) et de reporter les courbes correspondantes sur le graphique M, . . Les points sont convenablement cernés par deux courbes-limites situant la "vitesse" de formation de M par rapport à P entre 0,25 et 1,5 fois la vitesse de formation de P par rapport à L, la première étant le plus souvent inférieur à la seconde. En résumé l'aspect mat se forme moins vite aux dépens de l'aspect dépoli que ce dernier aux dépens de l'aspect luisant. Les premiers stades $L > P > M$ et $P > L > M$ sont ceux des

$$M = L + P \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{1-R} (L^R - L) \quad (2)$$

$$P = -2,32 \cdot L \log L \quad \text{si} \quad R = 1 \quad (3)$$

$$\frac{dL}{dt} = -KL, \quad \text{avec} \quad L = 1 \quad \text{si} \quad t = 0 \quad (4)$$

$$\frac{dM}{dt} = K'P \quad (5)$$

$$R = \frac{K'}{K} \quad (6)$$

roches, altérites, proluvions; le dernier $M > P > L$ est celui de sables éoliens, exclusivement.

On peut traiter le graphique E, R + O, de la même façon en admettant une évolution progressive du stade $A > E > R + O$ (roches, altérites, etc...) au stade final qui n'est ici que $E > R + O > A$ (sables dunaires Ct.2). On peut en déduire que la forme se transforme moins vite que l'aspect de surface, ce qui est compatible avec l'hypothèse de la dépendance de l'éroulé par rapport au dépoli.

Il est possible de prévoir l'effet du facteur personnel de l'observateur sur la répartition des points des diagrammes. S'il introduit un décalage de même sens pour toutes les variables, accroissant par exemple M aux dépens de P et P aux dépens de L, les coefficients R (cf. note infra-paginale) ne sont pas changés, les points glissent le long des courbes vers l'un ou l'autre des pôles extrêmes (ex : $M = 100, L = 0$). Les considérations ci-dessus gardent leur valeur. S'il accroit ou diminue simultanément les fractions extrêmes, généralement par inexpérience, ces coefficients R changent et le nuage de point s'éloigne ou se rapproche du pôle intermédiaire (P, ou E, = 100). Les conclusions quant aux vitesses de formation relative peuvent alors être différentes.

5.2662 Evolutions régionales

Sur les grès Ct.3 la répartition la plus fréquente, $A > E > R$, se conserve jusqu'aux sables dunaires qui n'atteignent le stade $E > A > R$ que dans 6 profils sur 16. Ce dernier est la distribution de base sur Ct.2, transformée en $E > R > A$ dans 16 profils dunaires sur 23. La cause de cette différence est l'héritage lithologique en ce qui concerne les taux E, peut-être une éolisation plus poussée sur Ct.2, plus septentrional et à paysage moins compartimenté, pour ce qui regarde les R et M. La transformation des grès en sables argileux, par altération et remaniements hydriques modérés, s'accompagne de l'apparition de quelques grains ronds ou ovoïdes, de grains mats, avec conservation des agrégats siliceux et ferrugineux de la roche. Le passage des sables argileux aux sables dunaires entraîne la disparition des agrégats, la concentration des lithoreliques et pédoreliques rondes et résistantes (oolithes, concrétions) un accroissement des grains ronds, des grains éroulés, la disparition corrélative des grains anguleux, l'augmentation des grains mats. Cette tendance est parfois plus accusée en E.2 qu'en E.1, ces deux formations étant par ailleurs morphoscopiquement semblables.

Les sables proluviaux anciens du socle, autochtones, ont été pollués par des apports orientaux venus des grès ainsi que de la couverture pédologique locale pendant les phases les plus sèches, purement éoliennes, de la mise en place de E.1. Ces apports se sont poursuivis et/ou concentrés dans les édifices dunaires majeurs de E.2. Cette accumulation sélective de reliques rondes suggère que la disparition des grains anguleux des sables des grands cordons pourrait être l'effet d'un tri préférentiel des grains émoussés.

5.2663 Effets de la pédogenèse sur la morphoscopie

L'aspect mat est une acquisition éolienne car il apparaît en masse à un moment où simultanément l'altération et la pédogenèse se sont affaiblies, même pendant les récurrences humides post-dunaires. Il est cependant certain qu'il est également lié à la ferritisation; il existe dans les grès ferrugineux, les grès quartzites altérés, les horizons concrétionnés, plus douteusement dans les horizons d'accumulation d'argile et d'hydroxydes de fer. Une dispersion aléatoire considérable empêche de mettre en évidence d'autres variations morphoscopiques liées à l'organisation en horizons.

	Taux de mats	Taux de mats immédiatement inférieurs, soit de la même formation, soit du même profil
Grès quartzite ferritisé (Voltaïen)	65	0
Grès ferrugineux bariolé (Crétacé)	41	17
Grès ferrugineux (Ct.2)	63	39
Horizon B concrétionné (E.1,Ct.2)	63	34
Horizon B à taches	49	38

5.2664 Définition empirique des sables dunaires du Niger

Leur ensemble ne peut être défini que relativement à la succession des matériaux dont ils sont issus. Quelques échantillons toutefois, appartenant à toutes les

familles géologiques, sont caractérisés par des valeurs paramétriques extérieures au domaine des matériaux non dunaires :

R + O	supérieur à 19%	dans 42%	des sables dunaires		
RM	"	8 dans 51%	"	"	"
M	"	39 dans 42%	"	"	"
I _e	"	390 dans 48%	"	"	"
I _d	"	60 dans 38%	"	"	"
AL	inférieur à 12	dans 17%	"	"	"

Tout échantillon satisfaisant à l'une de ces conditions est au Niger un sable dunaire. La plus répandue est le taux RM.

5.27 Sables d'alluvions fluviales

Les sables et sables argileux qui colmatent les vallées sèches ou bordent les vallées actives s'étagent en niveaux topographiques pédologiquement regroupés en plusieurs ensembles. Le premier est formé du remblai supérieur des rivières actives du socle et du niveau T.3 des Dallols; ses sols sont rubéfiés. Le second réunit le remblai inférieur et le niveau T.2 des Dallols et Goulbi à sols hydromorphes ou brunis. Le troisième regroupe des alluvions très récentes généralement fines : argiles de décantation, sables fins limoneux (T.1). Si T.3 peut être éolisé, T.2 conserve souvent un litage fluvial.

5.271 Les sables du Dallol Bosso

Les grains anguleux sont rares, les grains émoussés dominent, les taux de grains ronds sont appréciables (4 à 21%, dont 3 à 15% de mats) les grains picotés ou mats sont majoritaires. Le niveau T.3, à granulométrie de sables dunaire (groupe 2) est plus riche en grains ronds (10 à 21% contre 4 à 14%) et en grains mats (33 à 45% contre 16 à 43%). Lorsque sa granulométrie est du même type (groupe 3) que celle du niveau T.2, sa morphoscopie est également identique. Ces caractères sont ceux du stock des sables issus des grès Ct.2 qui affleurent largement au nord du bassin. Les intervalles de variation des paramètres regroupent ceux des sables colluviaux et ceux des sables dunaires.

Les variations verticales de la répartition des formes portent sur les proportions relatives des grains émoussés et subanguleux; elles sont importantes et désordonnées. Les sables des horizons B rubéfiés renferment plus de grains mats que ceux des horizons A (43-45% contre 17-33%).

5.272 Les sables du Dallol Maouri

Ils renferment des oolithes ferrugineuses comme les précédents. Moins dépolis et émoussés que ceux-là, ils ressemblent davantage aux sables dunaires recouvrant les grès du Moyen Niger (Ct.3). Les grains subanguleux dominant légèrement les grains émoussés en T.3, la relation inverse existant en T.2. Il existe de petites quantités de grains ronds (7 à 17% dont 4 à 14% mats) et de grains anguleux (3 à 15%). Les grains mats, picotés, luisants sont grossièrement équivalents en T.2, les premiers étant moins fréquents en T.3.

Les observations faites au Niger central montrent une différence très nette entre les sables de la série de Kanigoma (T.3 en banquettes) à 80% de grains "émoussés-luisants" et 20% de grains "éolisés" et ceux des dunes envahissant le nord de la vallée : 70% de grains éolisés et 25% de grains émoussés-luisants.

5.273 Les sables des petites vallées sur grès

Le bassin des petites vallées de Siwili, Fandou-Sakadamana, est de même nature que celui du haut Dallol Bosso (Ct.2 dominant). Les sables de leur unique niveau T.3 y ont la même morphoscopie que dans ce dernier, à grains émoussés dominants.

Dans les sables très fins décolorés (T.1) des thalwegs de la région de Dosso les grains subanguleux dominant comme dans la couverture éolienne recouvrant les versants sur grès Ct.3 locaux. Les sables limoneux sommitaux, organisés en paléosols hydromorphes, renferment des débris végétaux silicifiés et sont plus riches en grains émoussés et ronds.

5.274 Les sables de la vallée du Niger

En amont, près d'Ayorou, les sables du remblai supérieur (NM 704) recouvrent les granites et sont micacés.

Bien que de granulométrie de type "fluviatile" 3' leur morphoscopie est proche de celle des sables E.1 locaux (NO 701) à grains émoussés dominant légèrement les grains subanguleux, à grains ronds rares (8%, dont 7% mats). L'abondance des grains mats y est attribuée à la ferritisation en taches.

A Niamey les sables rubéfiés renferment des oolithes, ont un modelé dunaire mais une granulométrie du groupe 3' (NN 141). Ils passent à leur base à des sables bariolés mieux triés et micacés (NN 142) puis à des cailloutis fluviatiles à lits sableux oolithiques (NN 143). La répartition des formes est la même qu'à Ayorou : $E > SA > R + O > A$. Les taux des grains ronds sont plus élevés dans les cailloutis (16 à 20% dont 10 à 12% de mats). L'émoussé est moins élevé dans le niveau superficiel éolisé et rubéfié dont la morphoscopie est très proche de celle d'un sable E.1 sur grès Ct.3. On en déduit que les apports longitudinaux ont diminué d'importance relative vers le sommet de la coupe à la suite du tarissement progressif du fleuve. Les sables grossiers T.2 des fausses levées du lit majeur, ou situées sous les argiles T.1a, sont très comparables aux sables des cailloutis par leurs formes (17 à 19% de ronds, dont 16 à 17% de mats) mais plus dépolis, peut-être parce que diversement ferritisés par l'hydromorphie.

A Koulou le matériel des buttes sablo-argileuses du remblai supérieur, de granulométrie de type 3, redonne un histogramme comparable aux produits d'altération des grès Ct.3, à grains subanguleux dominants et grains ronds rares. La répartition des aspects de surface est constamment $L > P > M$ (NK 16).

Des fragments de micas, de minéraux ferro-magnésiens, des oolithes ferrugineuses sont simultanément présentes dans le remblai supérieur éolisé de Sya, des micas et des oolithes dans les sables T.2. Une particularité des quartz, des fissures resiliçifiées, indique une origine commune. La répartition des formes est encore celle de Niamey, d'Ayorou. Celle des aspects de surface est L P M sauf dans un horizon à taches ferrugineuses (NK 204) où elle est inverse. Il y a davantage de grains ronds en T.2 (13 à 23% contre 3 à 19%).

La large distribution de la répartition à grains émoussés dominants, qui ne disparaît que des zones où T.3 est emprunté aux grès locaux et à leurs sols, peut être interprété

comme un effet de l'homogénéisation fluviatile, très sensible dans la granulométrie de type 3 ou 3'. La répartition des aspects de surface correspondante ne peut qu'être la plus commune, $L > P > M$.

5.275 Les sables des remblais de la Mekrou

Ils renferment des minéraux issus du Voltaïen : agrégats de quartz, feldspath, muscovite, et des oolithes ferrugineuses au voisinage des grès Ct.3. La morphoscopie, tout comme la granulométrie, est cependant très homogène et caractéristique. Les grains anguleux et subanguleux dominant, de même que l'aspect luisant. Les grains mats sont rares, les grains ronds pratiquement absents. Les taux d'anguleux croissent vers les formations les plus récentes, remblai inférieur et levée. Cela exclut une filiation directe de ces dépôts emboîtés et suggère une érosion de plus en plus poussée des sols du bassin. La répartition des formes est en effet celle des grès voltaïens, localement mis à nu, dans le remblai inférieur. Les taux très faibles de grains mats ne peuvent être expliqués ni par la lithologie, puisque cette particularité appartient aussi aux grès continentaux, ni par une altération et une pédogenèse moins fortes. Reste l'absence d'accumulations éoliennes dans le bassin.

5.276 Conclusions

5.2761 Evolution morphoscopique d'ensemble

La corrélation entre indice d'émoissé et indice de dépoli, les relations entre les diverses classes morphoscopiques, obéissent aux mêmes règles générales qu'en dehors des grands axes fluviatiles. Les divers graphiques se superposent à ceux de la couverture des bassins. De cette dernière aux alluvions les transformations morphoscopiques ont été médiocres.

Elles paraissent les moins faibles dans les sables T.2 du Niger, nettement moins dépolis à émoissé égal. L'usure n'atteint le niveau $E > R > A$ qu'en deux points (T.3, Sya et Azaouak) et s'arrête à $E > A > R$. La concentration sinon le façonnement des grains ronds est donc un effet spécifiquement éolien au Niger. L'aire $L > M > P$ regroupe des matériaux d'usure très différente. Les uns (Mekrou, Niger à Koulou, vallées de Dosso) sont peu émoissés, empruntés à des matériaux proches de la roche mère; ils entrent

dans la régression d'ensemble entre I_e et I_d . Les autres sont plus évolués et s'en écartent (Niger à Sya) pour avoir subi un mécanisme rare qu'elle n'intègre pas, l'usure par polissage. Ici encore les taux de mats sont vraisemblablement accrus dans les horizons ferritisés car tous les échantillons où M dépasse 44% sont tachés, bariolés ou jaunis par les hydroxydes.

5.2762 Evolution locale

On peut interpréter les caractéristiques régionales de ces dépôts en admettant qu'ils ont été empruntés à la couverture meuble locale et d'autant moins transformés qu'ils sont situés dans les niveaux supérieurs rubéfiés (T.3). On reconnaît, au passage, les sables dunaires et argileux du Ct.2 (Azaouak) les formations similaires sur grès Ct.3 (Dallol Maouri, le Niger à Koulou) les sables E.1 sur granites (le Niger à Ayorou) les grès-quartzites altérés (la Mekrou). L'homogénéisation fluviatile n'est perceptible que dans le niveau T.2 des Dallols et du Niger.

Les taux de grains ronds et mats dépassent les minima des sables dunaires dans les bassins où existent ces derniers. Les alluvions anciennes se sont donc nourries des dunes.

La morphoscopie confirme la communauté d'origine des niveaux inférieurs (T.2) et supérieurs (T.3) mais n'éclaire pas autrement leurs relations réciproques. L'émousé et le dépoli varient entre eux de toutes les façons possibles, que l'emboîtement soit évident ou douteux.

5.28 Les sables du Quaternaire ancien de Maradi

Ce dépôt assimilé à une haute terrasse (M.1a) consiste en lits de galets et graviers pris dans une matrice sablo-argileuse rouge à lits centimétriques ferritisés en grès dur ferrugineux. Des micas, feldspaths, confirment son origine, l'immense antéclise granitique de la province de Zaria (Nigeria). La structure microscopique des bandes ferritisées, des débris végétaux silicifiés décèlent une évolution ancienne hydromorphe. Les sables sont peu émoussés ($I_e = 114-176$) à anguleux dominants et quelques grains ronds (3-6%). L'un de nos échantillons entre dans la

régression générale entre émoussé et dépoli; les grains picotés y dominant (53%). L'autre, à 77% de grains mats, lui échappe complètement. Ces variations du dépoli indépendantes de l'émoussé sont attribuées à la corrosion superficielle qui apparaît dans les matériaux ferritisés.

5.29

L e s s a b l e s d e l a
c u v e t t e t c h a d i e n n e

Ils n'ont fait l'objet que d'un examen rapide qualitatif par M.BOCQUIER, du centre O.R.S.T.C.M. de Hann :

- " - Composition minéralogique - Mis à part quelques
" sables alluviaux du Kadzel et de la bordure du lac
" Tchad qui renferment des micas et des débris de
" feldspath, tous ces échantillons sont presque exclu-
" sivement constitués de grains de quartz auxquels
" peuvent s'ajuster quelques granules d'hydroxydes.

- " - Forme des grains de quartz - Ce sont les formes
" arrondies qui dominent largement, avec des propor-
" tions parfois importantes de grains subémoussés,
" mais les grains typiquement ovoïdes à sphériques
" ne sont que très rarement dominants : ces derniers
" sont les plus fréquents dans la formation sableuse
" des ergs orientés (E.2).

- " - Etat de surface - Les plus fréquents ont le "picoté-
" luisant" et le "luisant" qui dominent dans les for-
" mations sableuses du Manga, de Bandé et de Tinkim-
" Dungass (sud-ouest de la cuvette). L'aspect mat,
" associé à la forme sphérique des grains, ne domine
" jamais mais est généralement présent dans les sa-
" bles des ergs orientés en bordure de la cuvette
" (E.2)

- " Mis à part certains sables du Kadzel d'origine al-
" luviale, un certain nombre de caractères morphos-
" copiques sont communs aux autres formations sableu-
" ses et laissent supposer une origine commune des
" sables pour cette partie du bassin tchadien. Les
" actions hydriques semblent avoir été prépondéran-
" tes et leur façonnement persiste dans les forma-
" tions sableuses de la cuvette (Manga ...) alors
" que les traces d'un remaniement éolien sont surtout
" présentes dans la formation des ergs orientés.

Malgré la différence de langage et en recourant aux fiches originales d'examen, on peut établir les corrélations suivantes :

- Les sables des rides transversales E.2 de la bordure, de répartitions $E > A + SA > R + O$ et $P > L > M$, se situent parmi les moins évolués des sables dunaires, ce qui peut s'expliquer par la morphoscopie des roches mères, les grès crétacés et le Ct.3. B.DUPONT (1967) donne pour l'erg de Mao, en République du Tchad, dont nous avons reconnu la similitude pédologique et granulométrique avec les dunes nigériennes bordant la cuvette, les chiffres suivants pour des sables de 0,3 mm :

SA = 40, E + O = 55, moins de 5 R, A = 0, M = 78, P = 20,
L = 2.

L'éroussé est intermédiaire entre celui des dunes sur grès Ct.3 et Ct.2 mais les taux de mats sont anormalement élevés. L'auteur identifie ces sables comme fluviatiles éolisés.

- Les sables du Manga sont comparables aux moins évolués des sables de Dallols avec des répartitions $A + SA = E$ et $P = L > M$. B.DUPONT donne la même répartition de formes que ci-dessus pour les similaires topographiques du Tchad ("dune sud-ouest") qui paraissent ainsi effectivement identiques aux sables du Manga, d'autant plus que le dépoli y reprend des valeurs plus normales : M = 30, P = 38, L = 32.

- Les sables du Kadzel sont comparables à ceux des remblais méridionaux dont ils approchent également par la granulométrie. La ressemblance est parfaite pour les sables rubéfiés de Difa : $A > E > R + O$, $L > P > M$.

- Les sables de la formation péri-lacustre ancienne de Tal-Sayam sont distincts de ceux du Manga et de ceux du Kadzel, étant de type $E > A + SA > R + O$, $L > P > M$ et renfermant un minéral particulier. La granulométrie indiquait une origine spéciale, la Dilia, au moins pour la terrasse de Sayam.

Au gradient de finesse se superpose, dans cette partie de la cuvette, un gradient d'évolution morphoscopique qui situe les sables les moins éroussés et les moins dépolis au centre.

La corrélation positive entre les deux variables morphoscopiques s'étend à la quasi-totalité des matériaux du Niger. La régression est linéaire et les deux indices sont presque proportionnels : $I_e = 5,95 I_d + 33$. Les diverses classes d'éroulé et de dépoli procèdent successivement les unes des autres, les stades intermédiaires (P, E') donnant moins vite les types ultimes (M, R) qu'ils ne se forment aux dépens des termes initiaux (L, A). Ces transformations sont lentes et n'effacent que très progressivement l'héritage de la roche mère. Dans les familles morphoscopiques la composante lithologique est plus importante que dans les familles granulométriques. Le manque de sensibilité des grains de quartz aux agressions chimiques et physiques, combiné à une dispersion aléatoire désastreuse, est responsable de l'indépendance des distributions morphoscopiques par rapport aux profils et séquences pédologiques. Il n'existe qu'une exception sûre, celle des horizons fortement marqués par la ferritisation où le dépoli est souvent plus élevé.

La tendance générale est due à une convergence d'effets entre l'usure mécanique subordonnée à une corrosion chimique superficielle et le façonnement éolien. L'usure par polissage, qui inverse le signe de la corrélation entre le dépoli et l'éroulé, existe cependant dans les alluvions fluviatiles T.2 mais n'est que rarement suffisante pour écarter ces matériaux de la régression d'ensemble.

L'observation désigne l'aspect luisant comme état initial du dépoli alors qu'en théorie il devrait être remplacé par l'éclat "naturel" des faces cristallines du quartz. Mais c'est un fait que ce dernier n'est jamais observé que sur quelques individus dans les matériaux les plus "frais". Comme cet aspect luisant est alors celui de formes non éroulées il faut bien admettre qu'on le confond avec celui que produirait un véritable polissage fluviatile. Il est en réalité une première étape de la corrosion superficielle. Tout se passe comme si, pour cette dernière, les deux catégories de luisant étaient équivalentes car on n'observe pas d'évolution différente selon l'origine supposée du matériel. Le luisant fluviatile est vraisemblablement le moins important et se situe par rapport à l'autre comme le mat éolien par rapport au mat de corrosion : il n'y a guère plus de grains EL dans les matériaux

réputés fluviatiles (grès continentaux) que de grains RM dans les dunes. Cette retouche mécanique n'est importante que dans les sables T.2 de Sya.

Nous attribuerions volontiers à cette efficacité supérieure des processus d'altération l'évolution plus grande des grès tertiaires par rapport à celle des grès crétacés. Les premiers ont une origine indépendante des seconds dans une grande mesure et leurs faciès sédimentologiques (Ct.3 et Ct.2) sont plus proches entre eux que des grès crétacés. Les matériaux qui sont issus directement du socle, sans avoir subi l'altération paléocène, formerait l'ensemble d'évolution minimum du Niger :

Crétacé	:	SA > A > E	L > P > M	(éch. non ferritisés)
alluvions de Maradi	:	A > SA > E	L > P > M	(" ")
remblais de la				
Mekrou	:	A > SA > E	L > P > M	
proluvions actuelles:	:	A > SA > E	L > M > P	(pollués de matériel éolien)

les grès tertiaires se situant nettement au delà :

$$E > SA > A \quad P > L > M$$

La transformation s'est principalement faite des grès aux sables argileux, par altération et actions hydriques modérées. Elle est encore sensible de ces derniers aux sables dunaires E.1; elle est extrêmement atténuée dans les sables dunaires E.2 où l'on observe surtout une concentration de grains et reliques ronds. La mise en place des sables E.1 a été précédée d'une phase transitoire où se maintenait un certain écoulement. La contamination des sables dunaires, autochtones dans leur masse, a augmenté jusqu'à la formation des édifices majeurs E.2. Le mat éolien démontre sa réalité en apparaissant à un moment où pédogenèse et altération faiblissent. L'éolisation n'efface pas entièrement les différences lithologiques :

dunes sur Ct.2	:	E > R > SA	M > P > L
dunes sur Ct.3	:	SA > E > R	M > P > L
dunes sur granite	:	SA > E > O = R	M > P > L

Les sables des remblais et niveaux T procèdent de la couverture locale, sables argileux et sables dunaires, dont l'ablation et la dégradation progressives se sont poursuivies jusqu'à notre époque dans les bassins méridionaux. Les répartitions des formes et dépôts sont en conséquence héritées :

T.3, Azaouak : E > R > SA M > P > L
T.3, Maouri : SA > E > A = R P > L > M

et ne voient diminuer le dépoli que dans la vallée la plus grande :

T.2, Niger : E > SA = R L > P > M

La morphoscopie ne définit pas les relations entre ces divers niveaux mais les précise lorsqu'elles sont autrement connues. Emboîtés dans T.3 les sables T.2 de Sya ont subi une action fluviatile plus forte et ont pu reprendre les précédents; le bassin de la Mekrou était plus érodé lors de la mise en place du remblai inférieur que pendant le dépôt du remblai supérieur; le niveau T.2 est la base remaniée du niveau T.3 des Dallols qui diffère de surcroît par des apports latéraux plus importants.

Les caractères morphoscopiques évoluant moins vite et étant plus dispersés que les caractères granulométriques, les relations entre les deux variables sont d'autant plus lâches qu'elles sont moins générales, c'est-à-dire qu'elles se rapportent à des échantillons moins nombreux et à des durées plus courtes. L'éroussé et le dépoli croissent, comme le tri, des grès aux dunes; le Ct.2 se distingue encore par des valeurs plus élevées de ces grandeurs; il est exceptionnel que l'on mette en évidence une liaison dans la toposéquence, telle celle qui désigne les sommets des versants sur grès Ct.3 comme plus éolisés dans toutes leurs propriétés. En général le profil et la toposéquence morphoscopiques n'ont pas d'individualité au sein de l'ensemble lithologique et géomorphologique auxquels ils appartiennent. H. ALIMEN (1957) avait également remarqué que le "critère morphoscopique est moins sensible que le critère granulométrique pour l'étude d'un profil dunaire". Les vitesses inégales des transformations sont de plus à l'origine de discordances : les sables des remblais méridionaux sont à la fois très triés, peu usés et peu dépolis.

Si on a pu définir des règles de variations intrinsèques des divers états morphoscopiques, c'est sur la totalité des échantillons; on n'a pu en faire l'application à des ensembles plus limités : profils, toposéquences, petites régions. Ce n'est qu'à grand peine qu'on a pu donner un début de définition statistique des propriétés morphoscopiques des sables dunaires. Manquant de fidélité, la morphoscopie ne peut guère être utilisée que comme auxiliaire de la granulométrie.

6. F R A C T I O N N E M E N T D E L A
M A T I E R E O R G A N I Q U E D E
S O L S D U N I G E R

d'après C.THOMANN (1964)

6.1 D E F I N I T I O N S

En 1964 les composés humiques d'un large échantillonnage de sols de l'Afrique de l'ouest furent analysés par C.THOMANN; ils étaient définis par la méthode d'extraction de TIURIN :

- f.1 : acides fulviques libres, acido-solubles; mélange d'acides organiques et de phénols; interviennent dans l'altération et dans le lessivage du fer et de l'argile.
- f.2 : acides fulviques liés aux acides humiques; mélange d'uronides et de polysaccharides adsorbés sur les acides humiques; moins agressifs et mobiles que les précédents.
- h.1 : acides humiques libres, bruns ou brun-rouge; extraits par la soude et précipités par acidification; produits de l'oxydation incomplète des lignines; précurseurs des acides humiques gris; pauvres en azote, flocculés lentement par Ca; petites molécules instables faiblement liées à l'argile.
- h.2 : acides humiques gris; extraits par la soude après décalcification; produits de la synthèse microbienne très polymérisés liés par Ca^{2+} aux argiles.

h.3 : acides humiques gris liés aux argiles par l'intermédiaire de Fe^{3+} et Al^{3+} .

6.2 RESULTATS D'ENSEMBLE (tableau 216)

Calculés pour des profils moyens et sur une épaisseur ramenée à 100 cm, ils montrent l'humification et la polymérisation croissantes vers les régions sèches d'un stock organique variant à l'inverse de la pluviosité et des taux d'argile. Lorsque l'allongement de la saison sèche réduit les possibilités d'accumulation de la matière organique, cette dernière tend à se réduire aux formes les plus stables liées au plasma minéral. Les possibilités d'altération et de migration en sont diminuées d'autant, ce qui ressort bien des variations du quotient h/f. Toutefois les sols bruns argileux du tableau ne peuvent être directement comparés aux autres, les premiers étant plutôt smectitiques et les seconds plutôt kaoliniques. Ils font partie d'un ensemble différent où entrent les vertisols, les sols bruns eutrophes.

6.3 RESULTATS PARTICULIERS AU NIGER (tableau 217)

La répartition des fractions humiques dans les échantillons du Niger montre deux types extrêmes, isolés ou combinés dans les profils.

Le premier est celui des sols bruns tirsifiés (AD 90 et 96) et des sols bruns sableux mais calcaires (AC 59) de l'Ader Douchi. Le coefficient d'humification est élevé (59 à 75%) et la fraction d'humus gris calcique h.2 domine très largement (53 à 85%). L'acide humique gris associé au fer h.3 n'apparaît que dans les toposéquences à termes brun-rouge (AD 90). La quasi-absence de formes libres suggère une polymérisation in situ sous les effets variablement combinés du mauvais drainage interne, du calcium, du type d'argile.

Le second est celui de sols ferrugineux peu lessivés (NA 28) et de sols brun-rouge (NA 88, AD 50) des familles F.1 et F.2 (il n'y a pas d'échantillons de la famille

F.3) à drainage local ou général excellent. L'humification est moins bonne (40 à 61%) les taux d'acides fulviques sont appréciables (25 à 39%) les taux des acides humiques gris h.2 et bruns h.1 sont du même ordre de grandeur. L'humification et les fractions f.1 et h.3 augmentent en profondeur en valeurs relatives, de l'horizon A à l'horizon B. La matière organique peut donc être associée au lessivage du fer et de l'argile dans ces sols. Les profils brun-rouge sont légèrement mieux humifiés et plus pauvres en acides fulviques. L'humus gris calcique peut y être le plus abondant (NB 41 : 30 à 40%).

Dans les sols bruns sableux la répartition des fractions humiques est de type intermédiaire (NB 71) avec des taux de h.2 et h.3 importants, ou bien s'apparente à celle des sols ferrugineux peu lessivés dans les premiers centimètres puis à celle des sols bruns calcaires au delà (NB 69). Dans les deux cas les profils sont saturés, le calcium étant le cation dominant.

Une distribution analogue existe dans les profils de sols ferrugineux peu lessivés ne possédant pas un drainage parfaitement libre, situés soit en interdune (NA 29, NA 73) soit en crête mais dans un modelé très aplani et ennoyé d'alluvions (NA 72). Ils sont brunis, ou jaunés et concrétionnés à leur base par une nappe; les raies y sont constantes. Les fractions humiques des horizons A.1 sont réparties comme dans un sol ferrugineux peu lessivé bien drainé, alors que celles des horizons A.2 (ou A.B) et B sont surtout formées d'acides humiques gris h.2 et h.3.

6.4

CONCLUSIONS

Les acides fulviques se forment en quantité appréciable en surface d'à-peu-près tous les sols sableux du Niger mais ne sont stables que dans les horizons profonds des sols ferrugineux peu lessivés les mieux drainés où ils paraissent migrer. Les acides humiques gris dominent dans les matériaux à argile gonflante, ou saturés en calcium, ainsi que dans les horizons profonds des sols ferrugineux peu lessivés les moins bien drainés. Dans ces derniers les acides humiques liés au fer sont relativement importants.

Une morphologie de sol lessivé peut être associée aussi bien à la présence d'acides fulviques qu'à l'existence de très fortes proportions d'acides humiques en profondeur, ce dernier caractère étant presque toujours associé à des teintes brunes. Une morphologie de sol non lessivé est corrélée avec la dominance des acides humiques gris, surtout calciques.

Les sols brun-rouge sont légèrement plus riches en acides humiques que les sols ferrugineux peu lessivés, les distributions des diverses fractions restant qualitativement les mêmes.

7. EXTRAIT DE LA "CLASSIFICATION DES SOLS. TABLEAUX DES CLASSES, SOUS-CLASSES, GROUPES ET SOUS-GROUPES DE SOLS UTILISES PAR LA SECTION DE PEDOLOGIE DE L'I.C.R.S.T.O.M. (G.AUBERT, 1965)"

CLASSE 1 SOLS MINERAUX BRUTS

Sols à profils (A) C

SOUS-CLASSE 1. - SOLS MINERAUX BRUTS D'ORIGINE CLIMATIQUE

Groupe b. - Sols minéraux bruts des déserts

Sous-Groupes : sols d'apport des déserts :
ergs, barkhanes, nebkhas, voiles
sableux.

SOUS-CLASSE 2. - SOLS MINERAUX BRUTS D'ORIGINE
NON CLIMATIQUE

Pédoclimat ni très sec ni très froid toute l'année, permettant l'évolution du sol.

Groupe a. - Sols bruts d'érosion ou squelettiques

Sous-Groupes : Lithosols : sur roches ne permettant
pas la pénétration des racines.

Régosols : sur roches meubles, friables
ou assez morcelées pour permettre une
facile pénétration des racines

Groupe b. - Sols bruts d'apport

Sols évoluant sur des matériaux encore en formation par alluvionnement, colluvionnement, etc.

Sous-Groupes :

Fluviatile
Éolien
Continental (colluvial)

CLASSE II SOLS PEU ÉVOLUÉS

Sols à profil A.C; A peu épais ou pauvre en matière organique; degré d'altération des minéraux peu différent en A et en C.

SOUS-CLASSE 1. - SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ORIGINE CLIMATIQUE

Pédoclimat froid, ou assez froid et très humide, ou sec pendant la plus grande partie de l'année, limitant l'évolution du sol.

Groupe c. - Sols Subdésertiques

Sols à profil, en général, peu épais; matière organique en faible quantité, mais diminuant progressivement en profondeur; teneur en calcaire pratiquement constante; complexe absorbant saturé.

Sous-Groupes : Sols Subdésertiques éolisés en microdunes.

SOUS-CLASSE 2. - SOLS PEU ÉVOLUÉS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE

Sols jeunes ou rajeunis, mais dont le pédoclimat permet l'évolution du sol.

Groupe a. - Sols peu évolués d'érosion

Sols peu épais formés sur pente, à matière organique généralement assez évoluée.

Sous-Groupes : Sols Lithiques, sur roches impénétrables aux racines.
Sols régiques.

Groupe b. - Sols peu évolués d'apport.

Sols généralement formés sur alluvions récentes.

Sous-Groupes : Modal (calcimorphe, brunifié)
Hydromorphe, à gley ou pseudogley
Faiblement salé ou alcalisé
Vertique, à structure prismatique large au

moins en profondeur, et couleur relativement foncée.

CLASSE III. - SOLS CALCOMAGNESIMORPHES

Sols caractérisés par la présence en quantité importante dans l'ensemble du profil, et l'influence dominante, du Carbonate de Calcium et Magnésium, ou de Sulfate de Calcium.

SOUS-CLASSE 1. - SOLS RENDZINIFORMES

Sols calcaires ou dolomitiques relativement riches en humus, à structure nettement définie.

Groupe a. - Rendzines vraies

Sols calcaires ou dolomitiques peu épais, de profil AC, à structure à éléments moyens à fins, de type grenu à nuciforme (plus rarement monoparticulaire).

Sous-Groupes : Rendzines grises ou noires.

Groupe c. - Sols alluviaux calcimorphes (proposé).

CLASSE IV. - VERTISOLS ET PARAVERTISOLS

Sols à profil A (B) C plus ou moins homogénéisé ou irrégulièrement différencié par suite de mouvements internes, s'exprimant souvent par la présence d'un micro-relief "gilgai" et d'effondrements. Structure polyédrique à prismatique large, au moins en (B) dont la macroporosité est très faible et la cohésion, ainsi que la consistance, très fortes dès que le sol est sec. Sol fréquemment très argileux et à dominance d'argile gonflante. Sols de couleur en général foncée, relativement à leur teneur en matière organique. Complexe absorbant le plus souvent très riche en Mg.

SOUS-CLASSE 1. - VERTISOLS ET PARAVERTISOLS TOPOMORPHES (OU TOPOLITHOMORPHES)

Sols formés en zones planes ou déprimées, et présentant un pédoclimat très humide pendant de longues périodes; toujours hydromorphes (ce qualificatif pouvant remplacer celui de topomorphes dans la dénomination).

Groupe b. - Vertisols et Paravertisols Topomorphes non grumosoliques

Sols largement structurés dès moins de 20 cm de la surface.

SOUS-CLASSE 2. - VERTISOLS ET PARAVERTISOLS LITHOMORPHES

Sols sur pentes plus ou moins prononcées, et toujours très riches en argile de type 2/1.

Groupe b. non grumosolique comme ci-dessus.

CLASSE V. - SOLS ISOHUMIQUES

Sols à profil AC ou A (B) C à teneur régulièrement décroissante en matière organique bien évoluée; horizon humifère notable sur au moins la moitié du profil et sur plus de 50 cm (épaisseur ramée à 30 cm pour les profils de moins de 50 cm).

SOUS-CLASSE 1. - SOLS ISOHUMIQUES A COMPLEXE SATURE (principalement en Ca) évoluant sous un pédoclimat chaud pendant la saison des pluies.

... individualisation plus poussée des sesquioxydes de fer.

Groupe. - Sols bruns subarides.

Sous-Groupes :

Sols bruns subarides modaux

Sols brun-rouge subarides (parfois érigé en Groupe)

Sols bruns subarides vertiques

Sols bruns subarides à pseudogley

Sols bruns subarides faiblement alcalisés (ou salés)

CLASSE VI. - SOLS A MULL

Sols formés sous l'influence d'une matière organique fortement évoluée à humus de type "mull", à profil A (B) C ou A B C; proportion limitée de sesquioxydes libérés, qui restent liés au complexe argilo-humique.

SOUS-CLASSE 2. - SOLS A "MULL" DES PAYS TROPICAUX

Pédoclimat chaud et humide à la fois, au moins temporairement.

Groupe. - Sols bruns eutrophes tropicaux

Sols à humus doux bien lié à la matière minérale, assez abondante en A.1; structure nettement développée, grumeleuse à

nuciforme en A, cubique à polyédrique moyenne en (B); complexe saturé en bases alcalino-terreuses; réserve minérale altérable abondante; couleur tendant au brun-rouge par suite des sesquioxydes de fer libérés.

Sous-Groupes : Modal
Hydromorphe verticale
Ferruginisé
Peu Evolué

CLASSE VIII. - SOLS A SESQUIOXYDES ET A MATIERE ORGANIQUE RAPIDEMENT MINERALISEE

Sols caractérisés par la décomposition rapide de leur matière organique (humus bien évolué) et l'individualisation des sesquioxydes métalliques (teneurs relatives élevées en sesquioxydes de fer, d'aluminium)

SOUS-CLASSE 2. - SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

Ces sols sont très riches en sesquioxydes de fer individualisés sur l'ensemble du profil ou, le plus souvent, accumulés dans les horizons inférieurs, caractérisés par leur couleur rouge, rouille ou ocre, et, souvent, par leur richesse en concrétions réparties sur une assez grande épaisseur.

Leurs minéraux argileux comprennent de l'illite en plus de la kaolinite. Ils ne comportent pas d'alumine libre. Leur complexe absorbant n'est que faiblement désaturé (S/T supérieur à 40%).

Leur structure est fréquemment dégradée en surface; la compacité y est alors élevée.

Groupe a. - Sols Ferrugineux Tropicaux non ou peu lessivés.

Sols dont la teneur en colloïdes minéraux est approximativement constante sur tout le profil.

Sous-Groupes :

Sols à teneur constante en sesquioxydes de fer
Sols un peu lessivés en composés de fer, mais non en argile
Sols ferrugineux tropicaux jeunes, à ferruginisation peu accentuée; généralement peu épais.

Groupe b. - Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés.

Sols présentant un ou plusieurs horizons B, enrichis à la fois

en argile et en sesquioxydes de fer.

Sous-Groupes :

Sans concrétions

A concrétions dans l'ensemble de l'horizon B ou au moins dans sa partie médiane

Hydromorphe à taches et concrétions de pseudogley au sommet de B et souvent aussi à la base de A

Induré en carapace ou cuirasse, les éléments ayant été essentiellement individualisés sur place.

SOUS-CLASSE 3. - SOLS FERRALLITIQUES

Sols le plus souvent très profonds, caractérisés par une évolution rapide de la matière organique, une décomposition très poussée des minéraux, même du quartz, et une forte teneur en sesquioxydes de fer accompagnés de sesquioxydes d'aluminium. En dehors de ces composés les minéraux argileux ne comportent que de la kaolinite. La valeur de SiO_2/Al_2O_3 y est inférieure ou au plus égale à 2.

Le complexe absorbant est très désaturé, la capacité d'échange basse, la teneur en limon très faible. La structure en éléments nettement individualisés, en général assez fins, de forme polyédrique ou nuciforme, parfois grenue (farineuse) confère aux horizons (B) ou B une grande friabilité, lorsqu'ils ne sont pas indurés en carapace ou cuirasse.

Groupe a. - Sols Faiblement Ferrallitiques

Teneur en alumine libre très faible (principalement sous forme amorphe); valeur de SiO_2/Al_2O_3 proche de 2 (supérieure à 1,7); sols souvent riches en pseudo-sables.

Sous-Groupe : Modal

PROJET DE CLASSIFICATION DES SOLS FERRALLITIQUES DE 1966
(G.AUBERT et P.SEGALEN)

CLASSE DES SOLS FERRALLITIQUES

SOUS-CLASSE DES SOLS FERRALLITIQUES MOYENNEMENT DESATURES

S = 1 à 3 mé pluviosité de 1,3 m
V = 20 à 40%
pH = 4,3 à 6

SOUS-CLASSE DES SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DESATURES

S = 2 à 8 mé pluviosité de 1,2 à 1,6 m
V = 40 à 80%
pH = 5,0 à 6,5

Groupe des sols appauvris.

CLASSE IX. - SOLS HALOMORPHES

Sols dont l'évolution est dominée :

- 1° - par la présence de sels solubles dont la teneur élevée provoque une importante modification de la végétation; conductivité de pâte saturée supérieure au moins à 4 mmhos/cm à 25°.
- 2° - par la richesse du complexe absorbant d'un de leurs horizons en ions (Na, K, peut-être Mg) susceptibles de provoquer la dispersion de l'argile et l'apparition d'une structure massive, diffuse et d'une compacité très élevée; (Na + K)/T supérieur à 15% en général.

SOUS-CLASSE 1. - SOLS HALOMORPHES A STRUCTURE NON DEGRADEE

Groupe. - Sols salins

Sous-Groupes : à encroûtement salin superficiel
à horizon superficiel friable

SOUS-CLASSE 2. - SOLS HALOMORPHES A STRUCTURE DEGRADEE

La dégradation est provoquée par les ions alcalins adsorbés.

Groupe a. - Sols à Alkali Non Lessivés

La teneur en argile des horizons est constante dans le profil.

Sous-Groupes :

Sols très salés à alcali, à structure poudreuse pendant la saison sèche.

Sols peu ou moyennement salés à alcali, structure diffuse et massive en surface.

Sols très salés à alcali à hydromorphie de nappe.

Groupe b. - Sols à Alcali lessivés

Sols où par migration l'argile sodique s'accumule en profondeur

Sous-Groupes :

Solonetz à structure en colonnettes de l'horizon B.
Solonetz à structure prismatique ou massive de l'horizon B.

Groupe proposé : Sols à Alcali à argile dégradée sous l'action des ions alcalins adsorbés.

Sous-Groupes : Solonetz solodisés
Solonetz solodisés à action de nappe.

CLASSE X. - SOLS HYDROMORPHES

Sols dont les caractères sont dus à une évolution dominée par un excès d'eau par suite d'un engorgement temporaire de surface, de profondeur ou d'ensemble ou par suite de la présence ou de la remontée d'une nappe phréatique.

SOUS-CLASSE 2. - SOLS HYDROMORPHES MOYENNEMENT ORGANIQUES

Sols à matière organique évoluée, de type amoor, de l'ordre de 10% sur au moins 20 cm; hydromorphie totale mais temporaire.

Groupe. - Sols humiques à gley (ou semi-tourbeux).

Sous-Groupe : Sols humiques à Gley à amoor acide.

SOUS-CLASSE 3. - SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX OU PEU HUMIFÈRES

Sols à matière organique totale inférieure à environ 10% sur au moins 20 cm et en général inférieure à 4-5%.

L'hydromorphie s'exprime par des caractères de couleur (taches de composés réduits ou réoxydés après réduction) ou de redistribution d'éléments solubilisables : oxyde de fer et de manganèse, calcaire, gypse, sur le premier mètre ou de façon intense en profondeur entre 1 et 2 m.

Groupe a. - Sols Hydromorphes peu humifères à Gley.
Horizon de gley dominé par les processus de réduction.

Sous-Groupes :

Sols à Gley de surface ou d'ensemble : horizon très réduit : gris blanchâtre dès la surface ou sous l'horizon humifère; traînées humiques fréquentes à la base de l'horizon humifère.

Sols à Gley de profondeur.

Sols à Gley salés, les processus d'halomorphie ne s'exprimant que dans les horizons profonds, l'horizon superficiel pouvant être faiblement salé ou alcalisé.

Groupe b. - Sols Hydromorphes peu humifères à pseudogley

Les horizons hydromorphes de ces profils sont caractérisés essentiellement par les processus de pseudogley (réoxydation dominante après réduction).

Sous-Groupes :

Sols à taches et concrétions (d'oxydes de fer ou de manganèse) de couleur rouille, noire, etc dès la surface ou au moins dès la base de l'horizon humifère.

Sols à carapace ou cuirasse.

Groupe c. - Sols Hydromorphes peu humifères à redistribution du calcaire ou du gypse.

Sous-Groupes : Sols à nodules calcaires
Sols à encroûtement calcaire.

8. M E T H O D E S D ' A N A L Y S E S C H I M I Q U E S
E T P H Y S I Q U E S D E S
E C H A N T I L L O N S D E S O L S

Préparation

Broyage et tamisage

Echantillons courants : passage au broyeur-tamiseur à trous ronds de 2 mm et à surfaces de frottement caoutchoutées.

Echantillons pour analyses de structure : tamisage à la main au travers d'une toile à trous carrés de 2 mm, éventuellement broyage ménagé au pilon.

Homogénéisation et fractionnement

par passages répétés dans un diviseur-échantillonneur.

Analyse granulométrique

Destruction de la matière organique : eau oxygénée.
Défloculation : acide chlorhydrique ou, pour de rares échantillons calcaires, chlorure de potassium N/10.

Dispersion : pyrophosphate ou hexamétaphosphate de sodium.

Prélèvement : pipette Robinson.

Fractionnement : quatre ou cinq classes granulométriques.

Analyses de structure

Indices de perméabilité et d'instabilité structurale

d'après la méthode de HENIN (1). Tamisage mécanique par l'appareil de FEODOROFF.

Analyses physiques

Porosité des mottes

Déplacement d'un volume d'eau après enrobage dans de la paraffine.

Humidité équivalente et point de flétrissement

PF 3,0 : centrifugation à 1 000 g pendant 45 minutes ou pression de 1 000 g/cm² dans la presse à membrane.

PF 2,7 : pression de 500 g/cm²

PF 4,2 : pression de 15,8 kg/cm²

Matière organique

Carbone

Méthode au bichromate de potassium de WALKLEY et BLACK, titrage en retour au bichromate de potassium.

Matière organique totale

Carbone x 1,73

Matière humiques

Voir à l'annexe VI

Azote total

Méthode de KJELDAHL; déplacement de l'ammoniaque à la soude, fixation à l'acide borique, titration à l'acide sulfurique N/50.

Mesure du pH

Suspension dans un rapport sol/liquide de 1/2,5, dans l'eau et dans du chlorure de potassium normal; mesure à l'électrode de verre (Beckman et Radiometer).

(1) HENIN (S.) MONNIER (G.) COMBEAU (F.). - 1958 - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann.Agro. n°1, pp. 73-92.

Capacité d'échange et bases échangeables

Bases échangeables

Extraction : percolation par l'acétate d'ammonium neutre (Rapport pondéral sol/solution de 1/15)

Séparation : élimination de la matière organique et de l'acétate par chauffage à 450°; élimination des hydroxydes par l'ammoniaque; reprise par HCL 0,2N à chaud.

Dosages : complexométrie pour Ca + Mg et pour Ca, photométrie de flamme pour K et Na.

Capacité d'échange

Mesurée sur le même échantillon saturé par NH₄ ayant servi à la détermination précédente. Lavage de l'excès à l'alcool, déplacement par NaCl, entraînement de NH₄ à la vapeur, dosage à l'acide sulfurique.

Phosphore total

Attaque nitrique, précipitation par le réactif nitro-molybdique sulfaté, dissolution par la soude, dosage en retour par l'acide sulfurique.

Eléments totaux

Attaque tri-acide, parfois attaque nitrique lorsque seules les bases totales ont été recherchées.

Fer

Fer total

Extraction par HCl pur bouillant, réduction par passage dans une colonne d'argent, dosage de Fe²⁺ au permanganate.

Fer libre

Par la méthode de D'HOORE (1)

Sels

(1) Répertoire des modes opératoires d'analyse du sol. Division de l'Agrologie de l'I.N.E.A.C., p.16. Diffusé par le BIS, Paris.

Conductivité de la solution du sol

Mesure sur l'extrait aqueux 1/10 ou sur l'extrait saturé.

Cations et anions solubles

Double extraction, l'une aqueuse (1/10) l'autre à l'acide chlorhydrique dilué. Parfois seuls les éléments de l'extrait aqueux saturé ont été dosés.

Dosage de K, Na, Ca, Mg comme ci-dessus (bases échangeables) de SO_4 par précipitation à la baryte et dosage de Ba en excès par complexométrie, de Cl^- par la méthode de MOHR.

Calcaire total

Au calcimètre.

9. NOMENCLATURE DES
HORIZONS DU SOL

(Projet du Bureau de Rome, 1967, légèrement modifié)

Horizons

- A : "horizon formé ou en voie de formation à la surface du sol ou immédiatement en dessous, consistant en une accumulation de matière organique humifiée intimement associée à la fraction minérale, et ayant une teneur en matière organique de moins de trente pour cent si la fraction minérale contient plus de cinquante pour cent d'argile, ou de moins de 20% si la fraction minérale ne contient pas d'argile. Pour les teneurs en argile intermédiaire, les taux de matière organique doivent être proportionnels".
- (A) : horizon A en voie de formation peu distinct du matériau.
- E : "horizon sous-jacent aux horizons A et ayant un taux ... de sesquioxydes et/ou d'argile plus faible que l'horizon immédiatement sous-jacent, ce qui se traduit habituellement par une couleur pâle et une accumulation relative de quartz et d'autres minéraux inaltérables de la granulométrie des sables ...".
- B : "horizon compris entre les horizons A ... et les horizons C, G ou R (s'ils existent) dans lequel la structure de la roche n'est plus visible, et caractérisé par une concentration en argile silicatée (par illuviation ou altération) en sesquioxydes (par illuviation ou accumulation résiduelle) ou en matière organique (par illuviation) seuls ou en combinaisons. L'horizon B peut présenter des accumulations de Carbonate de

Calcium ou de Magnésium, de gypse, ou de sels plus solubles".

- (B) : horizon situé comme un horizon B, où les concentrations précitées sont faibles ou nulles, mais possédant une structure plus développée et/ou une couleur plus vive.
- C : "horizon formé de matériaux non consolidés et qui ne présente aucun des caractères distinctifs des autres horizons majeurs. (L'horizon C peut présenter des accumulations de Carbonate de Calcium ou de Magnésium, de gypse ou de sels plus solubles)".
- G ou gg : "horizon présentant des caractères de forte réduction dans des conditions d'anaérobiose, habituellement de couleur verdâtre ou grisâtre, et ne présentant aucune des propriétés caractéristiques des horizons A, E, ou B".
- g : "forte bigarrure indiquant des variations des conditions d'oxydation et de réduction dues à un engorgement d'eau temporaire" et indiquant le pseudogley comme processus essentiel de formation de l'horizon.
- (g) : horizon jauni à peu près uniformément par l'action prolongée d'une nappe, ou encore fortement décoloré par le même agent (hydratation + éluviation latérale).
- R : "roche sous-jacente consolidée".

Horizons de transition et de mélange

"Les horizons qui assurent une transition entre deux horizons majeurs sont indiqués par deux lettres majuscules désignant les deux horizons majeurs concernés. L'ordre des lettres indique les caractères dominants de l'horizon de transition (par exemple : AB ou BA). Les horizons de mélange sont indiqués par les deux lettres majuscules désignant les deux horizons majeurs concernés, mais séparés par un trait oblique (par exemple (A/B))."

E/B : horizon B discontinu où des bandes ou raies épaisses d'accumulation sont séparées par des niveaux décolorés présentant les caractéristiques de l'horizon E.

Sous-Horizons

"La subdivision des horizons majeurs ou de transition est notée par des chiffres dans l'ordre numérique".

- A.1 : partie supérieure de l'horizon A, plus sombre et organique.
- A.2 : partie inférieure de l'horizon A de nombreux sols lessivés ou appauvris, à taux de matière organique inférieurs à ceux

de l'horizon A.1, à taux de plasma minéral égaux ou plus faibles que ceux de l'horizon A.1, inférieurs à ceux de l'horizon sous-jacent.

B.1, B.2, B.3, etc : dans ces subdivisions de l'horizon B on opère généralement de sorte que l'horizon B.2 soit le plus riche en plasma minéral, ou le plus vivement coloré, ou le mieux structuré.

Discontinuités

"Lorsqu'il est nécessaire de numéroter des couches de matériaux différents, des chiffres romains sont placés en avant des désignations des horizons concernés. Par exemple quand on estime que l'horizon C est différent du matériau dans lequel on présume que le sol s'est formé, on peut noter la séquence de la façon suivante : A, B, IIC. La même notation peut être appliquée lorsque des matériaux différents peuvent être distingués à l'intérieur de l'horizon C (par exemple C, IIC, IIIC.)".

Indices de signification génétique

"En plus de la subdivision numérique une lettre en indice ayant une signification génétique peut être ajoutée à la désignation de l'horizon L'indice suit la notation numérique"

- a. - (Allemand : Anmoer) matière organique bien décomposée dans des conditions d'hydromorphie.
- b. - (Anglais : buried) horizon enseveli (fossile s.s.).
- ca. - accumulation de carbonate de calcium.
- cs. - accumulation de sulfate de calcium.
- cn. - concrétions ou nodules durs enrichis en sesquioxydes.
- fe. - accumulation illuviale de fer.
- g. - bigarrure du pseudogley assortie d'autres caractères classant différemment l'horizon.
- gg. - décoloration ou réduction du gley assortie d'autres caractères classant différemment l'horizon.
- h. - matière organique humifiée bien décomposée; généralement omise car ce caractère s'entend de tous les horizons A ou peu s'en faut des sols nigériens.
- l. - (Anglais litter, litière).
- m. - forte cimentation ou consolidation.

- p. - (Anglais : plowing); perturbé par le labour ou toute autre pratique culturale; par extension perturbé par toute autre action analogue (boutis).
- pl. - changement brusque de texture; horizon B planique.
- r. - couche de gravillons ou de graviers, etc.
- sa. - accumulation de sels plus solubles que le gypse.
- sn. - forte proportion de sodium échangeable dans le complexe absorbant.
- na
- t. - (Allemand Ton, argile) accumulation illuviale d'argile.
- vv. - structure de vertisol (en coin avec faces lissées)
- V bien développée
- v. - structure de vertisol peu développée.