

REPUBLIQUE DU NIGER



Fraternité - Travail - Progrès

AFRICA ADAPTATION PROGRAMME - AAP

*Supporting Integrated and Comprehensive Approaches to Climate
Change Adaptation in Africa*



CABINET DU PREMIER MINISTRE

-----¤-----¤-----
**Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable
(CNEDD)**



-----¤-----¤-----
Unité Nationale de Coordination du Projet AAP/Niger
-----¤-----¤-----

**IMPACTS DES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES DANS LE SECTEUR
DE L'AGRICULTURE AU NIGER**

Rapport final

Décembre 2011

TABLE DE MATIERE

Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	V
RESUME EXECUTIF	1
I. INTRODUCTION	4
1. Contexte.....	4
2. Objectif de l'étude.....	7
II. PRESENTATION ET EVOLUTION DU SECTEUR	8
III. ETUDES D'IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES	11
1. Approche statistique ou empirique	11
2. Approche basée sur les modèles mécanistiques.....	12
IV. METHODOLOGIE	17
A. Choix de l'approche et du Modèle SARRAH V3.....	17
B. Mise en œuvre du modèle	17
C. Traitement des résultats :.....	19
V. IMPACTS FUTURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE SECTEUR .	20
A. Région de Gaya	20
A1. Évolution de la pluviométrie.....	20
A2. La variété de mil précoce Haini Kirey (HK).....	20
A3. la variété de mil précoce Souna3	22
A4. La variété ML-Tamari du Sorgho	23
A5. Maïs en sol argileux (variété Bondofa).....	24
B. Région de KONNI	25
B1. La variété de mil précoce Haini Kirey (HK).....	25
B2. La variété de mil précoce Souna3	26
B3. Sorgho ML Tamari.....	27
C. Région de Maïne Soroa.....	27
C1. Évolution de la pluviométrie	27
C2 : Variété du mil précoce du Mil (HK).....	28
C3 : Sorgho.....	29
D. Région de Maradi.....	30
D1. Évolution de la pluviométrie.....	30

D2. Variété du mil précoce Haini Kirey (HK).....	31
D3. Sorgho.....	32
E. Région de Niamey.....	33
E1. Variété de mil précoce Haini Kirey (HK)	33
E2. Sorgho sur sol argileux.....	34
F. Région de Tillabéry	35
F1. Évolution de la pluviométrie	35
F2. Variété du mil précoce Haini Kirey (HK)	36
F3. Variété de mil Souna 3	37
F4. Sorgho	38
G. Région de Zinder.....	39
G1. Évolution de la pluviométrie.....	39
G2. Variété de mil précoce Haini Kirey (HK).....	39
G3. Sorgho.....	41
H. Région de Tahoua	41
H1. Évolution de la pluviométrie.....	41
H2. Variété de mil précoce Haini Kirey (HK).....	42
H3 : Sorgho.....	43
 VI. ANALYSE DES RESULTATS	 45
 VII. STRATEGIES D'ADAPTATION	 49
1. <i>Les adaptations à court terme</i>	49
2. <i>Les adaptations à long terme</i>	50
 VIII CONCLUSION - RECOMMANDATIONS	 53
 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	 54
 ANNEXES.....	 56
Annexe 1 : Impacts du changement climatique et conséquences pour les systèmes alimentaires	57
Annexe 2 : Conséquences indirectes des impacts des changements climatiques sur les différentes dimensions de la sécurité alimentaire	58

Liste des figures

Fig 1 : Résultats du calibrage du modèle SARRA-H pour les simulations de l'évolution de la biomasse aérienne, de la biomasse foliaire et du rendement grain de la variété de mil HKP (90 jours). Traoré et Lona, 2010.....	14
Fig 2 : Rendements grains du mil observés et simulés par le modèle SARRA-H en 2004 dans quelques villages autour de Niamey, Traoré et Lona, 2010.....	14
Fig 3 : Projections de la pluviométrie à Gaya.....	20
Fig 4: Rendements réels de HK et rendements prévisionnels pour un sol sableux fertile à Gaya.....	21
Fig 5 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Gaya.....	21
Fig 6 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux non fertile à Gaya.....	21
Fig 7 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Gaya.....	22
Fig 8: Rendements réels et rendements prévisionnels du mil souna3 pour un sol sableux fertile à Gaya.....	22
Fig 9 : Rendement du Mil Souna sur un sol sableux fertile à Gaya.....	23
Fig 10 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Gaya.....	23
Fig 11 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Gaya.....	24
Fig 12 : Rendements réels et rendements prévisionnels du Maïs pour un sol argileux à Gaya.....	24
Fig 13: Anomalie de rendement du Maïs bondofa sur un sol argileux à Gaya.....	24
Fig 14 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux fertile à Konni.....	25
Fig 15 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Konni.....	25
Fig 16 Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux non fertile à Konni.....	25
Fig 17 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Konni.....	26
Fig 18 : Rendements réels et rendements prévisionnels du mil souna3 pour un sol sableux fertile à Konni ..	26
Fig 19 : anomalies de rendements du Mil Souna sur un sol sableux fertile à Konni.....	26
Fig 20 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Konni.....	27
Fig 21 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux fertile à Konni.....	27
Fig 22: évolution de la pluviométrie à Mainé Soroa.....	28
Fig 23: Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux fertile à Mainé Soroa	28
Fig 24 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Mainé Soroa.....	28
Fig 25 : Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux non fertile à Mainé Soroa.....	29
Fig 26 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Mainé Soroa.....	29
Fig 27: Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Mainé Soroa.....	30
Fig 28 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Mainé Soroa.....	30
Fig 29 : évolution de la pluviométrie à Maradi.....	30
Fig 30 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux fertile à Maradi.....	31
Fig 31 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Maradi.....	31
Fig 32 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux non fertile à Maradi.....	32
Fig 33 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Maradi.....	32
Fig 34 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Maradi.....	32
Fig 35 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Maradi.....	33
Fig 36 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux fertile à Niamey.....	33
Fig 37 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Niamey.....	33
Fig 38: Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux non fertile à Niamey.....	34
Fig 39 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Niamey.....	34
Fig 40 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux non fertile à Niamey.....	35
Fig 41 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux fertile à Niamey.....	35
Fig 42 : évolution de la pluviométrie à Tillabéry.....	35
Fig 43 : Rendements réels et rendements prévisionnels du Hk pour un sol sableux fertile à Tillabéry.....	36
Fig 44 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Tillabéry.....	36
Fig 45 : Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux non fertile à Tillabéry.....	37
Fig 46 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Tillabéry.....	37
Fig 47 : Rendements réels et rendements prévisionnels du mil souna 3 pour un sol sableux fertile à Tillabéry.....	37
Fig 48: Rendement du Mil Souna sur un sol sableux fertile à Tillabéry.....	38
Fig 49 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Tillabéry.....	38
Fig 50 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Tillabéry.....	38

Fig 51: Évolution de la pluviométrie à Zinder	39
Fig 52 Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux fertile à Zinder	39
Fig 53: Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Zinder	40
Fig 54 : Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux non fertile à Zinder	40
Fig 55 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Zinder	40
Fig 56 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Zinder	41
Fig 57: Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Zinder	41
Fig 58 : Évolution de la pluviométrie à Tahoua.....	42
Fig 59 : Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux fertile à Tahoua	42
Fig 60 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Tahoua	42
Fig 61 : Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux non fertile à Tahoua	43
Fig 62: Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Tahoua	43
Fig 63: Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Tahoua	44
Fig 64 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Tahoua.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1: Récapitulatif pour la variété précoce de mil Haini Kirey en situation de sols non fertiles	45
Tableau 2 : Récapitulatif pour la variété précoce de mil Haini Kirey en situation de sols fertile.....	45
Tableau 3 : Récapitulatif pour la variété sorgho ML tamari sur sol argileux	46

SIGLES ET ABREVIATIONS

AGRHYMET :	Centre de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle
CILSS :	Comité Permanent Inter États de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel
CNCVC :	Commission Nationale Changement et Variabilité Climatiques
CNEDD :	Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable
FEM :	Fonds pour l'Environnement Mondial
PANA :	Programme d'Action National pour l'Adaptation
PIB :	Produit Intérieur Brut
PNLCD :	Plan National de Lutte Contre la Désertification
GP/H :	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SDR :	Stratégie de Développement Rural
SRP :	Stratégie de Réduction de la Pauvreté
ABN :	Autorité du Bassin du Niger
PAA :	Programme d'Adaptation aux changements climatiques en Afrique
AHA :	Aménagement Hydro Agricole
CCD :	Convention de Lutte contre la Désertification
CCNUCC :	Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique
CDB :	Convention pour la Diversité Biologique
CLD :	Convention des Nations Unies pour la Lutte contre la Désertification
DSRP :	Document de la stratégie de Réduction de la Pauvreté
EEA :	European Environment Agency (Agence Européenne pour l'environnement)
FAO :	Organisation des nations unies pour l'alimentation
FRIEND-AOC :	Composante Afrique de l'Ouest et du Centre du projet FRIEND
GIEC :	Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat
HYCOS-AOC :	Composante Afrique de l'Ouest du système d'observation du cycle hydrologique mondial (WHYCOS) de l'Organisation Mondiale de la Météorologie
INS :	Institut Nationale de la statistique
MHE/LCD :	Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification
PAM :	Programme Alimentaire Mondial
PANA :	Plan d'Action National pour l'Adaptation aux changements climatiques au Niger
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement
PRESAO :	Prévision saisonnière en Afrique de l'Ouest
SDR :	Stratégie de Développement Rural
SAP/GC :	Système d'alerte précoce et gestion des crises
SEC :	Scénario sec
HUM :	Scénario humide
BVP :	phase végétative
RPR :	phase reproductrice
Mat :	phase de maturité
PSP :	phase sensible à la photopériode
DHS :	déficit hydrique des Sols

RESUME EXECUTIF

Le Niger a un climat de type sahélien caractérisé par une grande variabilité interannuelle de la pluviométrie qui se traduit par des années sèches devenues de plus en plus fréquentes occasionnant une dégradation accélérée de son environnement. Son agriculture est essentiellement pluviale et dominée par les céréales (mil, sorgho, maïs, riz) et des cultures de rente (niébé, arachide, voandzou, sésame, oseille, souchet, coton). En irrigué, le Niger produit aussi du riz dans les aménagements hydro agricoles et des cultures maraîchères dont l'oignon principalement. Le potentiel en terres cultivables est estimé à 14,5 millions d'hectares dont seulement 270 000 ha de terres irrigables. Sur ce potentiel, environ 6,2 millions d'ha sont mis en culture pluviale et 85 700 ha en culture irriguée. Les sols sont en général pauvres en éléments nutritifs et en matières organiques. 85% des sols cultivables sont dunaires, peu productifs, fragiles et très sensibles à l'érosion hydrique et éolienne. Les pratiques culturales paysannes sont caractérisées par un faible niveau d'intensification et restent très majoritairement manuelles. Les rendements obtenus sont faibles et très fluctuants. La faiblesse de la fertilisation, la réduction des jachères et l'extension des terres de culture par le défrichage de terres marginales favorisent le développement de l'érosion hydrique et éolienne et ne permettent plus d'assurer la reproduction de la fertilité des sols. On estime que moins de 4% des superficies cultivées en pluvial reçoit de l'engrais. A cela s'ajoute une dégradation avancée des ressources naturelles davantage accentuée par un contexte socio-économique difficile (pauvreté, augmentation rapide de la population avec un taux de 3,3%) qui affaiblit les capacités d'adaptation des populations.

Dans ces conditions, la production agricole, y compris l'accès à l'alimentation risque d'être sévèrement touchée par la variabilité et les changements climatiques. La superficie des terres arables, la longueur des saisons de culture et le rendement par hectare sont susceptibles de baisser. Ceci risquerait de réduire la sécurité alimentaire et accentuerait la malnutrition au Niger. Aussi, la hausse des températures associée à une variabilité accrue des précipitations entraînera des dysfonctionnements des saisons agricoles, des perturbations des cycles biologiques des cultures et une détérioration des productions agricoles. Des études récentes ont déjà montré que les rendements des cultures comme le mil/sorgho vont baisser de plus 10 % dans le cas d'augmentation des températures de + 2°C et de variations peu significatives des précipitations à l'horizon 2050. Une hausse de + 3 °C engendrera une baisse de rendements agricoles de l'ordre de 15 à 25 %. (Sarr et al. 2007, AGRHYMET, 2009). En revanche, pour le cas des plantes comme le riz, une certaine augmentation des rendements de l'ordre 10 à plus de 35 % pourrait être observée au cours des prochaines décennies si les ressources en eau sont suffisantes (Sarr et al. 2007, Keita, 2009).

De telles prédictions de l'impact de ces changements climatiques dans le secteur agricole s'avèrent donc indispensables à l'échelle de chaque région de notre pays pour de mieux asseoir les mécanismes adéquats de planification à long terme de l'adaptation dans les politiques et stratégies de développement. C'est pourquoi la composante nationale du Programme Africain d'adaptation (PAA) a initié cette étude pour la période 2010 -2050. Ainsi, les simulations de rendements des principales céréales (mil, sorgho et maïs) ont été réalisées à l'aide du modèle SARRAH V3.2 calibré pour ces cultures. Les paramètres de simulation sont : le type de culture, le type de variété, le type de sols, le niveau de fertilité, et le scénario climatique (sec ou humide). Les scénarii climatiques (sec et humide) ont été fournis par l'équipe climat qui a fait les simulations pour les différentes stations synoptiques par région (Gaya, Konni, Mainé Soroa, Maradi, Niamey, Tahoua, Tillabéry et Zinder).

Pour la variété Haini Kirey du mil, dans toutes les localités, les rendements sont supérieurs la moyenne 1981-2010 sur sols sableux fertiles, en scénario sec comme humide. On constate cependant une légère tendance à la baisse à l'horizon 2050. En condition de sols sableux pauvres, les rendements sont en général en dessous de la moyenne 1981-2010 dans la majorité des localités. On observe aussi une tendance à la baisse des rendements et une amplitude de variation de ces derniers beaucoup plus marquées avec le scénario sec. Les simulations ont également montré qu'un meilleur niveau de fertilité des sols permet d'atténuer les fortes variations des rendements même en scénario sec. Globalement à l'échelle du pays, la variation moyenne des rendements par rapport à la moyenne 1981-2010 est de +129% et 106% en sols fertiles et +15% et +24% en sols pauvres, respectivement en scénario humide et sec.

Pour le sorgho sur sol argileux, on observe une grande alternance entre années déficitaires et excédentaires par rapport à la moyenne 1981-2010 pour les deux scénarii dans toutes les localités. On constate une baisse moyenne des rendements variant de -17 % à -18% à Gaya et -1% à -17% à Konni respectivement pour le scénario humide et le scénario sec. Tahoua et Tillabéry connaîtront aussi des baisses moyennes de rendements respectivement de -2 à -13 % en scénario sec uniquement. Globalement à l'échelle nationale, on obtient une variation moyenne de seulement +30% pour le scénario humide et +21% pour le scénario sec.

Chez le maïs, la simulation a été faite uniquement pour Gaya qui présente un potentiel pour sa culture sous pluies. Les rendements moyens seront supérieurs à la moyenne 1981-2010 pour les deux scénarii. Pour le scénario humide, la tendance sera en légère hausse de 2010 à 2050, tandis que pour le scénario sec la tendance sera à la baisse sur la même période.

On constate que dans les différentes régions, l'effet de la fertilisation compense, voire annule l'effet du déficit hydrique. Sur les sols sableux, particulièrement à Tillabéry et Tahoua, le scénario humide est défavorable dans les sols sableux pauvres. Pour l'ensemble des cultures, quel que soit le type de sols et le scénario climatique, la tendance des rendements est en général à la baisse à l'horizon 2050 même si les niveaux de rendements sont dans la plupart des cas supérieurs à la moyenne 1981-2010 qui est malheureusement faible aussi.

En tenant compte des besoins alimentaires des nigériens à l'horizon 2050 et avec les systèmes de production actuels, ces variations moyennes des rendements simulées ne permettent pas de gagner le pari pour la sécurité alimentaire même dans l'hypothèse climatique favorable (scénario humide). Dans l'hypothèse climatique défavorable (scénario sec), les pertes de productivité aggraveront davantage les crises alimentaires déjà récurrentes dans le pays. Face à ce défi, les populations ont développé plusieurs stratégies pour s'adapter au contexte. Malheureusement, toutes ces stratégies paraissent très limitées pour une adaptation à moyen et long terme. Face à ces enjeux futurs, des politiques, stratégies et actions aux niveaux national, régional, et international s'avèrent indispensables pour limiter les effets de ces changements climatiques et pour permettre aux populations de s'adapter durablement.

Ainsi, des options d'adaptation portant sur l'amélioration de la résilience des systèmes agricoles au travers des méthodes et des technologies pour faire face à cette nouvelle donne climatique doivent être entreprises. Il s'agit essentiellement de mesures d'adaptation identifiées dans le cadre du Programme d'Action National d'Adaptation PANA et des pratiques paysannes :

- la redéfinition des calendriers agricoles en jouant sur les dates semis x le cycle cultural des variétés pour mieux gérer la variabilité pluviométrique,
- la mise au point des variétés adaptées au stress hydrique et /ou à la chaleur,
- la mise au point de méthodes de gestion de l'eau à des fins agricoles : conservation des eaux et de sols et de protection des cultures face aux extrêmes climatiques, irrigation de

complément et irrigation pure à partir des eaux de surfaces (fleuves, mares, bassins de rétention, eaux souterraines...)

- le développement de cultures irriguées, la diversification et l'intensification des cultures,
- l'adoption de méthodes de gestion raisonnée de la fertilité des sols etc

Pour inscrire toutes ces mesures dans la durée, la politique agricole du Niger doit soutenir une agriculture adaptée aux variations climatiques, développer des technologies et pratiques résistantes au changement climatique, mettre en place des systèmes d'alerte précoce, de prévision et d'information climatiques et intégrer les mesures d'adaptation dans le processus de développement du pays et les stratégies agricoles.

I. INTRODUCTION

1. Contexte

Le Niger a un climat de type sahélien, qui se caractérise par une grande variabilité interannuelle de la pluviométrie qui se traduit par des années sèches devenues de plus en plus fréquentes. Cette situation est liée à la nature du climat et aux changements climatiques dont les manifestations néfastes extrêmes handicapent le développement du pays. En effet, depuis les grandes sécheresses des années 70 et 80, le Niger a été confronté à une dégradation accélérée de son environnement. Cette dégradation a provoqué non seulement la réduction et la baisse du potentiel productif du "capital ressources naturelles", mais aussi, la désarticulation des systèmes séculaires de production et de gestion des milieux naturels (MHE/LCD, 2005). Cette fragilité des écosystèmes du pays le rend très vulnérable à ces phénomènes sans compter que le contexte socio économique difficile affaiblit les capacités d'adaptation des populations. En outre, le pays connaît une augmentation rapide de sa population avec un taux d'accroissement de 3,3% par an (INS, 2007).

Les projections faites pour le Niger pour les températures, font apparaître que malgré une grande variabilité, tous les modèles s'accordent à prédire une augmentation moyenne des températures maximales (de 2,3 à 2,6°C) à l'horizon 2020-2049. Cette hausse est moins marquée au cours des mois de juin, juillet, août et septembre correspondant à la saison des pluies. Cette tendance à l'augmentation existe depuis 1993 pour ce qui est des maxima et depuis 1986, pour les minima. Ce régime thermique est caractérisé par quatre périodes distinctes : 1) une période sèche froide (mi-décembre à mi février), une période sèche chaude (mars à mai), une saison pluvieuse (juin à septembre) et enfin, 4) une période de transition entre la saison pluvieuse et la saison sèche (octobre à mi-décembre), relativement chaude.

La pluviométrie varie fortement dans l'espace et dans le temps. L'évolution des écarts pluviométriques moyens annuels par rapport à la moyenne sur la période 1961-2007 montre une nette augmentation de la fréquence des années déficitaires depuis 1970. Les prévisions pour les précipitations font ressortir une légère hausse du cumul des précipitations à l'horizon 2020-2049 et un démarrage plus tardif de la saison des pluies. Il est prévu une forte augmentation des précipitations sur la station de Tillabéry et une très légère diminution sur les stations de Gaya, Niamey et Mardi.

Le PANA a dégagé les catégories des risques climatiques. Les principaux impacts directs et indirects anticipés de la variabilité et des changements climatiques ont été identifiés, principalement dans le cadre du PANA et de la seconde communication nationale. Le secteur agricole y est considéré comme vulnérable au regard de l'évolution des facteurs climatiques et leurs tendances. L'action de l'homme et du climat sur la flore et la faune fragilise les écosystèmes et le déséquilibre entre les besoins et les ressources tend inexorablement vers son point de rupture (la sécheresse de 1973 en a sonné l'alarme).

Dans la mesure où nous ne pouvons pas empêcher cette dégradation, les experts de la conservation des ressources naturelles développent des stratégies susceptibles d'accroître la capacité de résistance des écosystèmes et des communautés vivant directement ou indirectement de ces ressources, face aux risques imputables aux changements climatiques (Brett, 2004 *in* Daouda, 2007).

Le Niger est un des pays les moins peuplés d'Afrique de l'Ouest. Cependant, la population y croît rapidement à cause de son fort taux de natalité et d'une balance démographique excédentaire qui tend à faire doubler cette population tous les 20-25 ans (Atlas du Niger : page 31). De 1.07 millions

d'habitants en 1905, elle passe à 1.86 millions en 1930, puis à 2.4 millions en 1950, 4.25 en 1975, 11.06 en 2001 et 15 millions en 2010. Pendant cette dernière période, le Niger compte 50,77 % de femmes, 47,6 % de moins de 15 ans, 31 % de 15-43 ans. Au moins 83 % de cette population vit en milieu rural.

Les analyses relèvent l'impossibilité, au fil des années, de couvrir les besoins alimentaires de la population en forte croissance. En outre, la dégradation des terres et les rendements d'une agriculture archaïque, ainsi que l'insuffisance du soutien (subvention, financement) à ce secteur laisse prévoir une production décroissante devant des besoins grandissants, situation qui pourrait s'aggraver si la variabilité climatique doit augmenter.

Dans le rapport mondial sur le développement humain (PNUD, 2008), Ban ki Moon, secrétaire général de l'ONU déclare que « la lutte contre le changement climatique nécessite une action sur deux fronts : la réduction des émissions des gaz à effet de serre et l'adaptation ». Selon, le GIEC (2001), l'adaptation consiste en un ajustement à l'intérieur d'un système humain, en réponse à un stimulus climatique ou à ses effets, actuels ou envisagés, incluant la variabilité et les extrêmes climatiques. L'adaptation est donc un processus qui prend racine dans la socialisation, l'apprentissage social et politique, et s'exprime à travers des mécanismes et des décisions pour affronter les stress climatiques (Nyong et al, 2007).

L'adaptation concerne les politiques, les pratiques, les projets susceptibles de limiter les dommages et/ou de créer des opportunités associées aux changements climatiques (EEA, 2005). Il n'est pas possible de mettre en place une politique d'adaptation sans tenir compte du contexte social dans lequel baignent des connaissances et/ou savoirs locaux. Pour le PNUD (2008), les politiques sont plus efficaces et répondent mieux aux besoins des pauvres lorsque ceux-ci sont à mesure de participer à l'identification des priorités et à la définition des politiques. En effet, les populations rurales ont une certaine connaissance de leur milieu et de ses ressources dont elles tirent leur subsistance. Toute modification qualitative ou quantitative de ces ressources entraînera un changement dans la mise en valeur du milieu. Ainsi, la dégradation des terres agricoles aboutit au défrichement des zones boisées réduisant du coup les fonctions multiples qu'elles assurent. La disparition de certains points d'eau suite aux sécheresses récurrentes modifiera la distribution spatiale de la flore et de la végétation.

Le Gouvernement du Niger, à travers les institutions, propose un éventail de mesures d'adaptation à différentes échelles. Les options prioritaires préconisées sont essentiellement à trois niveaux : i) opérationnel ; ii) socio-économique et iii) sensibilisation/renforcement des capacités. A moyen et long terme, ces mesures pourront contribuer à une amélioration significative de la sécurité alimentaire dans des dimensions suivantes : - disponibilité, accessibilité, qualité, durabilité.

Le Niger a adopté en janvier 2002, une Stratégie de Réduction de la Pauvreté (SRP) dont l'ambition est de réduire l'incidence globale de la pauvreté de 63 % à moins de 50 % à l'horizon 2015. Dans cette perspective, elle assigne au secteur rural une place prépondérante. Pour rendre opérationnelle la SRP, plusieurs politiques et programmes sectoriels ont été élaborés, dont la Stratégie de Développement Rural adoptée en novembre 2003, ayant pour objectif global de réduire l'incidence de la pauvreté rurale de 66 % à 52 % à l'horizon 2015.

Depuis les années 70, en dépit des efforts importants déployés dans le développement du monde rural, le secteur connaît une situation préoccupante se traduisant notamment par une faible productivité des systèmes de production, l'augmentation des conflits autour de l'exploitation des ressources naturelles, la dégradation continue de l'environnement, la production des céréales de base (mil, sorgho, maïs, riz) qui généralement demeure inférieure aux besoins de consommation, la

difficulté pour les organisations professionnelles de jouer pleinement leur rôle face au désengagement de l'État.

Les principaux indices de vulnérabilité se matérialisent par une pauvreté généralisée, des sécheresses cycliques fragilisant les ressources naturelles, une grande dépendance (au moins 80 % de la population active) à une agriculture pluviale et à un élevage extensif très sensible aux aléas climatiques, une pression sur l'environnement se matérialisant par une déforestation poussée liée aux besoins énergétiques des ménages.

S'agissant du secteur agricole, des études antérieures ont identifié plusieurs risques climatiques qui sont des phénomènes connus de longue date. Ce sont les sécheresses, les inondations, les vents de sable, les canicules, les feux de brousse et les ennemis de cultures.

Au niveau de ce secteur, les impacts des changements se matérialisent par des variations des dates normales de démarrage et de fin des saisons des pluies et des déficits hydriques. Le secteur de l'élevage connaît une baisse des quantités et de la qualité des fourrages, une pression autour des points d'eau modernes occasionnant des conflits et la dégradation accélérée de l'espace suite au piétinement. Dans le domaine de la foresterie, il y a amenuisement des massifs forestiers, diminution de la régénération naturelle et de la réduction de la diversité biologique. Sur le plan des ressources en eau, la baisse généralisée des eaux de surface et du niveau de la nappe phréatique. La santé humaine connaît une perturbation du fait de l'augmentation du taux d'attaque de certaines maladies fortement dépendantes des conditions climatiques, suivie de la réduction de la capacité d'intervention des ménages en milieu rural et l'augmentation des dépenses de santé.

Les départements administratifs, les communes et les villages les plus vulnérables ont été identifiés par le PANA en 2006 à travers les consultations des autorités, des populations locales et la concertation des techniciens et des experts à tous les niveaux. On constate que chaque région renferme au moins une zone vulnérable à la variation et aux changements climatiques. La répartition spéciale des zones vulnérables confirme l'extrême sensibilité du Niger aux variations et changements climatiques, phénomène beaucoup plus accentué dans la partie méridionale (Azawak). Cette situation découlant des analyses réalisées en 2006 peut varier avec le temps et nécessite donc une mise à jour périodique.

Ainsi, le PANA et la SCN ont permis au Niger de définir les communautés, zones et secteurs socio-économiques vulnérables aux changements climatiques ainsi que les mesures d'adaptation prioritaires pour augmenter leur résilience face aux CC et cela en relation avec les stratégies et politiques nationales de développement économique et social telles que la Stratégie de Développement Rural (SDR) et la Stratégie de Développement accéléré et de Réduction de la Pauvreté (SDRP).

Malgré tous ces efforts, des défis restent à relever : par exemple les capacités du pays, les relations, les politiques et pratiques institutionnelles en matière d'évaluation et de gestion des risques liés aux changements climatiques ne sont pas suffisamment développées pour créer un environnement porteur où les décideurs politiques et sociaux appuient la formulation et l'application de solutions efficaces pour faire face aux répercussions et impacts multisectoriels complexes des changements climatiques.

La Composante Nationale du Programme Africain d' Adaptation vise à combler ce défi en établissant un environnement porteur au Niger et à le doter des capacités requises au niveau local et national pour lui permettre de concevoir, financer, mettre en œuvre, suivre et ajuster ses politiques et plans d'adaptation à long terme, intégrés et efficaces pour faire face à une large

gamme de situations climatiques possibles prévues par le PANA et ses Communications Nationales.

La présente étude qui entre dans le cadre de la mise en œuvre de la composante nationale PAA, porte sur l'évaluation des impacts liés aux changements climatiques pour les secteurs clés du développement économique et social du Niger afin de mieux asseoir les mécanismes adéquats de planification à long terme de l'adaptation dans les politiques et stratégies de développement.

2. Objectif de l'étude

Il s'agit de contribuer à l'évaluation approfondie des risques de changement pour l'agriculture et à mettre en place un ensemble d'outils d'analyse et de planification à long terme pour gérer les incertitudes sur le développement économique et social du pays inhérentes aux changements climatiques au Niger. En termes d'objectifs spécifiques, il est question de :

- sélectionner un modèle applicable au cas du Niger permettant de :
 - analyser la portée stratégique de l'évaluation des impacts des changements climatiques afin d'en déterminer sa finalité (information des décideurs, développement de la stratégie nationale d'adaptation, intégration dans les politiques et plans, etc.) ;
 - évaluer l'étendue de l'évaluation des impacts des changements climatiques (géographique, thématique, couverture sectorielle, horizon temporel, etc.) ;
- élaborer des modèles biophysiques intégrant les effets des paramètres climatiques (températures et précipitations) ou à défaut de valider et adapter ceux déjà existants pour le cas du Niger;
- coupler les modèles retenus ou développés lors d'une étude précédente avec des modèles socioéconomiques pour évaluer ou modéliser les impacts socio-économiques et environnementaux du CC dans l'agriculture en tenant compte de la concordance des processus et des échelles spatiales et temporelles et des niveaux d'organisation (local, régional, national, horizon temporel) tels que définis dans les stratégies et politiques nationales de développement notamment la SDR et la SRP.

II. PRESENTATION ET EVOLUTION DU SECTEUR

L'agriculture occupe une part importante dans l'économie nigérienne et est actuellement une source importante de revenus pour une très grande majorité de la population. Mais elle est essentiellement pluviale et basée donc sur le régime pluviométrique du pays. Sur la base des précipitations, on distingue quatre zones agroclimatiques : i) la zone sahélo-soudanienne qui représente environ 1% de la superficie totale du pays et reçoit 600 à 800 mm de pluie par an au cours des années normales ; ii) la zone sahéenne couvre 10% du pays et reçoit 500 à 600 mm de pluie ; iii) la zone sahélo-saharienne qui représente 12% de la superficie du pays (150 à 350 mm/an) ; iv) et la zone saharienne, désertique, qui couvre 77% du pays (moins de 150 mm/an).

La superficie totale cultivable du Niger est estimée à 15 millions d'hectares, soit moins de 13% du territoire. Seulement 8 millions d'hectares sont annuellement emblavés en cultures pluviales surtout en cultures céréalières sur des sols très fragiles. Les principales espèces cultivées sont les céréales (mil, sorgho, riz, fonio, maïs) et des cultures de rente (niébé, arachide, voandzou, sésame, oseille, souchet coton). La taille moyenne des exploitations d'agriculture pluviale est de 5 ha pour environ 6 actifs agricoles. Les pratiques culturales paysannes sont caractérisées par un faible niveau d'intensification et restent très majoritairement manuelles. La faiblesse de la fertilisation, la réduction des jachères et l'extension des terres de culture par le défrichage de terres marginales favorisent le développement de l'érosion hydrique et éolienne et ne permettent plus d'assurer la reproduction de la fertilité des sols. On estime que moins de 4% de la surface d'agriculture pluviale reçoit de l'engrais. Les rendements obtenus sont faibles et très fluctuants. La production annuelle tourne autour de 3 millions de tonnes notamment ces dernières années.

Ce système de production est fortement sujet au risque climatique récurrent et à la pression démographique limitant les jachères et entraînant une extension des cultures sur les terres marginales et les forêts. Ceci se traduit par un problème de reconstitution de la fertilité des terres. De manière constante, les rendements diminuent substantiellement du fait de la détérioration des conditions climatiques, de la surexploitation des ressources naturelles et de la sous-utilisation des engrais minéraux. Sur les 20 dernières années, une baisse de l'ordre de 30% a été observée, ce qui reflète la baisse de la fertilité des sols, un des problèmes majeurs de l'agriculture au Niger. Cette situation est à la base du déficit de production enregistré pratiquement une année sur trois (entre 200 000 et 300 000 tonnes) provoquant ainsi une diminution de l'autosuffisance alimentaire et obligeant du coup des importations vivrières importantes.

Le potentiel en terres irrigables globalement estimé à 270 000 ha est concentré dans la vallée du fleuve, le long de la Komadougou, près du lac Tchad, les Dallols, les vallées sèches et les cuvettes oasiennes de Manga et de l'Aïr. La reconnaissance du potentiel en terres irrigables est très ancienne, incomplète et partielle. Elle ne concerne que les grands systèmes hydrauliques. Le potentiel aménagé est évalué à 100 000 ha repartis comme suit: i) 14 000 ha d'aménagements hydroagricoles de grande taille qui sont des périmètres collectifs à maîtrise totale de l'eau réalisés par la puissance publique. Ils sont localisés dans la vallée du fleuve, Ader Doutchi Magia, Goulbi, Komadougou gérés par les producteurs organisés en coopératives et encadrées par l'Office national des aménagements hydro agricoles - ONAHA (les modalités de mise en valeur et de gestion sont fixées par la loi n° 60-28 du 25 mai 1960). La riziculture (2 campagnes/an) et la polyculture sont les spéculations pratiquées ; ii) 68 000 ha pour les cultures de décrue et de contre-saison qui sont en général des périmètres à maîtrise partielle de l'eau, irrigués à partir des puits, rivières, mares ou la décrue exploités par les producteurs (gestion commune des points d'eau) et

encadrées par les services agricoles ; iii) 18 000 ha en périmètres individuels privés à maîtrise totale de l'eau où sont pratiquées la riziculture, l'arboriculture et le maraîchage.

Les cultures irriguées sont généralement pratiquées sur de petites superficies. Les périmètres irrigués ont par exemple été conçus pour des parcelles de 0,25 à 0,5 ha par famille. L'exiguïté des parcelles rend l'exploitation non viable au plan économique lors des divisions de successions. Les dysfonctionnements dans la gestion collective de l'eau et les difficultés d'entretien des ouvrages hypothèquent la pérennité de ces systèmes.

En ce qui concerne le contrôle des eaux de pluie, plusieurs techniques de conservation des eaux et des sols ont été développées et ont permis l'aménagement de près de 500 000 ha pour les cultures pluviales offrant des rendements appréciables. Ainsi, le Niger dispose d'une agriculture irriguée diversifiée, avec des investissements publics et privés, et des niveaux variés de maîtrise de l'eau et de la productivité. Bien que pratiquée sur une infime proportion des terres cultivables, l'agriculture irriguée contribue de manière importante à l'économie nationale et à la sécurité alimentaire. Elle contribue à la production agricole à hauteur de 30% de sa valeur totale, et de 90 % des revenus des exportations de l'ensemble des productions végétales. Environ 200 000 foyers d'exploitants agricoles, représentant plus d'un million de personnes, participent à la production de cultures irriguées, sans compter ceux, moins nombreux, qui en amont fournissent intrants et services, et en aval s'occupent du traitement, de la manutention, de la commercialisation et du transport.

Mais ce type d'agriculture est confronté à des nombreuses contraintes qui limitent son développement. Il s'agit principalement de la faiblesse structurelle des capacités internes de financement des organisations de producteurs, de la dégradation des grands aménagements, des faibles capacités du secteur privé à assumer certaines activités (gestion de l'eau), des difficultés d'approvisionnement en engrais de qualité et en quantité, des ressources en eau dont la mise en valeur est souvent difficile et onéreuse, d'un cadre institutionnel complexe et des marchés financiers non fonctionnels.

Il faut aussi noter un relâchement de l'intérêt des partenaires techniques et financiers pour la grande irrigation au profit des autres formes d'irrigation (notamment la petite irrigation) et d'utilisation de l'eau pour l'agriculture.

Le Niger enregistre des sècheresses régulières, à l'origine de graves famines de récurrence décennale comme celles des années 1974, 1985, 1994 ou plus récemment en 2005 et 2009. L'insécurité alimentaire est de plus en plus marquée, atteignant un niveau tel que le déficit alimentaire du pays semble désormais structurel. Une année sur trois on enregistre un fort déficit compris entre 200 000 et 300 000 tonnes de céréales. Cette situation oblige à des importations vivrières importantes et la mise en œuvre de l'aide alimentaire internationale.

La situation nutritionnelle au Niger est inquiétante selon la FAO. Les taux de malnutrition chez les enfants sont élevés à travers tout le pays : plus de 32% accusent un retard de croissance - dont la moitié est sévèrement atteinte - plus de 15% souffrent d'émaciation et plus de 36% ont une Insuffisance pondérale. Il n'y a pas de signes d'amélioration depuis dix ans.

Les inondations ont également une influence négative sur l'agriculture. Pour l'année 1998 par exemple ce sont 588 ha de rizières, 8608 ha de champs de mil et 203 vergers qui ont été endommagés au Niger. Finalement les impacts socioéconomiques des facteurs climatiques sur l'agriculture se caractérisent par la baisse des rendements agricoles ayant comme entre autres conséquences :

- le déficit alimentaire engendrant une insécurité alimentaire permanente ;
- l'exacerbation des conflits fonciers très souvent meurtriers ;

- l'exode rural entraînant la création en milieu urbain des communautés exposées à la délinquance, à la mendicité, au vol et au banditisme ;
- l'accentuation de la pauvreté rurale ;
- la diminution de l'apport de l'agriculture dans le PIB.

III. ETUDES D'IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES

Les études d'impacts des changements climatiques portant sur les rendements agricoles sont généralement réalisées suivant deux principales approches : l'approche statistique ou empirique ou l'approche dynamique ou mécanistique.

1. Approche statistique ou empirique

Elle consiste essentiellement à mettre en relation certains paramètres biophysiques, particulièrement ceux qui touchent les conditions climatiques, avec les données de rendement. Les données de rendement étant disponibles, certains indicateurs agro climatiques étant élaborés ou calculés. On réalise ensuite une analyse de régression simple ou multiple. Celle-ci conduit à une équation où le rendement, variable dépendante, peut être estimé à l'aide des valeurs connues des indicateurs agro climatiques. L'utilisation de cette équation permet d'avoir une série temporelle pour le rendement futur des cultures à l'étude. La comparaison de celle-ci avec celle pour la période de référence permet de statuer ou d'apprécier la direction et l'ampleur des impacts des changements climatiques sur les rendements agricoles. Au Niger, cette approche a été utilisée dans deux études :

- a) Ben Mohamed *et al.* (2002) ont réalisé une étude basée sur des considérations purement statistiques. Cette étude conclut à une baisse de 13% de rendement pour le mil aux horizons 2025 en conséquence d'une hausse de température en Juillet-Août-Septembre. Il faut se souvenir que les précipitations sont bien corrélées avec les températures maximales de la même période ce qui impactera la culture pluviale qu'est le mil.
- b) La deuxième étude (Seidou *et al.*, 2006) porte sur la modélisation statistique de la relation climat-rendements céréalières pour le Niger, financé par l'Agence Canadienne de Développement International (ACDI) dans le cadre du projet d'Appui aux capacités d'Adaptation aux Changements Climatiques dans les Pays du Sahel. Selon cette étude basée sur un modèle logistique de régression, jusqu'à 42% de la variabilité du rendement du mil au Niger peut être attribuable aux précipitations.

Ces études présentées ici confirment bien les conclusions du 4^{ème} rapport du GIEC concernant une baisse des rendements des cultures céréalières comme conséquence de l'augmentation des températures en régions tropicales.

Moyennant la maîtrise des principes statistiques régissant les analyses de régression, la disponibilité d'une bonne série de données sur les rendements des cultures et certains paramètres climatiques ou biophysiques, cette technique d'estimation des impacts des changements climatiques sur les rendements agricoles est relativement facile à appliquer. Néanmoins, elle présente **certaines limitations majeures**. Cette technique ne fournit qu'une description statique des relations existant entre les rendements des cultures et les conditions biophysiques ou climatiques pour un site particulier. Elle n'indique pas explicitement la façon dont un indicateur agro climatique affecte un autre et n'offre généralement pas d'explications sur les mécanismes ayant conduit aux relations entre les indicateurs agro climatiques et les rendements (Poluektov et Topa, 2001; Thornley et Johnson, 2000). Par conséquent, il est impossible d'établir une relation de causalité à l'aide de cette technique (Teh, 2006). Généralement, le développement des équations de régression tient compte des paramètres climatiques passés; dans une perspective de changements climatiques futurs, les valeurs des paramètres climatiques risquent de se retrouver à l'extérieur des intervalles considérées lors du développement de ces équations.

2. Approche basée sur les modèles mécanistiques

Ces types de modèles utilisent des équations mathématiques représentant les processus de croissance et de développement des cultures suite aux interactions avec le sol et les conditions environnementales, notamment les conditions climatiques, pour simuler entre autres le rendement agricole. En d'autres termes, ils simplifient, à l'aide d'équations mathématiques, les principaux processus qui s'opèrent dans l'environnement complexe d'une plante ou d'une culture. Selon leur niveau de complexité et les facteurs de croissance et de développement considérés, ces modèles peuvent simuler plusieurs niveaux de rendements agricoles :

- le potentiel de rendement, c'est-à-dire le rendement agricole maximum qui peut être obtenu dans un environnement physique donné, déterminé uniquement par la concentration en CO₂ de l'atmosphère, le rayonnement solaire, la température et les caractéristiques de la plante ou de la culture en question,
- le rendement agricole limité par l'eau et/ou les éléments nutritifs, notamment l'azote et le phosphore.
- le rendement agricole limité à la fois par les facteurs environnementaux, les caractéristiques de la plante, l'eau, les éléments nutritifs, les mauvaises herbes, les ravageurs, les maladies et les polluants. Ce niveau de simulation est le plus complexe parmi les trois et explique en grande partie la rareté relative de ce type de modèle mécanistique.

Toutefois, indépendamment du niveau de rendement considéré, ces études suivent approximativement la même démarche méthodologique.

Les étapes de celle-ci comprennent :

- a) Le choix et l'analyse des données climatiques pour une période de référence ;
- b) L'élaboration et l'analyse de scénarios climatiques futurs à l'aide des modèles climatiques et des scénarios d'émissions disponibles ou souhaités ;
- c) L'intégration, pour la période de référence, des variables climatiques, des informations pédologiques, des caractéristiques des plantes ou des cultures et des pratiques culturales dans les modèles mécanistiques simulant entre autre le rendement agricole ;
- d) La calibration et la validation des modèles mécanistiques dans les conditions environnementales spécifiques à la région d'étude ;
- e) Les simulations des rendements agricoles futurs pour les scénarios climatiques élaborés à l'étape 'b' du processus, et ;
- f) La comparaison des rendements simulés pour la période de références et ceux obtenus pour les périodes futures. Cette comparaison conduit à une évaluation de l'ampleur et de la direction des impacts potentiels des changements climatiques sur les rendements agricoles de la région à l'étude. Cette évaluation est souvent utilisée comme point de départ dans le processus d'élaboration de stratégies d'adaptations aux changements climatiques anticipés.

On peut citer quelques exemples d'utilisation de ce type de modèles au Niger :

- a) Amadou ML (2004) utilise un logiciel CROPWAT élaboré par un groupe d'experts de la FAO pour le calcul de évapotranspiration de référence, des besoins en eau des cultures, des besoins d'irrigation et de l'alimentation en eau d'un périmètre, la mise au point des pilotages d'irrigation en diverses conditions de gestion, l'estimation des rendements des cultures pluviales et des effets des sécheresses. En utilisant deux scénarii (une période de référence et l'horizon 2025), le modèle présage une diminution de la disponibilité en eau du sol dans la zone d'Aguié pour les cultures pluviales au vu de l'augmentation du déficit d'humidité du sol

(DHS) comparativement aux résultats enregistrés pour la période dite de référence. Par contre, une légère amélioration des conditions déjà meilleures par rapport au reste du pays est prévue pour la zone de Gaya ; à cet effet, aucune baisse de rendement n'est prévue pour les céréales dans cette zone, néanmoins, on note une faible réduction du rendement du niébé.

- b) Le Centre Régional Agrhymet et le CERRAS ont utilisé le modèles DHC pour les estimations de rendements des cultures. Ces estimations sont proches de celles des statistiques agricoles. Toutefois, on constate que dans certaines zones, il y a des sous-estimations et dans d'autres des surestimations. Par ailleurs, la relation est plus étroite en année sèche qu'en année relativement humide. Ces disparités s'expliquent non seulement par la non prise en compte des facteurs phytosanitaires qui contribuent fortement à la baisse des rendements en certaines années, mais également la prédominance de l'effet des pratiques agricoles d'intensification quand le facteur hydrique n'est pas limitant.

Au fil du temps, avec l'utilisation de DHC, il est très vite apparu que l'approche bilan hydrique sur laquelle il est basé ne permet pas de bien simuler les rendements dans des conditions où l'eau n'est pas un facteur limitant. Ceci a conduit au développement du modèle SARRA-H qui, à terme, a déjà remplacé le DHC. En effet, SARRA-H est un modèle de simulation des rendements des cultures annuelles (mil, sorgho, etc.) qui intègre, outre le bilan hydrique, le bilan carboné de la plante et sa phénologie. Le bilan carboné permet de simuler l'assimilation du carbone selon les processus d'interception de la part photosynthétiquement active de l'énergie lumineuse en fonction des taux de couverture foliaire et de conversion de la fraction de lumière interceptée en matière sèche. Un coefficient génétique (ϵ_b) de conversion de l'énergie interceptée, dépendant de la transpiration relative de la plante, est utilisé pour la simulation du gain journalier de biomasse.

Le modèle SARRA-H gère la dynamique d'évolution de la biomasse totale en fonction de sa répartition entre les organes racinaires et aériens (feuilles, tiges, épis, grains) et des phases phénologiques. Les phases phénologiques classiques du développement des céréales : phase végétative (BVP), phase reproductrice (RPR), phases de maturation des graines (Matu1 et Matu2) ont des seuils de cumul thermique constants, sauf la phase sensible à la photopériode (PSP), dont la durée est variable selon la sensibilité de la variété à la photopériode. La phase qui s'étend de la RPR au 2/3 de MAT est considérée comme phase critique vis-à-vis du déficit hydrique.

Les travaux de recherche menés au CRA et au CERAAS au cours des dernières années ont permis de calibrer le modèle par rapport à la culture du mil, le sorgho et le maïs (en cours) dans les conditions expérimentales (Fig. 1).

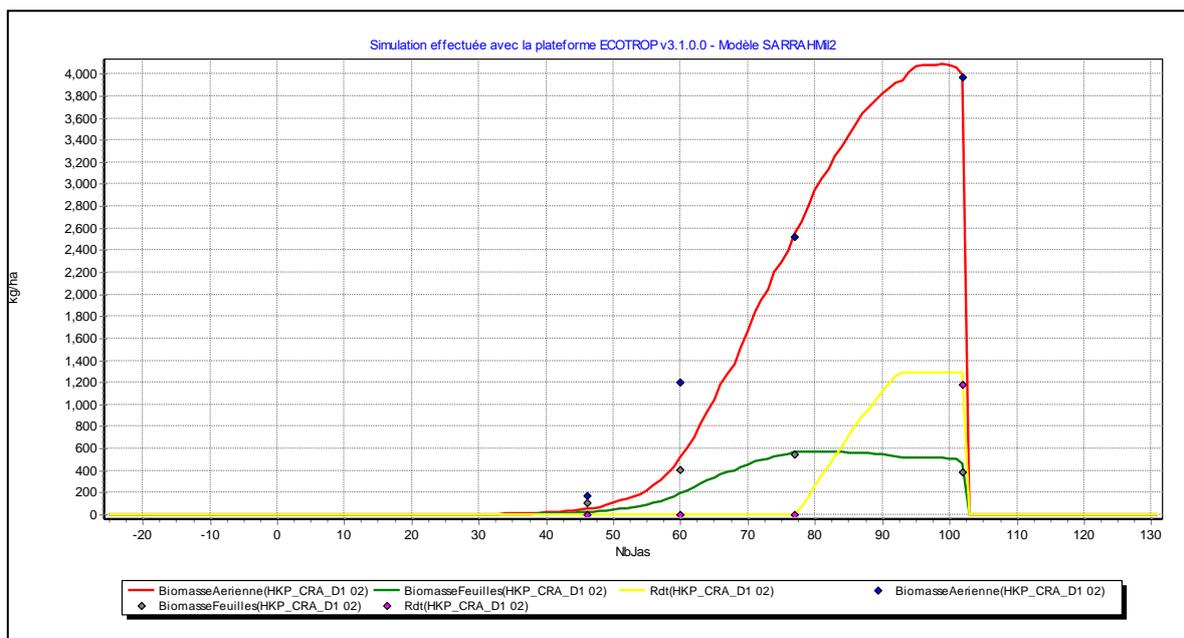


Fig 1 : Résultats du calibrage du modèle SARRA-H pour les simulations de l'évolution de la biomasse aérienne, de la biomasse foliaire et du rendement grain de la variété de mil HKP (90 jours). Traoré et Lona, 2010.

Ce modèle a également été validé pour les conditions et pratiques culturales rencontrées en milieu paysan (faible apport d'intrant, variétés locales, contraintes phytosanitaires) avec des résultats encourageant obtenus pour le mil dans la zone du degré carré de Niamey (Fig. 2).

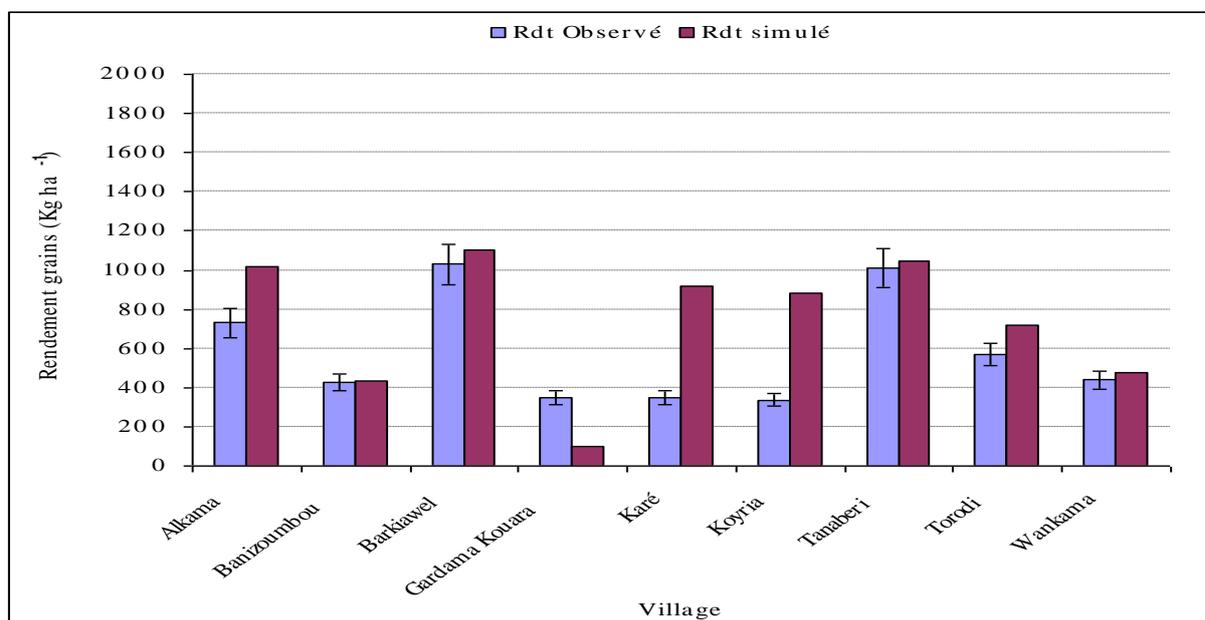


Fig 2 : Rendements grains du mil observés et simulés par le modèle SARRA-H en 2004 dans quelques villages autour de Niamey, Traoré et Lona, 2010.

C) Salack et al, (2008) a utilisé des données historiques couvrant la période 1961-1990 de 12 stations synoptiques de la zone soudano sahélienne du Niger. S'agissant des scénarii des changements climatiques on a eu recours à ceux du modèle HadCM3 correspondant aux

scénarii d'émission A2a et B2a extraits de 7 mailles couvrant les 12 stations évoquées plus haut. Concernant le modèle de croissance végétale, celui utilisé est le modèle SARRAH à croissance dynamique, simulant le développement et le rendement des cultures. Il a été possible d'estimer ainsi les impacts des scénarii climatiques sur la date de semis, la longueur du cycle de croissance, la production de la biomasse et le rendement des cultivars Souna III et suggérer des mesures d'adaptation à l'échelle locale pour une meilleure prise de décision.

Dans cette étude, l'utilisation du modèle SARRAH pour la simulation du mil se justifie parce qu'il a été étalonné et validé pour cette culture (Souna III) qu'on retrouve dans toute la zone soudano-sahélienne. La date de semi est générée de façon optionnelle en utilisant une fonction limite approximant la réponse du paysan. Le critère retenu était 20 mm de pluie suivis de 20 jours au cours desquels l'évolution de la culture est suivie, et le semi était considéré comme échoué si au cours des 10 jours sur les 20, l'ETP relative de la culture était inférieure à 30%.

Les résultats obtenus par ces auteurs font état d'une réduction du cycle de croissance de 2-3 jours à l'horizon 2002, et 4-5 jours en 2050. La baisse de rendement était de 4-6% sous les scénarii A2a et B2a. On a noté peu de différence entre les deux horizons temporels pour cette baisse et pour les 2 scénarii. En conclusion de cette étude on pourrait s'attendre à ce que le mil ne soit pas trop vulnérable à un réchauffement durant la saison des pluies, pour les scénarii considérés.

- d) En utilisant le même type de modèle, des résultats similaires ont été rapportés par Sarr et al. (2007) et AGRHYMET, (2009) montrant que les rendements des cultures comme le mils/sorghos vont baisser de plus 10 % dans le cas de l'augmentation des températures de + 2°C et de variations peu significatives des précipitations à l'horizon 2050. Une hausse de + 3 °C engendrera une baisse de rendements agricoles de l'ordre de 15 à 25 %. En revanche, pour le cas des plantes comme le riz, dont le système photosynthétique permet de valoriser quelque peu les teneurs élevées de CO₂, dans l'atmosphère, une certaine augmentation des rendements de l'ordre 10 à plus de 35 % pourrait être observée au cours des prochaines décennies si les ressources en eau sont suffisantes (Sarr et al., 2007, Keita, 2009). Cependant, à plus long terme, l'effet dépressif des hautes températures va compenser cet « effet fertilisant » de CO₂ et on assistera à la diminution des rendements de riz.

En conclusion, on peut dire que Les modèles mécanistiques de culture représentent d'excellents outils dans les études d'impacts des changements climatiques sur les rendements agricoles. Une fois que les données d'entrée de ces modèles aient été formatées, ils permettent l'exécution rapide des simulations de rendement. En leur absence, le processus de simulation des rendements agricoles futurs prendrait énormément de temps. Ces modèles fournissent généralement une quantité phénoménale de données de sorties sous forme de tableaux ou de figures qui sont utiles dans l'explication des rendements simulés. Avec ces modèles, il est également possible de réaliser des analyses de sensibilité ('What if scenario') du modèle ou des rendements agricoles face à certaines variables touchant les conditions environnementales, les caractéristiques des plantes et les pratiques culturales. Ces analyses de sensibilité sont généralement très coûteuses en temps et en argent avec l'approche traditionnelle, en l'occurrence l'établissement de parcelles expérimentales.

Toutefois, ces modèles mécanistiques, représentant imparfaitement les réalités complexes du système sol-plante-atmosphère, contiennent certaines limitations. Celles-ci, en dehors des

incertitudes relatives aux scénarios climatiques utilisés comme données d'entrée, sont généralement inhérentes aux connaissances incomplètes des relations entre les différents éléments du système sol-plante-atmosphère et aux capacités de traitement des ordinateurs. Outre, les faiblesses 'techniques ou théoriques' de ces modèles mécanistiques, il existe également **des limitations d'ordre méthodologique** dans l'utilisation de ces modèles à des fins d'évaluation des changements climatiques sur les rendements agricoles.

Au Niger, ces faiblesses méthodologiques concernent surtout le choix des cultivars choisis pour les différentes cultures et les différentes zones agricoles, l'absence de processus de calibration pour certaines cultures et pour les modèles offrant cette possibilité, l'interprétation et l'utilisation du processus de validation dans l'estimation des rendements agricoles futurs et l'ignorance de certaines possibilités d'adaptations disponibles au niveau de certains modèles utilisés, notamment la possibilité de considérer des cultivars plus performants que ceux considérés pour une période observée ou de référence (Brassard, 2003; Brassard et Singh 2007; Bourgeois 2001; El Maayar et al. 1997).

IV. METHODOLOGIE

A. Choix de l'approche et du Modèle SARRAH V3.

L'analyse des approches statistique et mécanistique dans les études des impacts des changements climatiques sur les rendements agricoles montre une limite fondamentale majeure de la première approche. En effet, les modèles de régression ne fournissent qu'une description statique des relations existant entre les rendements des cultures et les conditions biophysiques ou climatiques pour un site particulier. Elles n'indiquent pas explicitement la façon dont un indicateur agro climatique affecte un autre et n'offrent généralement pas d'explications sur les mécanismes ayant conduit aux relations entre les indicateurs agro climatiques et les rendements. Par conséquent, Il est impossible d'établir une relation de causalité permettant de définir et de planifier des mesures d'adaptation aux changements climatiques à court, moyen et long terme. Ce qui n'est le cas des modèles mécanistiques.

Ces derniers sont d'excellents outils dans les études d'impacts des changements climatiques sur les rendements agricoles. Une fois que les données d'entrée de ces modèles aient été formatées, ils permettent l'exécution rapide des simulations de rendement. En leur absence, le processus de simulation des rendements agricoles futurs prendrait énormément de temps. Ces modèles fournissent généralement une quantité phénoménale de données de sorties qui permettent d'expliquer les rendements simulés. Avec ces modèles, il est également possible de réaliser des analyses de sensibilité ('What if scenario') du modèle ou des rendements agricoles face à certaines variables touchant les conditions environnementales, les caractéristiques des plantes et les pratiques culturales. Ces analyses de sensibilité sont généralement très coûteuses en temps et en argent avec l'approche traditionnelle, en l'occurrence l'établissement de parcelles expérimentales. Cette approche, nonobstant quelques limites mineures, nous semble plus appropriée pour le Niger en raison de la forte variabilité des conditions environnementales (différents agrosystèmes), de la multitude des facteurs limitant (eau, fertilité, attaques acridiennes, maladies, et d'autres facteurs d'intensifications), qui peuvent être intégrés dans la simulation des rendements agricoles.

C'est donc compte tenu de ce qui précède que nous avons opté pour l'approche mécanistique à travers le modèle SARRAH, un modèle de simulation des rendements des cultures annuelles (calibré pour le mil, sorgho etc) qui intègre, outre le bilan hydrique, le bilan carboné de la plante et sa phénologie ; et qui a remplacé actuellement le modèle DHC.

B. Mise en œuvre du modèle

➤ Calibrage

La version de Sarrah utilisée est V3.2 ; elle a été calibrée sur la base des données agronomiques collectées sur des essais conduits en station au Sahel. Le modèle a été validé pour le mil, mais pour le maïs et le sorgho la validation est en cours. Il a été également calibré dans les conditions et pratiques culturales rencontrées en milieu paysan (faible apport d'intrant, variétés locales, contraintes phytosanitaires) à travers des travaux de recherches menés par le CRA et le CERRAS (fig 2). Sur la base des résultats déjà obtenu par la recherche, nous avons tourné le modèle pour 3 céréales afin de déterminer les tendances de production pour le mil, le sorgho et le maïs, en fonction du niveaux de fertilité du sol, le variété culturale et du scénario climatique. Pour chaque site, un scénario sec et humide a été utilisé. Ainsi nous avons utilisé le paramétrage déjà existant dans le logiciel pour le matériel végétal suivant :

- le mil : haïni Kirey (60jours) pour un sol fertile et non fertile
- le mil : la souna 3 (70jours) pour un sol fertile
- le sorgho ML-tamari (90Jours) sol argileux
- le maïs Bondofa (90 jours) pour un sol argileux

➤ **Les données météorologiques**

Les données climatologiques ont été fournies par l'équipe climatologique qui a généré des scénarios climatiques secs et humides au niveau des huit principales stations synoptiques du pays (Birnin'Konni, Gaya, Mainé Soroa, Maradi Aéroport, Tahoua, Tillabéry, Zinder Aéroport). Ces huit stations ont été sélectionnées sur la base de la qualité de leurs données et la disponibilité de séries suffisamment longues d'observations pour pouvoir valider les simulations des modèles climatiques.

Ainsi les scénarios le plus humide et le plus sec au niveau de chaque station synoptique ont été retenus pour être utilisés dans les études d'impacts sectoriels donc celle du secteur agricole. Les données pluviométriques et météorologiques ont donc été importées automatiquement dans le modèle Sarrah en respectant les formats exigés par ce dernier.

Les données régénérées pour les scénarii sec et humides concernent : la pluviométrie les températures maximales et minimales, les humidités maximales et minimales ; les vents et les insulations

➤ **Les sols ont été caractérisés.**

A ce niveau pour chaque localité, la définition de la parcelle consiste à renseigner certaines variables, notamment les caractéristiques du sol ensemencés comme : les stocks hydriques initiaux au semis (en surface (StockIniSurf) et en profondeur (StockIniPof)), épaisseur du sol (en surface et en profondeur), seuil et pourcentage de ruissellement, réserve utile (RU), pourcentage d'évaporation (PEvap) et humidités à la capacité de rétention (HumCR), au point de flétrissement (HumPF) et au point de saturation (HumPsat) ;

➤ **Pour les cultures nous avons utilisé les données existant dans le logiciel.**

A ce niveau il s'agissait de définir les caractéristiques écophysologiques de la variété. Cette étape est la plus délicate dans la création de la simulation, car elle exige l'existence de données observées sur plusieurs paramètres liés à la culture et à son environnement (durée du cycle, phénologie, allométrie, photopériodisme, rendements, etc.) ;

➤ **Les pratiques culturales ont été définies.**

Il s'agit de préciser essentiellement les variables suivantes : la date de semis (DateSemis), la profondeur racinaire initiale (ProfRaIni), la densité de semis (Densite), l'indice de surface foliaire (LAI) initial (LaiIni) et le coefficient de rugosité du sol (Mulch).

Pour **les dates de semis** le Logiciel Instat a été utilisé pour calculer la normale des dates de semis de 1961-1990 qui est la normale utilisée dans toutes les études de changement climatique au sahel. Le critère retenu est celui de Kadiadiatou (2004), qui a trouvé que le critère le plus proche des pratiques paysannes est celui qui considère comme date de démarrage, la date à partir du 1^{er} mai, lorsque 20 mm de pluies cumulées en un ou deux jours sont enregistrés.

La simulation : pour créer une simulation dans le modèle SARRA-H, il faut choisir le modèle approprié pour la culture à simuler et avoir à sa disposition des données observées pour bien calibrer le modèle. Les paramètres de la simulation à sélectionner sont donc le modèle, la parcelle, le site, la variété, les itinéraires techniques, et les données observées, etc.). Il est important de définir une période de simulation, en tenant compte de la saison et de la durée du cycle de la culture. Cette période de simulation va de 2010 à 2050.

C. Traitement des résultats :

➤ **Les résultats des statistiques agricoles :**

- la moyenne 1981-2010 a été calculée pour l'ensemble des stations
- l'écart type 1981-2010 a été calculée pour l'ensemble des stations

➤ **les résultats de simulation du modèle SARRAH**

- des anomalies standardisées (indice de LAMB) ont été calculées.
- La tendance des rendements ont été identifiées

Les anomalies des variables sont exprimées en écarts par rapport à la moyenne 1981-2010.

Les anomalies standardisées ont été exprimées comme suit : $\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right)$

x_i : valeur de l'année i

\bar{x} = moyenne de la série 1981-2010

σ : Écart type de la série 1981-2010

➤ **Graphiques**

- Graphiques superposés d'anomalie standardisées de rendement selon le scénario sec et humide.
- Tendance linéaire des rendements selon le scénario.
- Graphiques superposés de rendements réels, rendements simulés pour scénario sec et humide pour chaque culture selon les régions.

V. IMPACTS FUTURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE SECTEUR

Cette présentation des résultats de simulations se fera par région pour les différentes cultures en tenant compte du type de sols (texture et niveau de fertilité) et du scénario climatique.

A. Région de Gaya

A1. Évolution de la pluviométrie

Les projections climatiques (fig 3) montrent une grande variabilité de la pluviométrie en scénario humique. La pluviométrie varie entre 800 mm et 1100 mm et mais ne montre pas une tendance à la hausse entre 2010 et 2049. Au contraire dans le scénario sec elle varie entre 600 et 800 mm avec une tendance à la baisse.

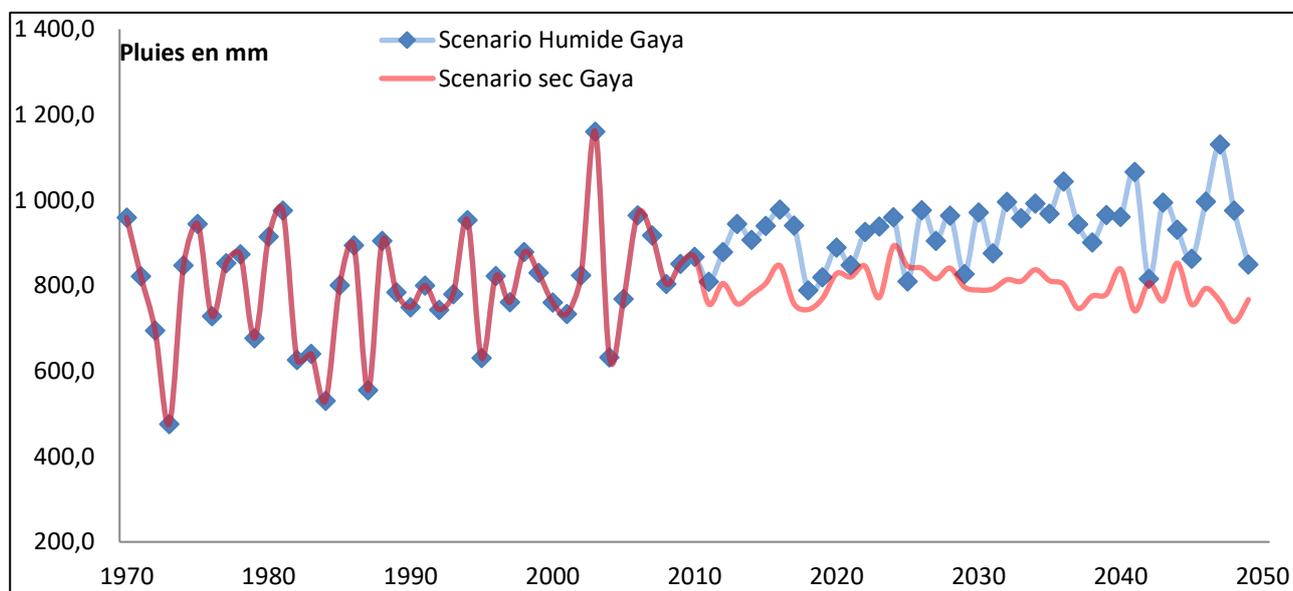


Fig 3 : Projections de la pluviométrie à Gaya

A2. La variété de mil précoce Haini Kirey (HK)

Entre 1981 et 2010, on constate une tendance à la hausse du rendement de la variété de mil précoce Haini Kiréy (HK) jusqu'à 1200 Kg/ha, le rendement moyen étant de 634 hg/ha. En condition de sol sableux fertile cette tendance à la hausse se maintient jusqu'au environ de l'horizon 2050 sans montrer des différences entre les rendements dans les deux scénarii. Les rendements varient entre 1t et 1,2 t (fig 4 et fig 5)

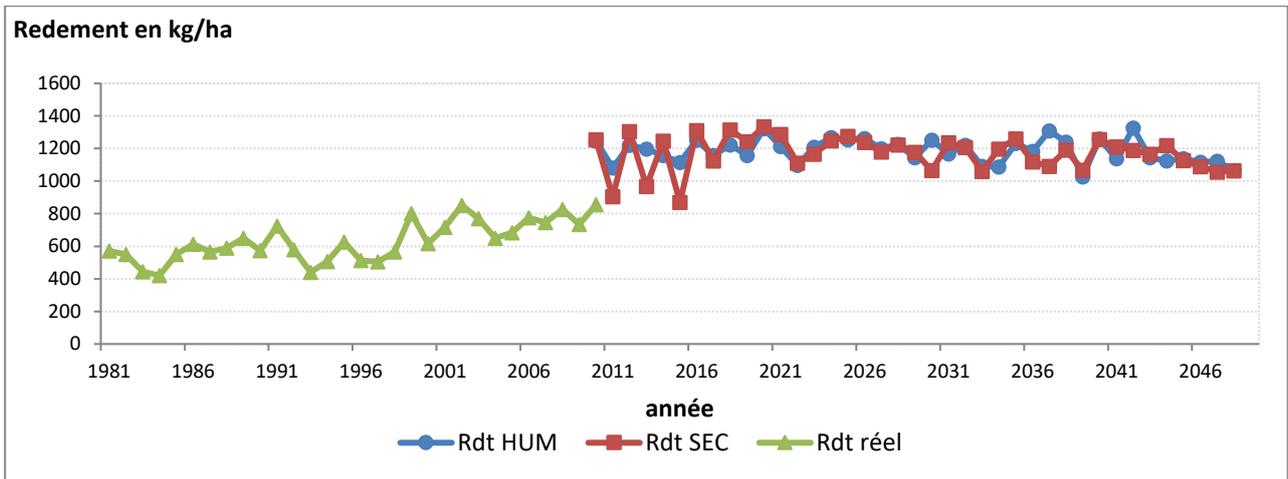


Fig 4: Rendements réels de HK et rendements prévisionnels pour un sol sableux fertile à Gaya

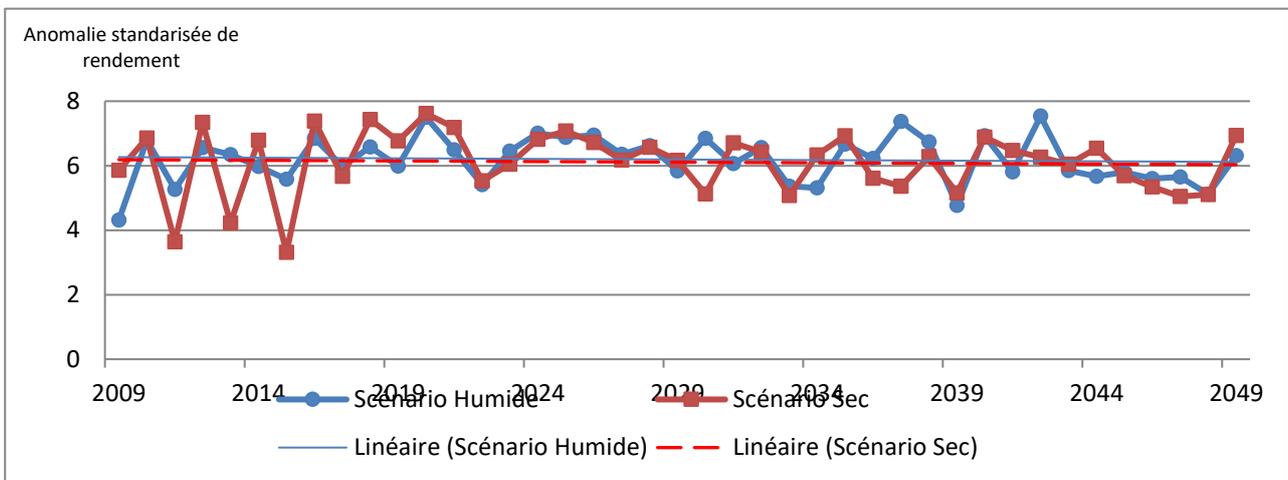


Fig 5 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Gaya

En sol non fertile la variété de mil précoce Haini Kiréy (HK) donne en moyenne 894 kg/ha et 844 kg/ha respectivement pour les scénarii humide et sec. Dans années comme 2011, 2113, 2013, 2031 et 2036 seront particulièrement mauvaises pour le scénario sec (fig 6 et fig 7)

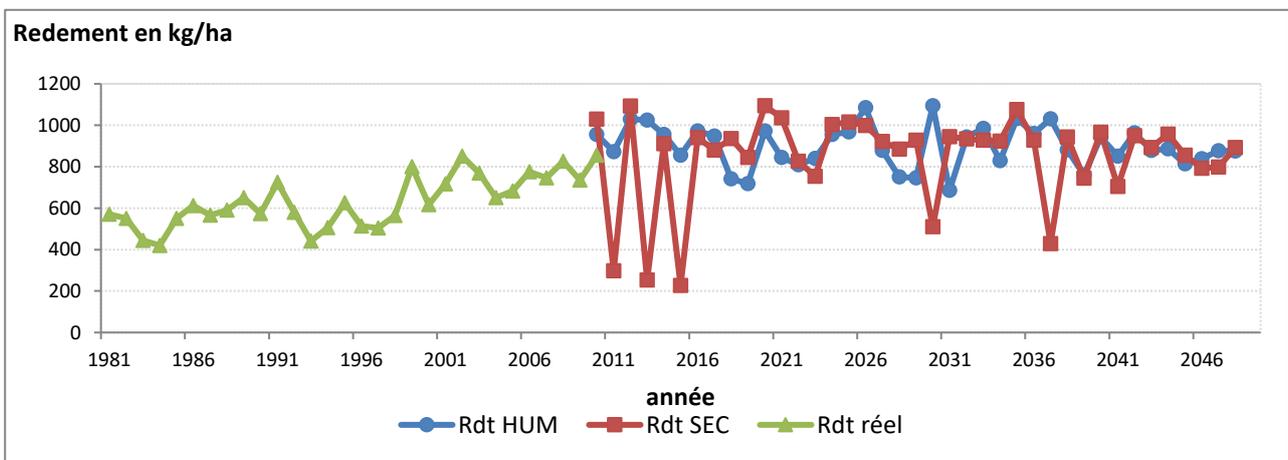


Fig 6 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux non fertile à Gaya

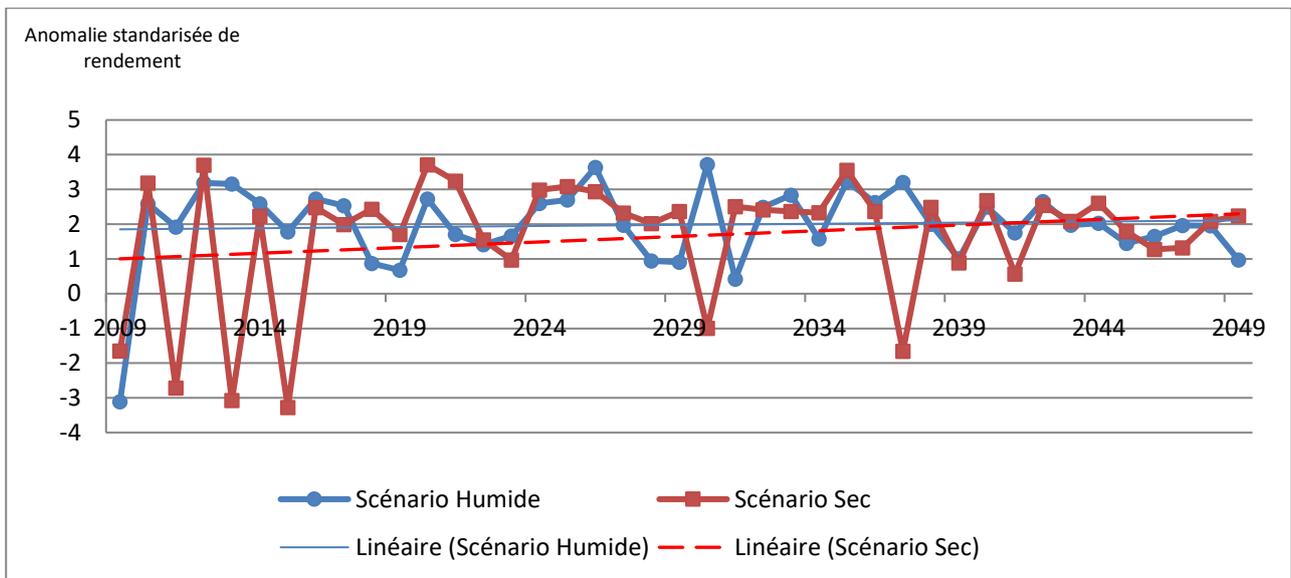


Fig 7 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Gaya

Globalement les rendements de HK à GAYA seront plus importants pour les terrains sableux fertiles que pour les sableux terrains non fertiles.

Dans le cas des sols fertiles, les rendements sont stables et supérieurs à la normale 1981 - 2010 (634 kg/ha) et ne montrent pas différences entre les deux scénarii. Cependant dans le cas des sols non fertiles, pour le scénario humide on a une stabilité des rendements qui restent toujours au dessus de la normale 1981-2010. Mais dans le scénario sec, jusqu'en 2015, les rendements sont inférieurs à cette normale, puis on assistera à une tendance à la hausse jusqu'en 2050.

A3. la variété de mil précoce Souna3

Pour cette variété, les niveaux de rendement seront nettement supérieurs à la normale 81-10 (634 kg/ha) fig 8.

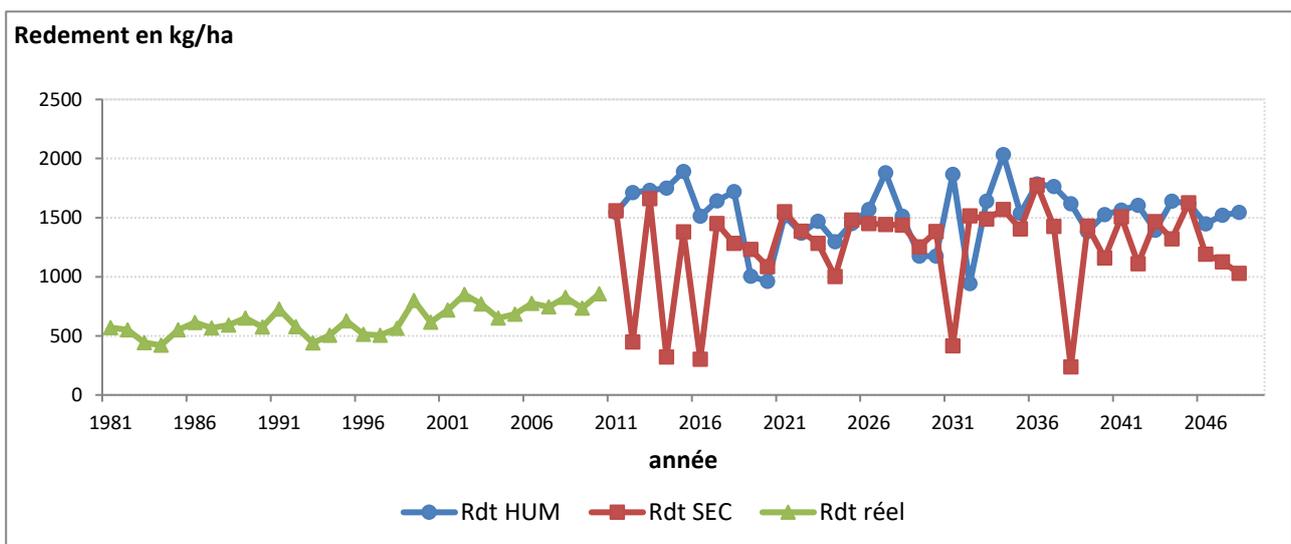


Fig 8: Rendements réels et rendements prévisionnels du mil souna3 pour un sol sableux fertile à Gaya

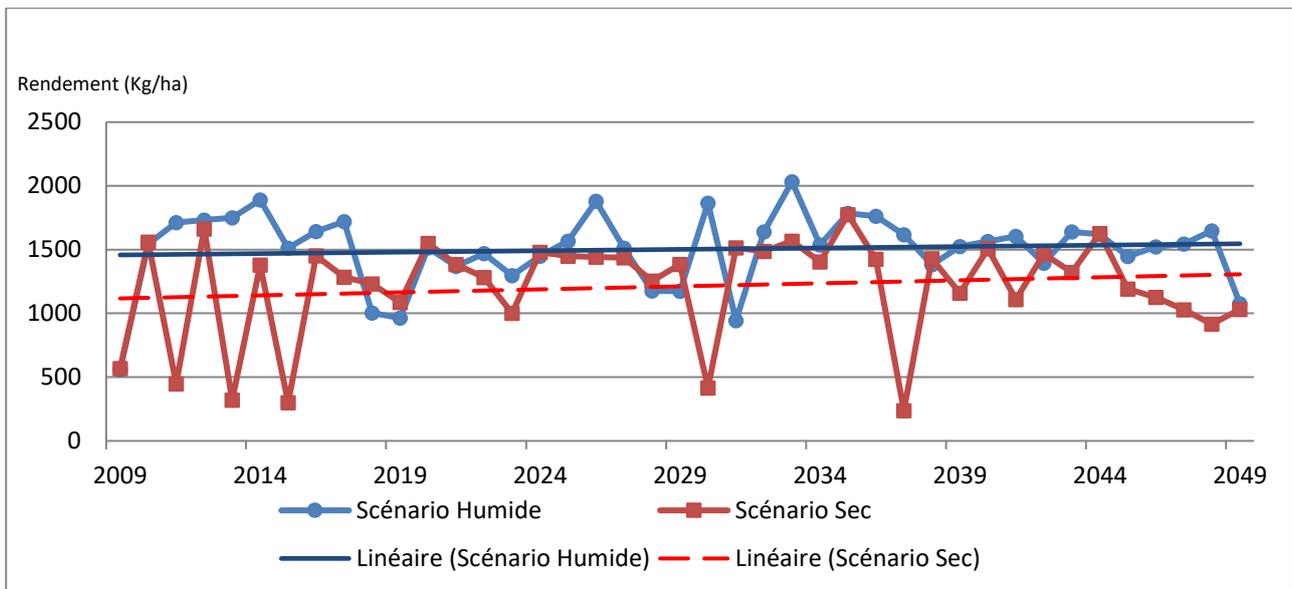


Fig 9 : Rendement du Mil Souna sur un sol sableux fertile à Gaya

Les rendements seront globalement supérieurs à 500kg /ha. Cependant de 2011 à 2017 des baisses de rendement (pouvant être inférieure à 500kg/ha) seront observées pour le scénario sec (idem pour les années 2031 et 2036). Pour les deux scénarii la tendance des rendements de 2009 à 2049 sera en légère hausse mais beaucoup plus pour le scénario sec (fig 9)

A4. La variété ML-Tamari du Sorgho

Chez le sorgho, les rendements (SEC : 494 kg/ha et 497 kg/ha en moyenne) seront déficitaires par rapport à la normales 81_10 (602 kg/ha). Pour les deux scénarii, la tendance des rendements sera en légère baisse de 2009 à 2049. (Fig 10 et Fig 11)

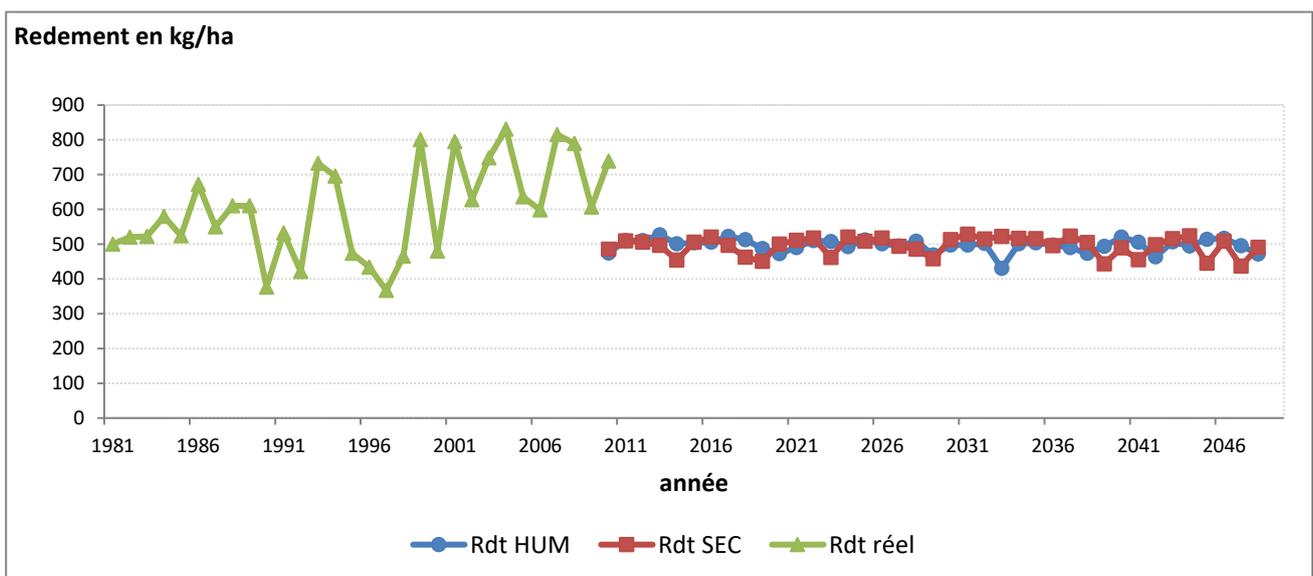


Fig 10 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Gaya

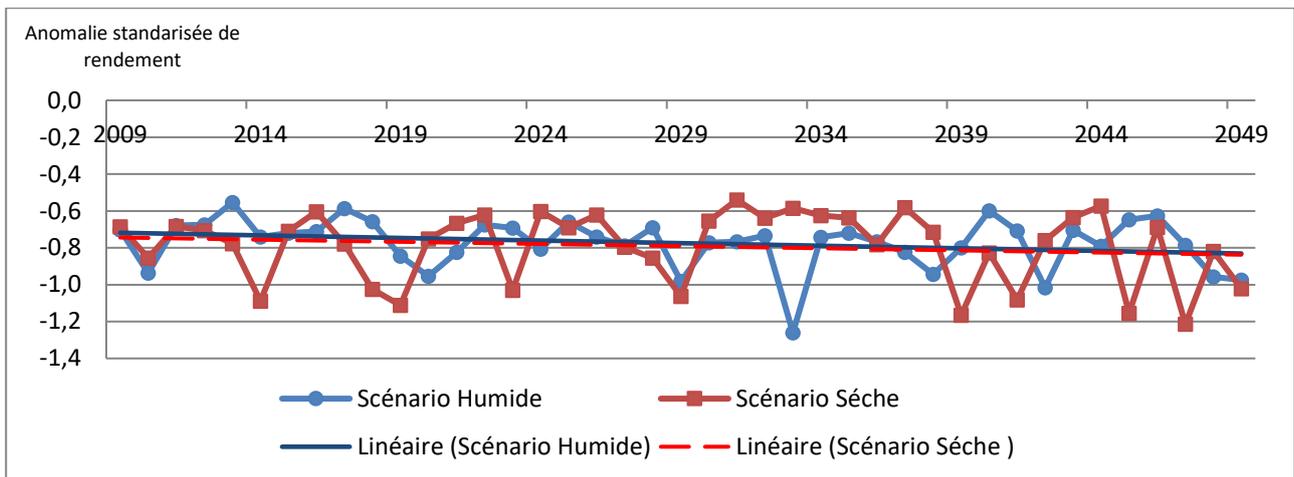


Fig 11 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Gaya

A5. Maïs en sol argileux (variété Bondofa)

Chez le maïs, les rendements seront excédentaires par rapport à la normale 81_10. Pour le scénario humide, la tendance est en légère hausse entre 2009 et 2049, tandis que pour le scénario sec la tendance est à la baisse sur la même période (Fig 12 et Fig 13).

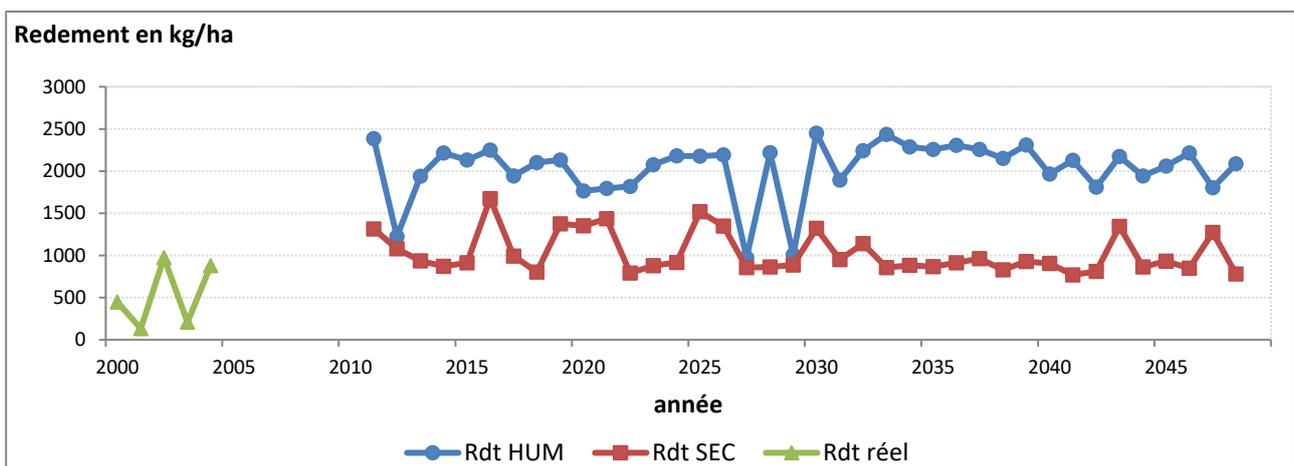


Fig 12 : Rendements réels et rendements prévisionnels du Maïs pour un sol argileux à Gaya

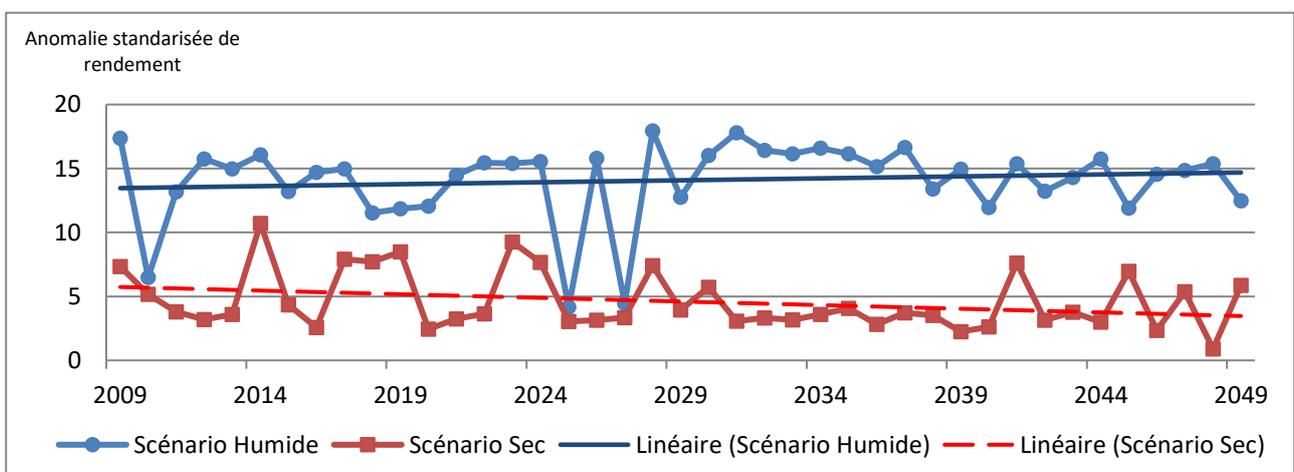


Fig 13: Anomalie de rendement du Maïs bondofa sur un sol argileux à Gaya

B. Région de KONNI

B1. La variété de mil précoce Haini Kirey (HK)

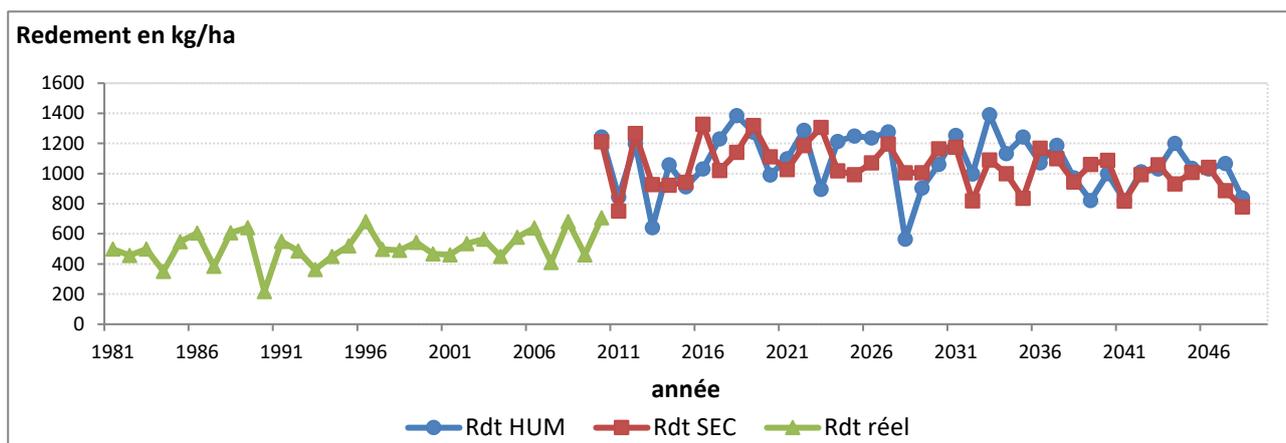


Fig 14 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux fertile à Konni

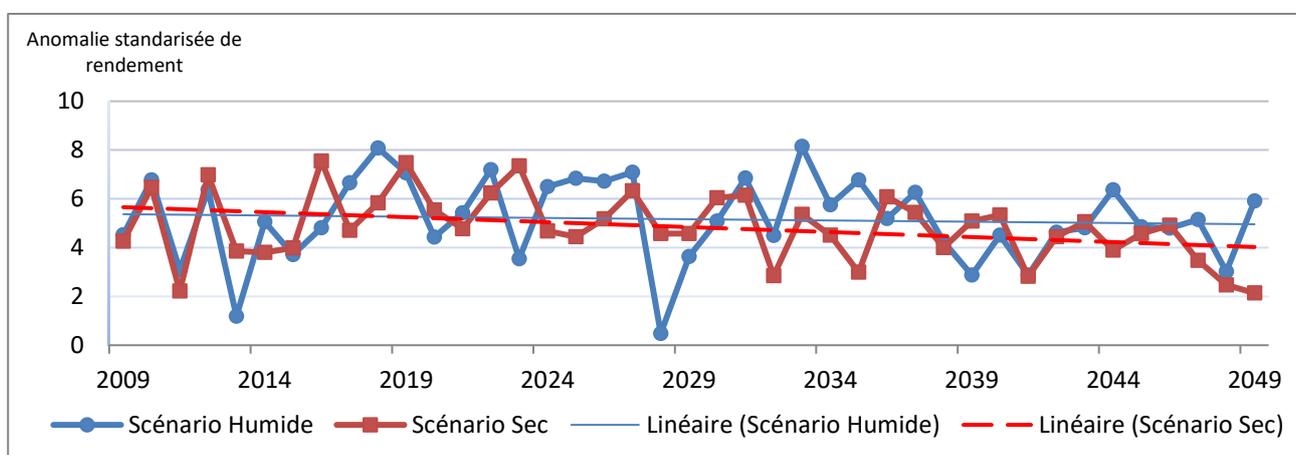


Fig 15 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Konni

Sur sol sableux fertile (fig14 et fig15), les rendements du HK varient en moyenne entre 1032 kg/ha (SEC) et 1067 kg/ha (HUM) et sont largement au dessus de la normale 81-10 (512 kg/ha). On constate que les différences entre les deux scénarii ne sont pas très marquées. Toutefois ces rendements montrent une légère tendance à la baisse plus marquée dans le scénario sec qu'humide entre 2010 et 2049 (Fig : 16)

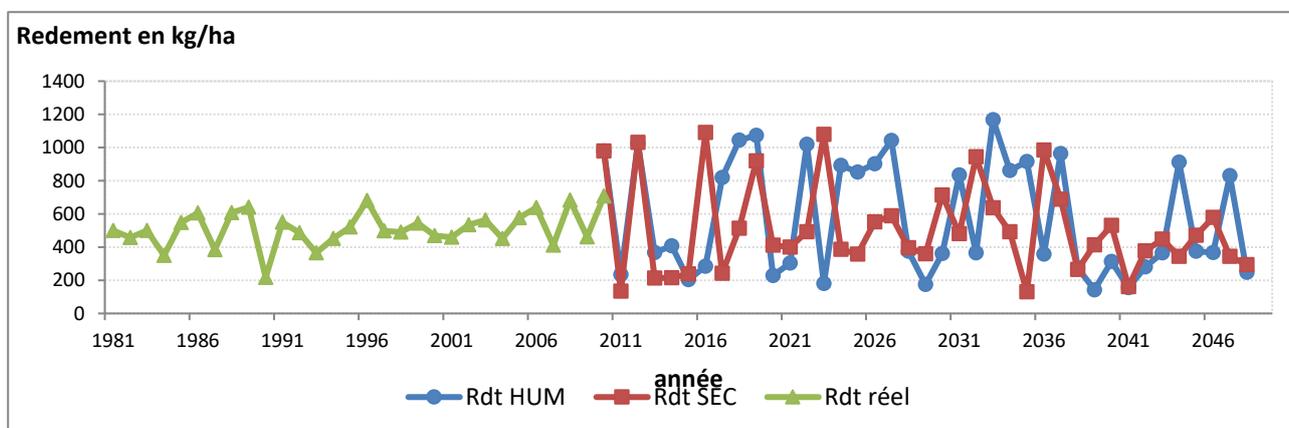


Fig 16 Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux non fertile à Konni

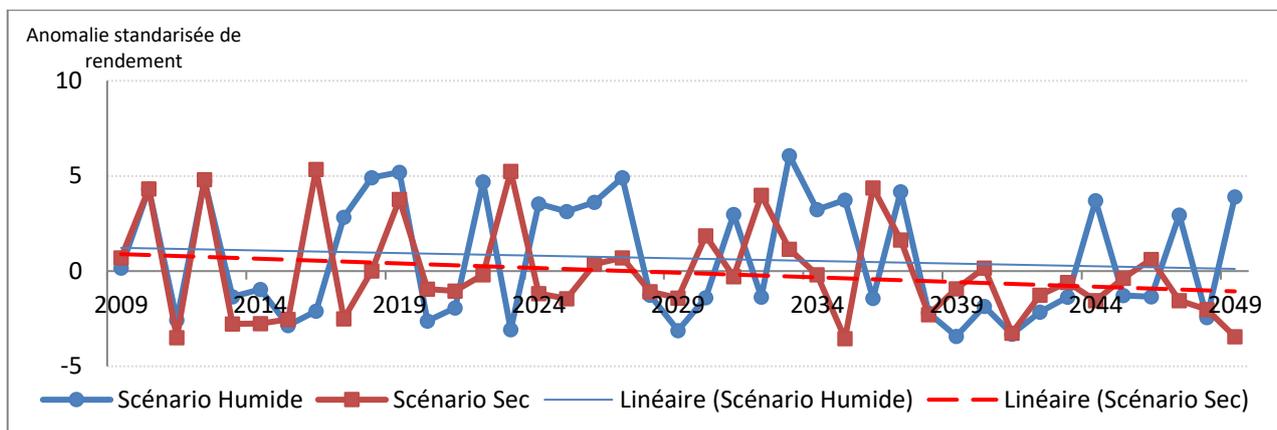


Fig 17 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Konni

Les rendements seront plus importants pour les terrains sableux fertiles que pour les terrains sableux non fertiles. Dans ces conditions de fertilité, les rendements moyens sont de 576 kg/ha et 488 kg/ha respectivement pour le scénario humide et se. Cependant pour les deux scénarii (fig16 et fig17), on a une tendance à la baisse des rendements qui sont aussi en dessous la normale 1981-2010 à partir des années 2020.

B2. La variété de mil précoce Souna3

Les rendements vont beaucoup osciller entre années et sont en moyenne de 700 kg/ha en SEC et 600 kg/ha en Humide (fig 18).

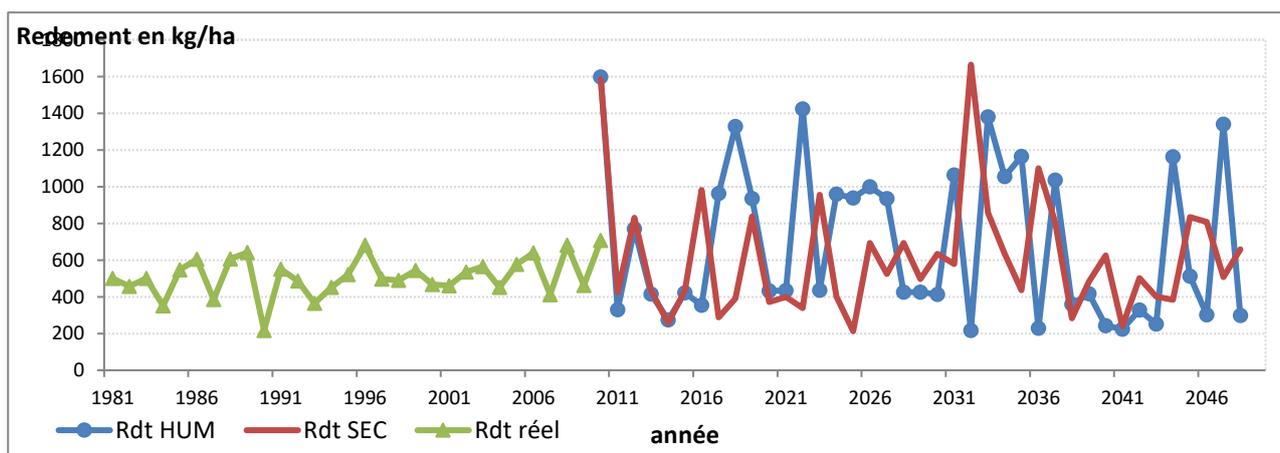


Fig 18 : Rendements réels et rendements prévisionnels du mil souna3 pour un sol sableux fertile à Konni

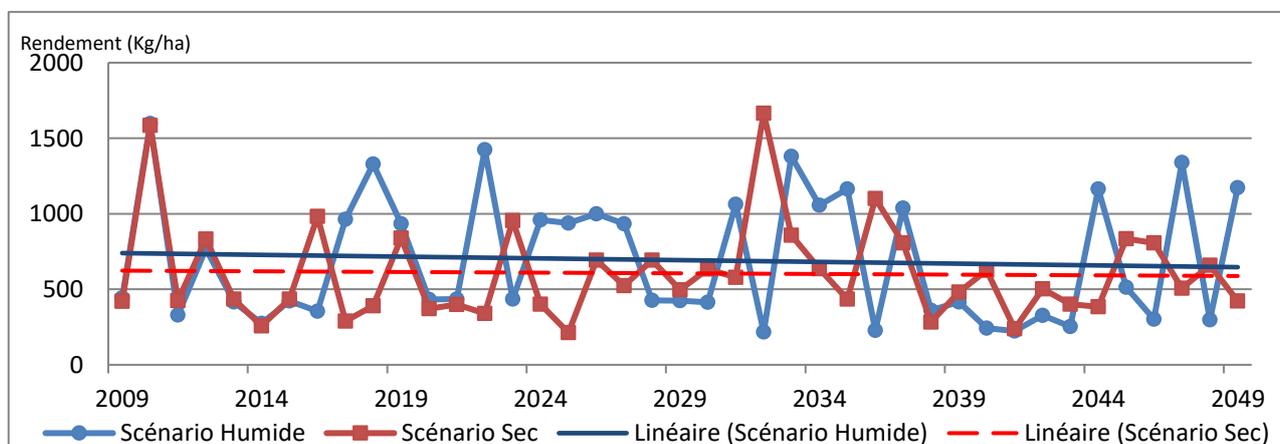


Fig 19 : anomalies de rendements du Mil Souna sur un sol sableux fertile à Konni

Pour ces deux scénarii une légère tendance des rendements à la baisse ne sera observée entre 2009 et 2049 (fig 19) mais ils sont supérieurs à la normale 81_10 (

B3. Sorgho ML Tamari

Les rendements seront déficitaires par rapport à la normale 81_10 (463 kg/ha) pour le scénario sec avec tout de même une légère tendance à la hausse de 2009 à 2049 tandis qu'une alternance entre années déficitaires et excédentaires par rapport à la normale 81_10 sera observée (fig 20 et fig 21).

Globalement on note une forte tendance à la hausse des rendements pour le scénario humide.

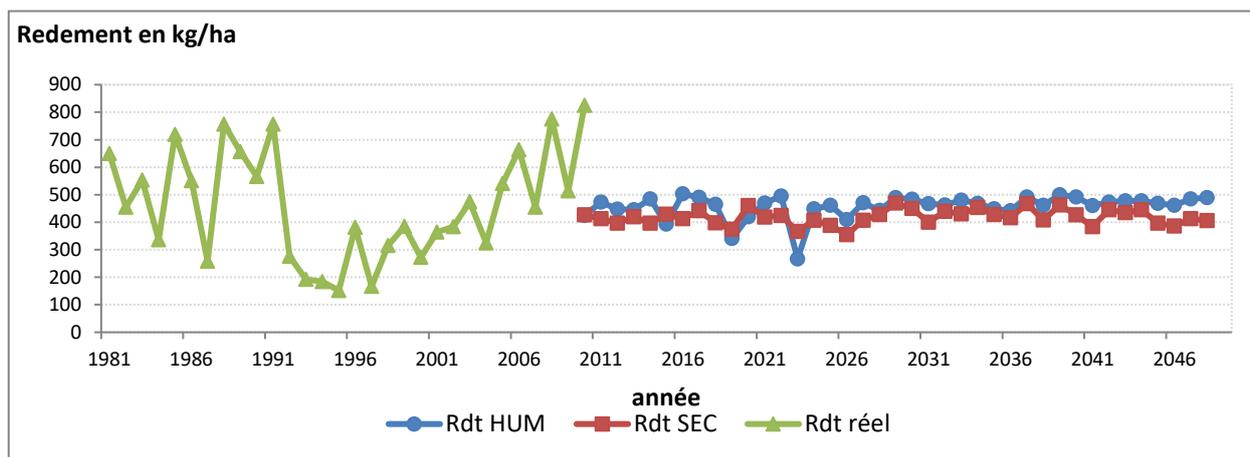


Fig 20 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Konni

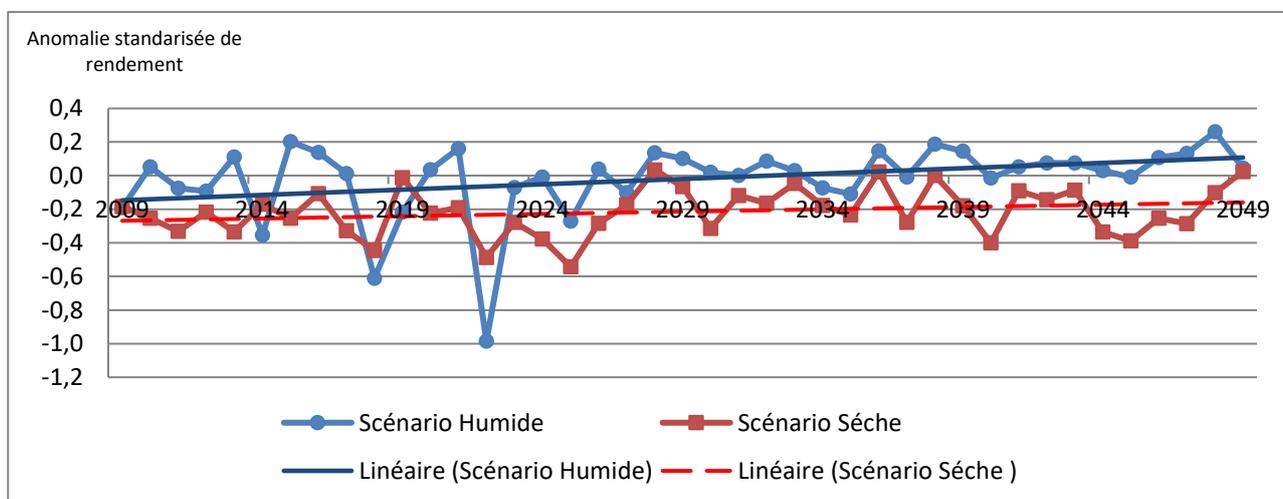


Fig 21 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux fertile à Konni

C. Région de Maïne Soroa

C1. Évolution de la pluviométrie

L'évolution de la pluviométrie (fig 22) montre une tendance à la baisse par rapport à la normale 81-10, aussi bien pour le scénario sec que pour le scénario humide à l'échéance 2049. Ce qui n'est pas sans conséquence sur la production agricole et la sécurité alimentaire des populations.

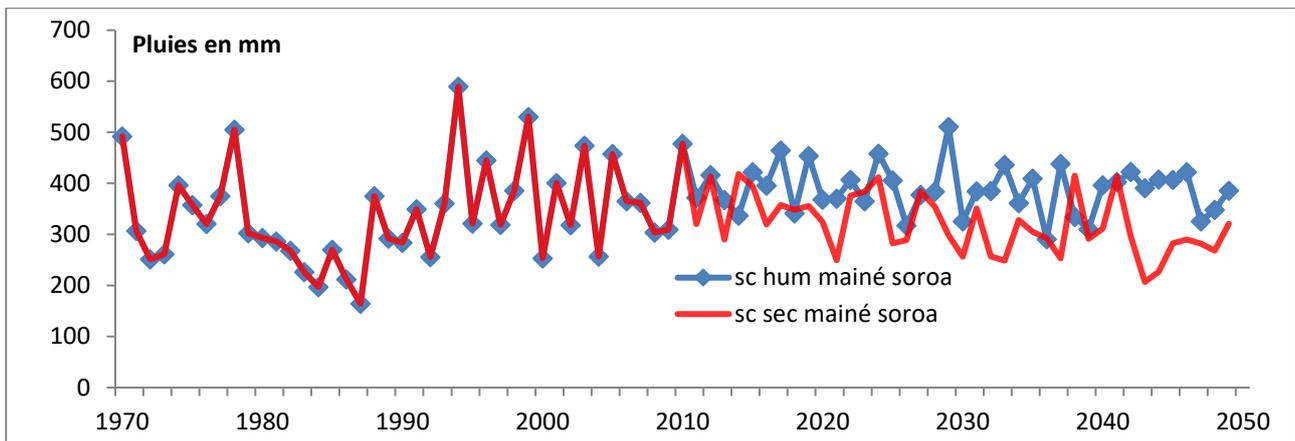


Fig 22: évolution de la pluviométrie à Mainé Soroa

C2 : Variété du mil précoce du Mil (HK)

Sur sol sableux fertile, les niveaux de rendements sont en moyenne de 832 kg/ha en Humide et 578 kg/ha en Sec. Ils sont donc plus élevés que la normale 81-10 (325 kg/ha), cependant les fluctuations entre années bonnes et mauvaises sont plus importantes surtout dans le cas du scénario sec (fig 23).

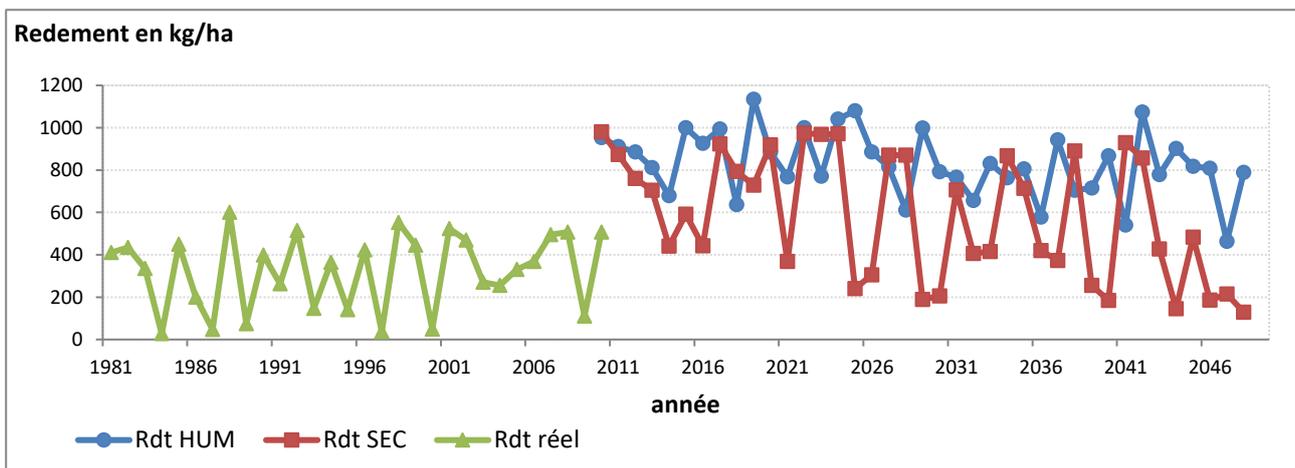


Fig 23: Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux fertile à Mainé Soroa

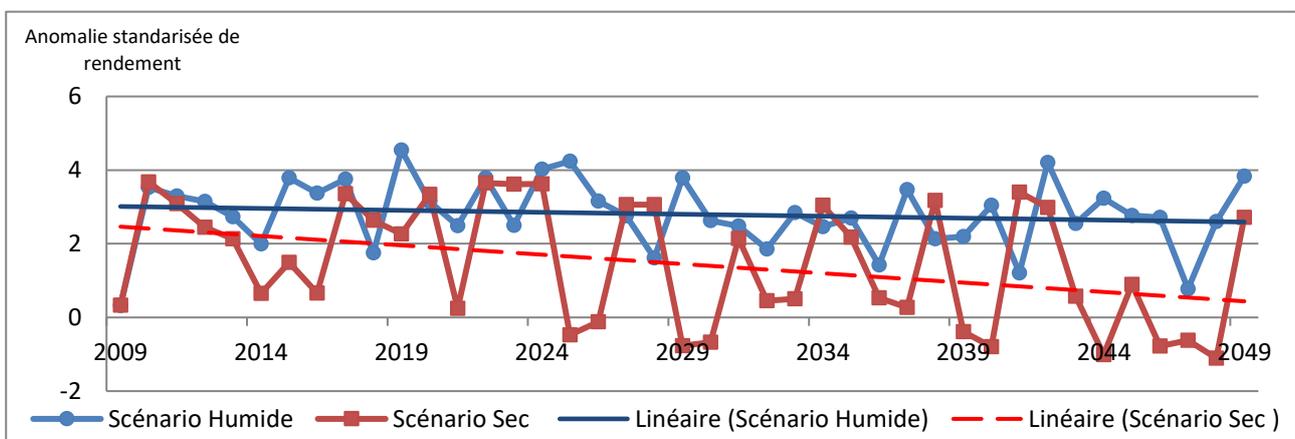


Fig 24 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Mainé Soroa

On constate cependant une tendance à la baisse des rendements plus marquée dans le cas du scénario sec qu'humide entre 2010 et 2050 (fig 24). A partir des années 2030, la fréquence des rendements en dessous de la normale 81-10 sera plus élevée.

Les rendements seront plus importants et moins fluctuants pour les terrains sableux fertiles que pour les terrains sableux non fertiles. Cependant dans le cas des sols non fertiles, en plus du fait que pour les deux scénarii, les rendements (264 kg/ha en humide et 359 kg/ha) seront en dessous de la normale, on a une tendance à la baisse plus prononcée en année humide qu'en année sec.(fig 25 et Fig 26).

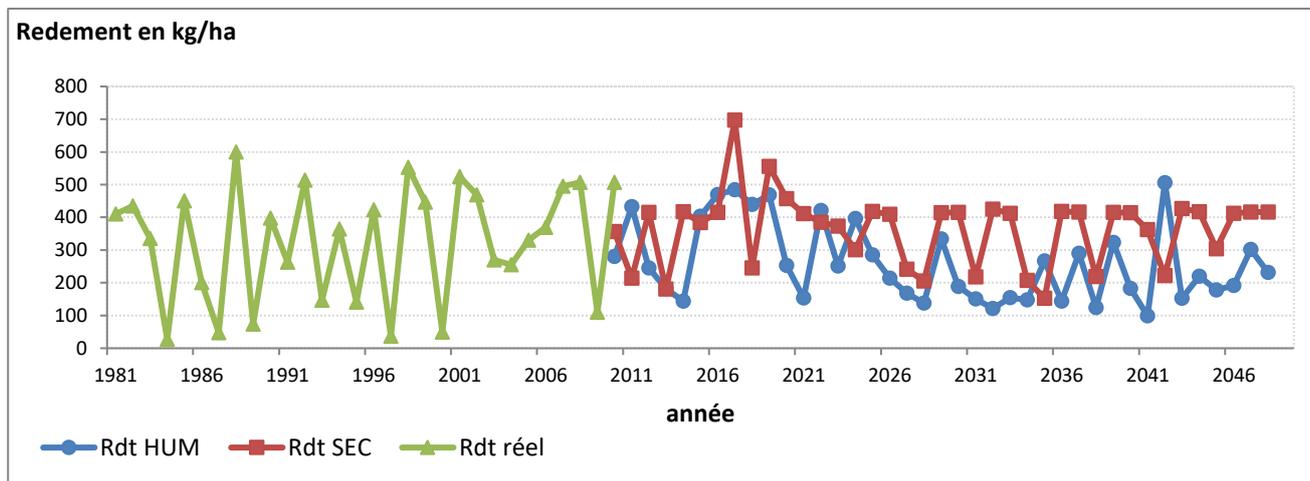


Fig 25 : Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux non fertile à Mainé Soroa

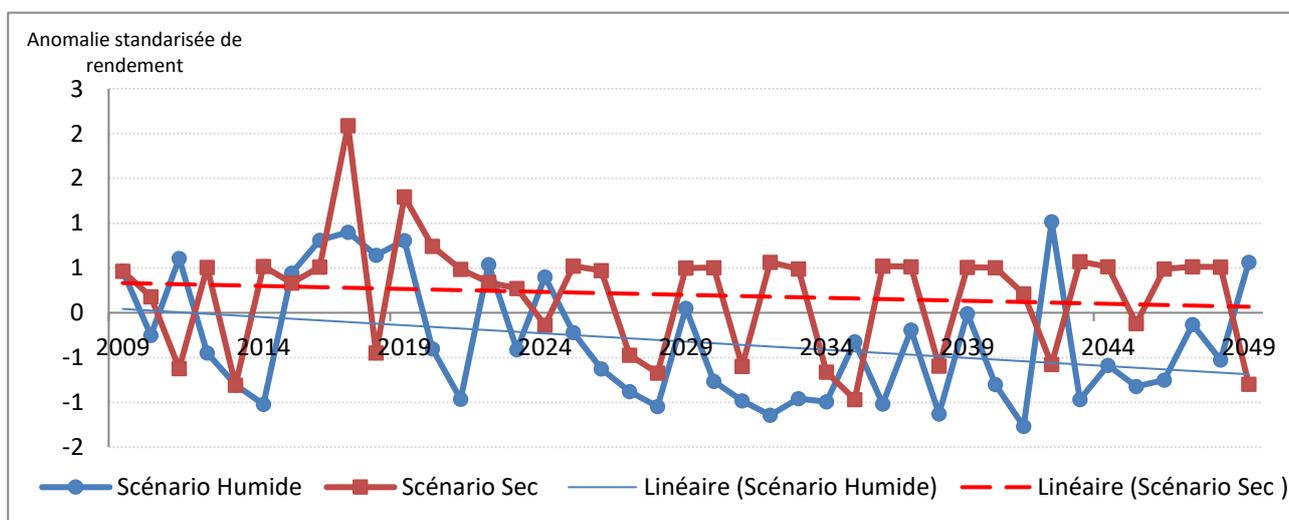


Fig 26 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Mainé Soroa

C3 : Sorgho

La fig 27 montre aussi que les rendements de sorgho (330 kg/ha en Humide et 259 kg/ha en SEC) seront globalement excédentaires par rapport à la normale 81_10 (177 kg/ha) avec tout de même une légère tendance à la baisse entre 2009 et 2049 pour le deux scénarii (Fig 28)

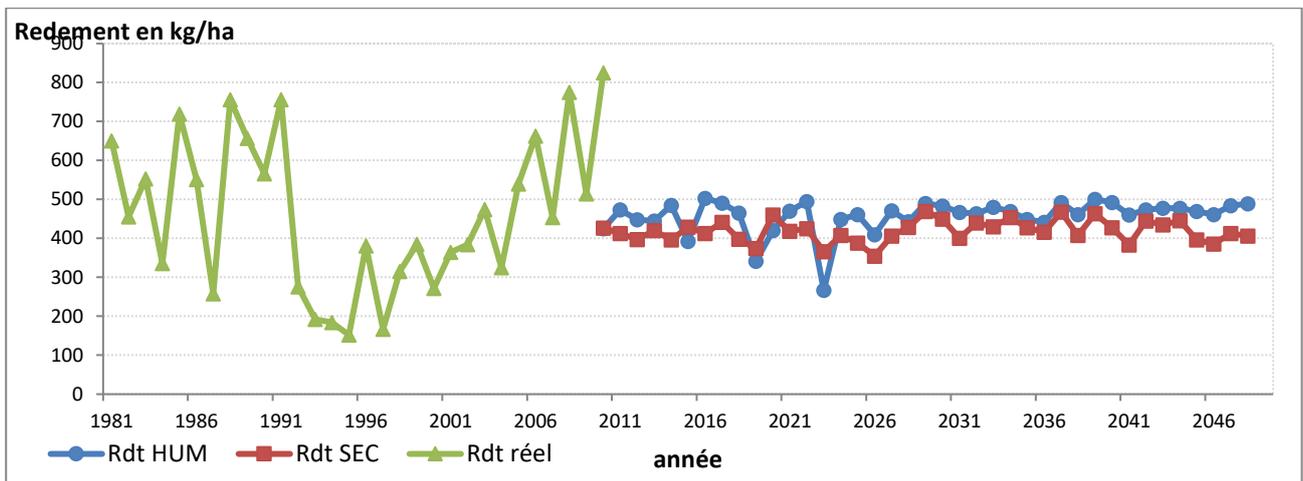


Fig 27: Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Mainé Soroa

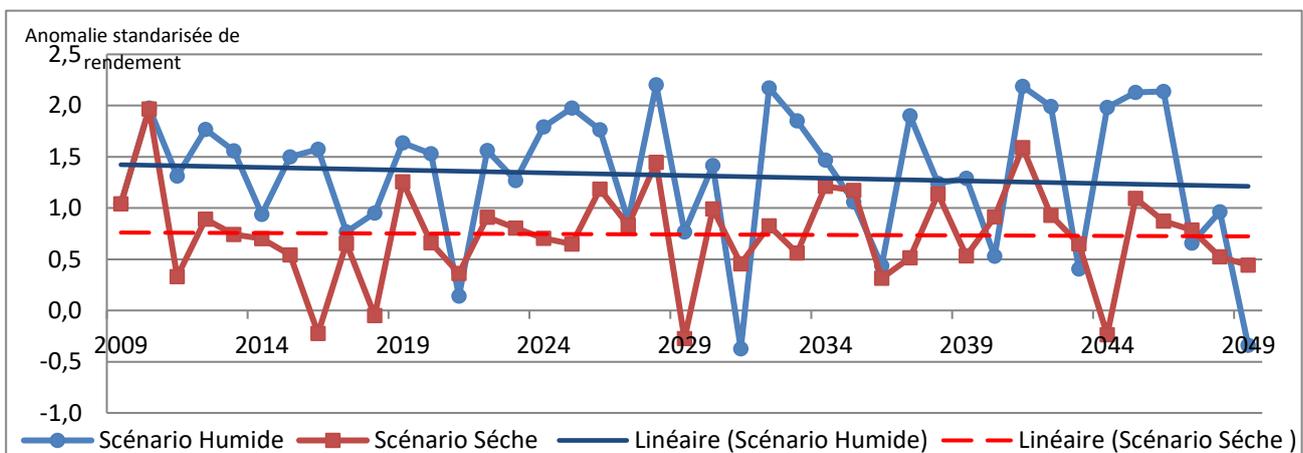


Fig 28 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Mainé Soroa

D. Région de Maradi.

D1. Évolution de la pluviométrie

L'évolution de la pluviométrie (fig29) montre une tendance à la hausse pour le scénario humide contrairement au scénario sec. Cependant l'amplitude des fluctuations entre années humides et moins humides est faible par rapport à la période 70 -2010.

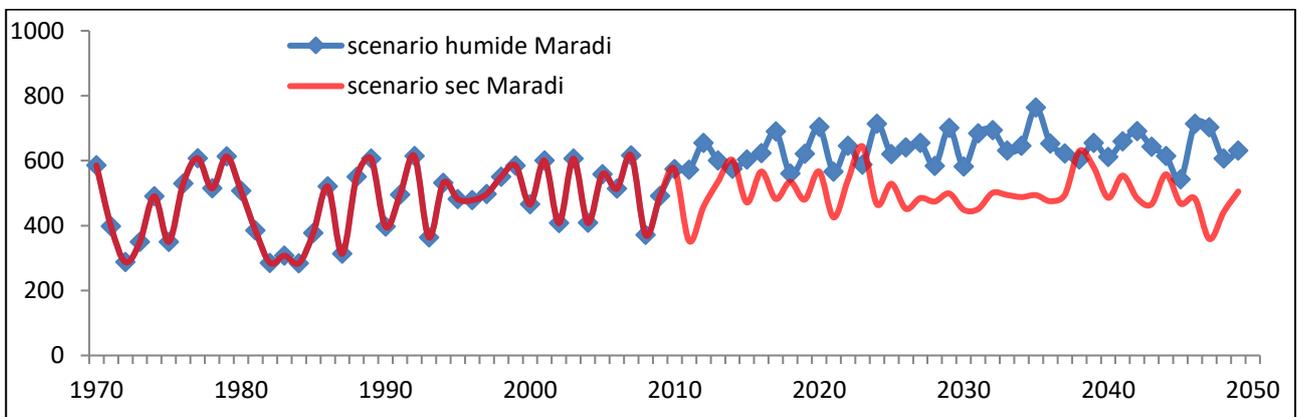


Fig 29 : évolution de la pluviométrie à Maradi

D2. Variété du mil précoce Haini Kirey (HK)

Les rendements (1095 kg/ha en Humide et 1002 kg/ha en Sec) seront nettement supérieurs à la normale 81_10 (408 kg/ha) pour les terrains sableux fertiles et montrent une tendance à la stabilité pour les deux scénarii malgré une variabilité plus prononcée dans le cas du scénario sec (Fig 30 et Fig 31). Cependant, des années comme 2015, 2025, et 2028 vont accuser des déficits très sévères dans le scénario sec.

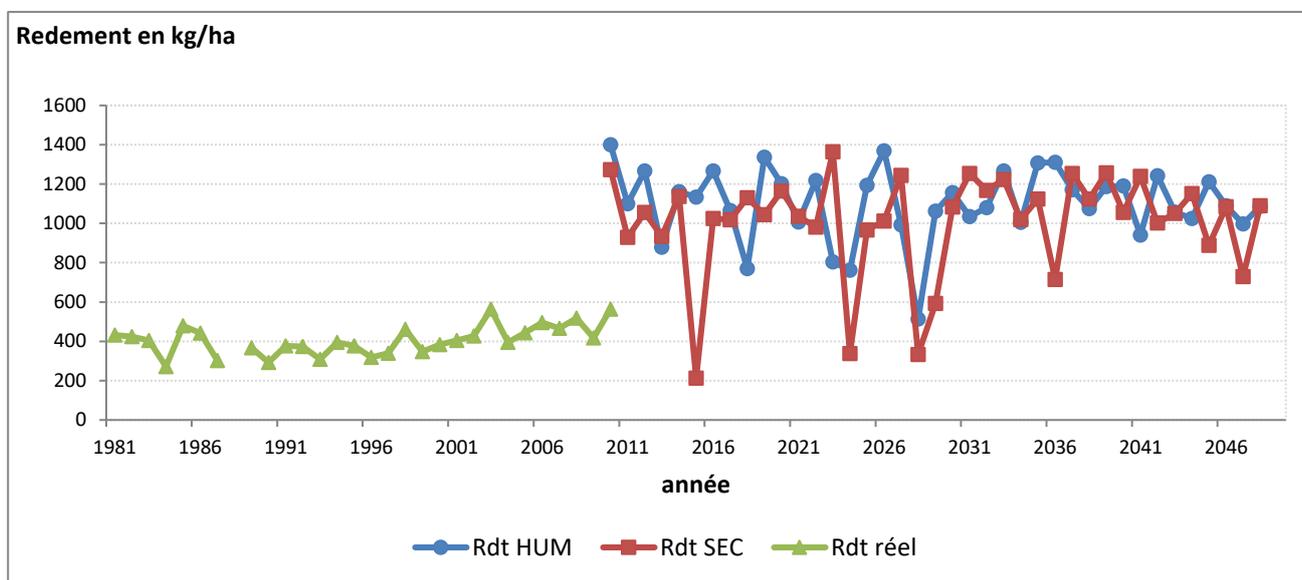


Fig 30 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux fertile à Maradi

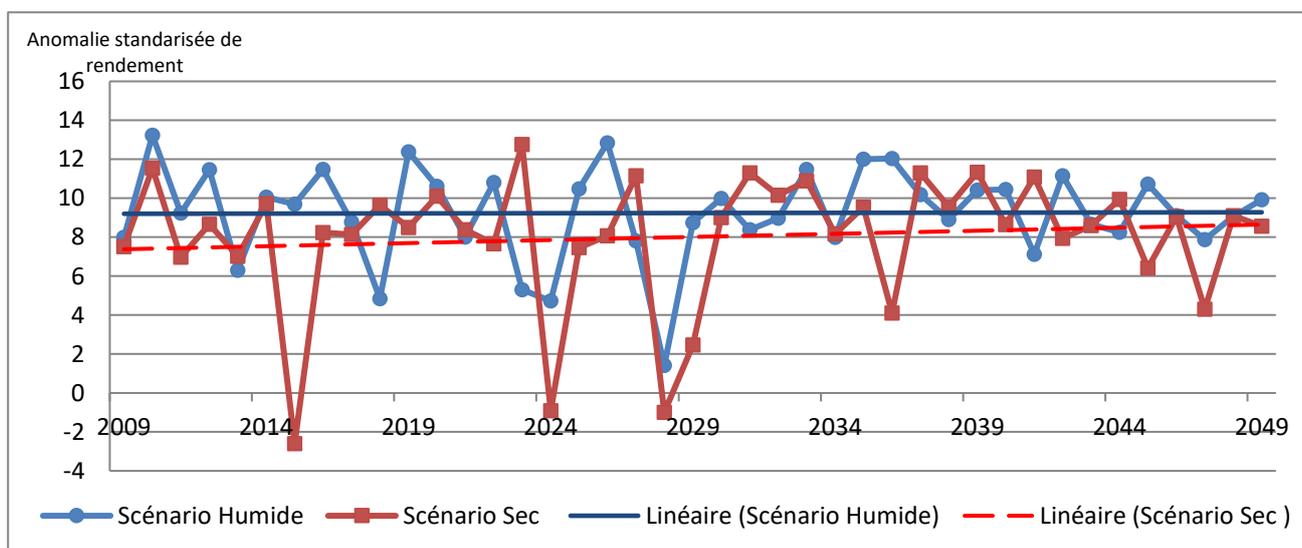


Fig 31 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Maradi

Les niveaux de rendements seront plus importants pour les terrains sableux fertiles que pour les sableux terrains non fertiles. Toutefois, pour les terrains sableux non fertiles, les rendements seront légèrement en hausse pour le scénario humide tandis que pour le scénario sec ils seront en baisse. Malgré la forte variabilité entre années et pour les deux scénarii, les rendements moyens (603 kg/ha en Humide et 514 kg/ha en Sec) sont supérieurs à la normale 81-2010 (fig 32 et fig 33)

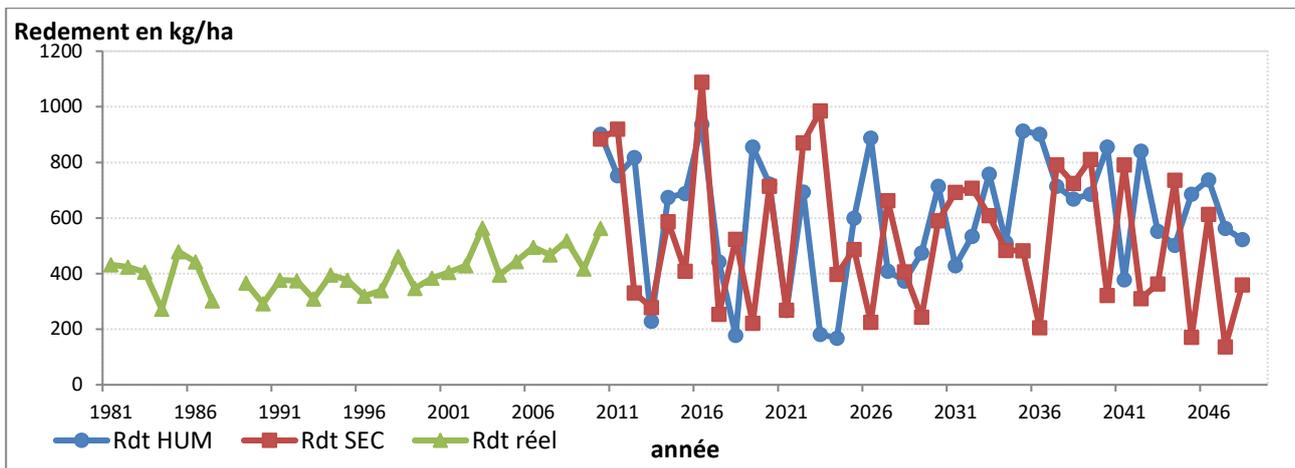


Fig 32 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux non fertile à Maradi

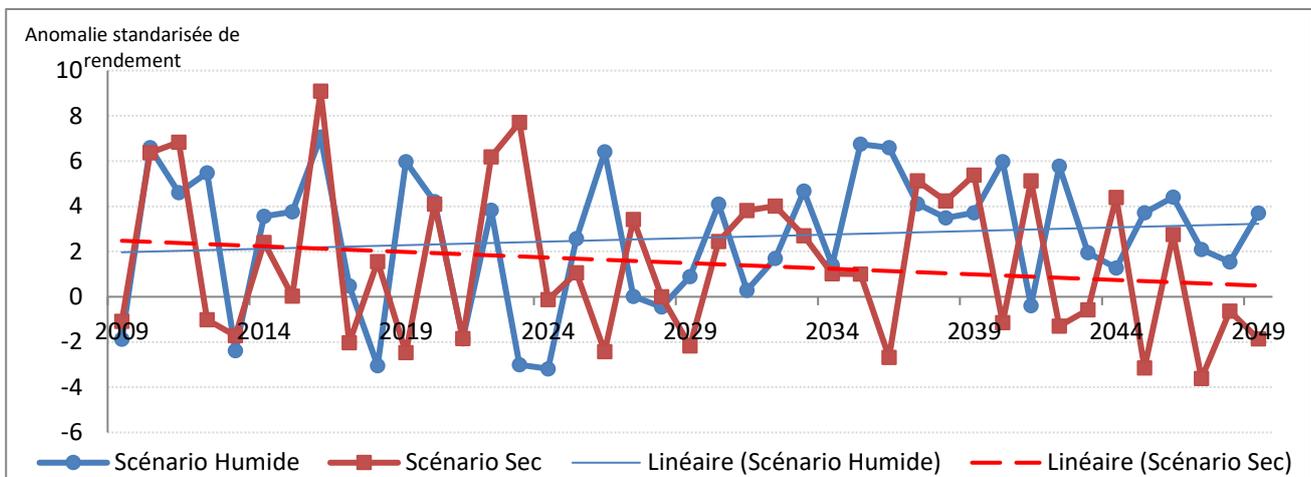


Fig 33 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Maradi

D3. Sorgho

Les figures 34 et 35 montrent que les rendements (HUM : 454 kg/ha ; SEC : 400 kg/ha) sont excédentaires par rapport à la normale 81_10 (218 kg/ha). Pour les deux scénarii, on observe une tendance à la hausse de 2009 à 2049. Cette hausse est cependant plus importante pour le scénario sec que pour le scénario humide.

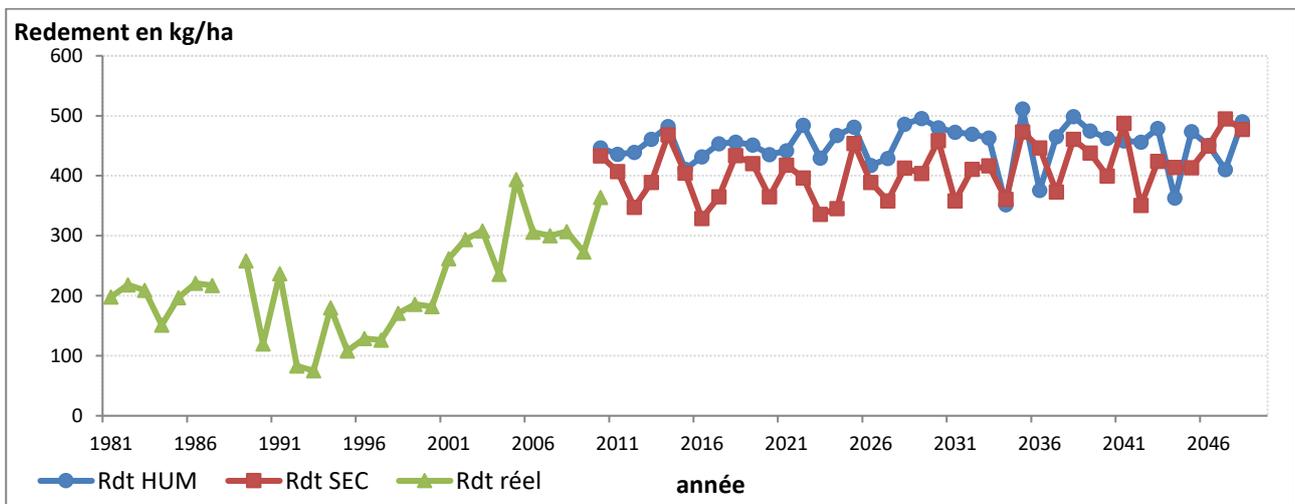


Fig 34 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Maradi

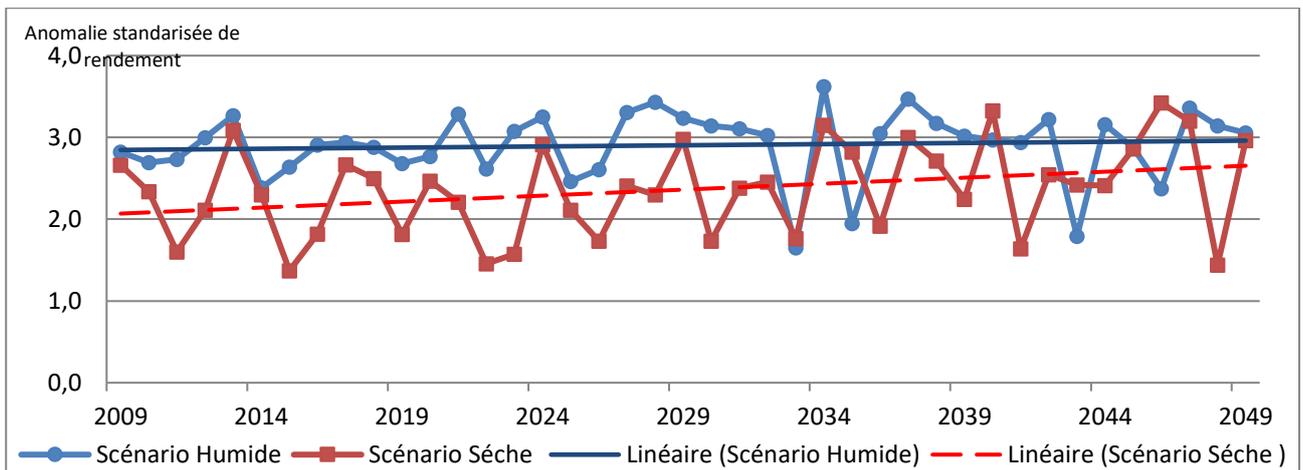


Fig 35 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Maradi

E. Région de Niamey

E1. Variété de mil précoce Haini Kirey (HK)

Pour les terrains sableux fertiles, les rendements (1091 kg/ha en HUM et 953 kg/ha en SEC) seront nettement supérieurs à la normale 81_10 (437 kg/ha) et montrent une tendance à la stabilité pour le scénario humide. Dans le scénario sec, on constate une forte variabilité des rendements très souvent en dessous de la normale 81_10 (particulièrement les années 2016, 2023, 2035 ET 2041) suivie d'une tendance à la baisse (fig 36 et fig 37)

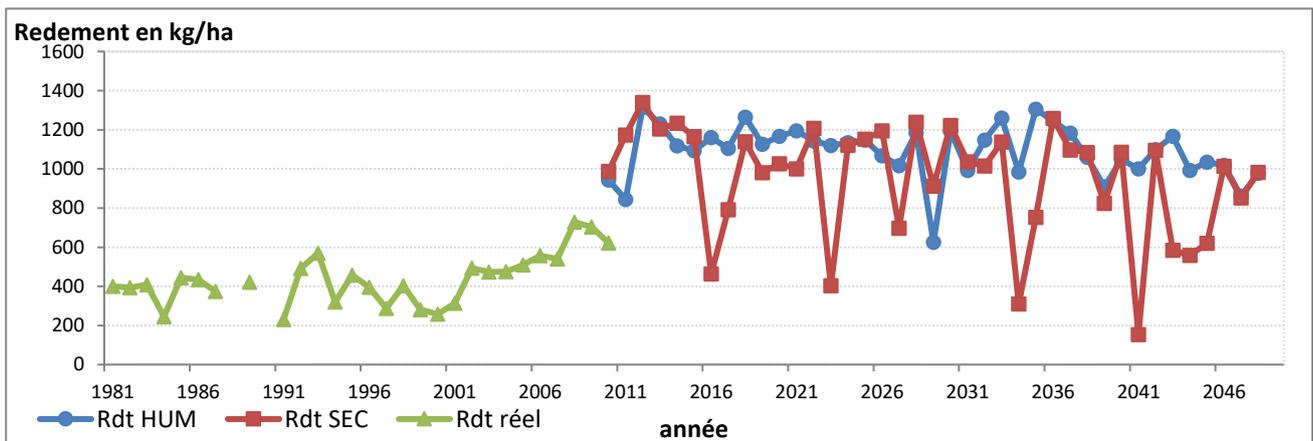


Fig 36 : Rendements réels et rendements prévisionnels du HK pour un sol sableux fertile à Niamey

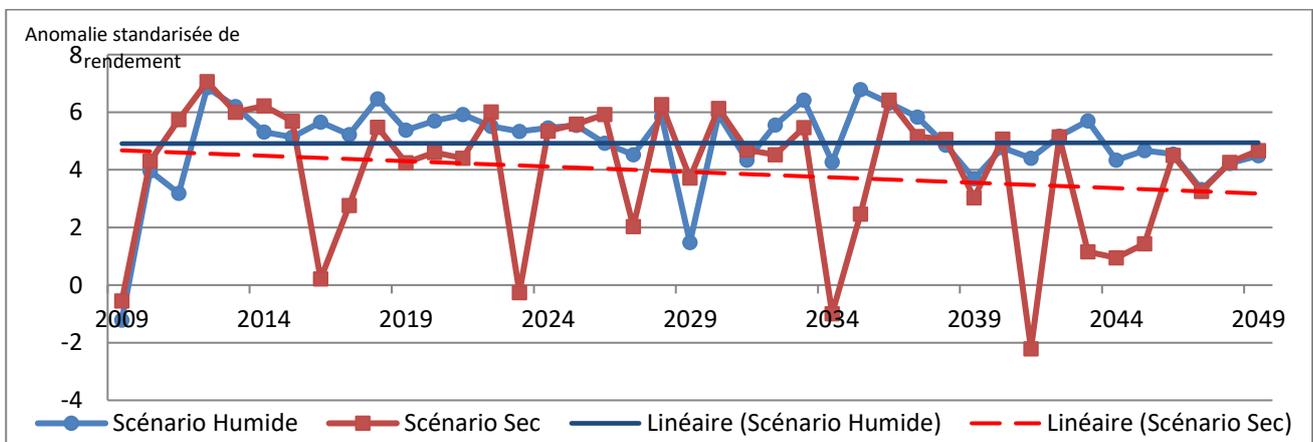


Fig 37 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Niamey

Les rendements seront plus importants pour les terrains sableux fertiles que pour les sableux terrains non fertiles (513 kg/ha en HUM et 507 Kg/ha en SEC). Pour les terrains sableux non fertiles (fig 38 et 39) on a une tendance à la baisse des rendements, qui seront en général en dessous de la normale 81-2010 pour les deux scénarii à partir des années 2030. Les années 2011, 2015, 2023, 2039 et 2018 seront particulièrement déficitaires.

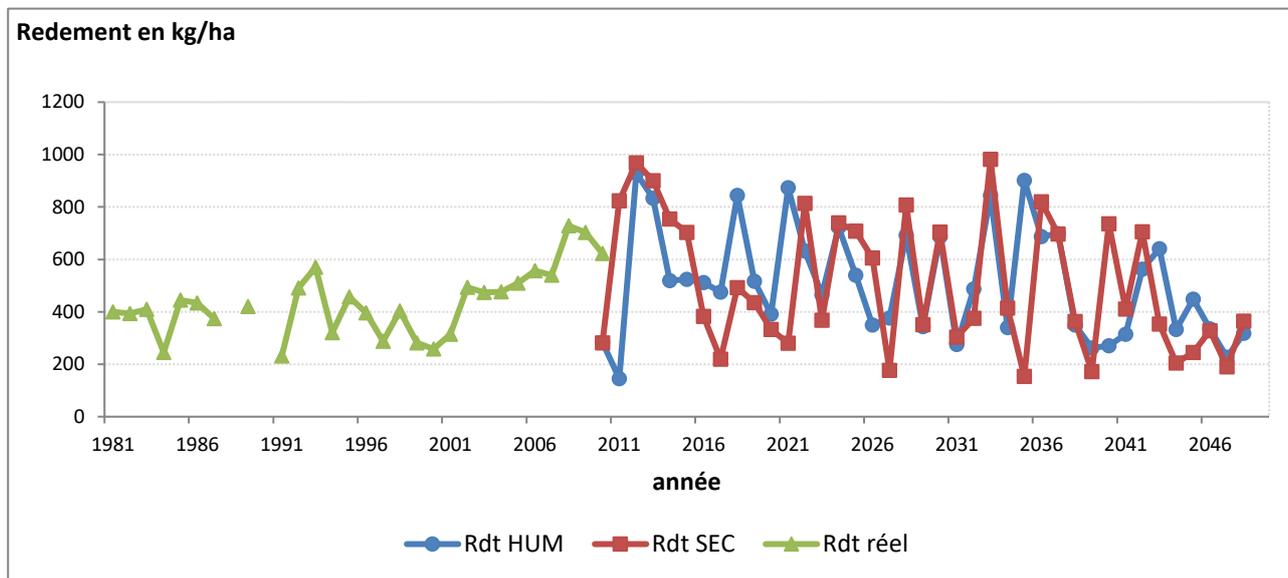


Fig 38: Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux non fertile à Niamey

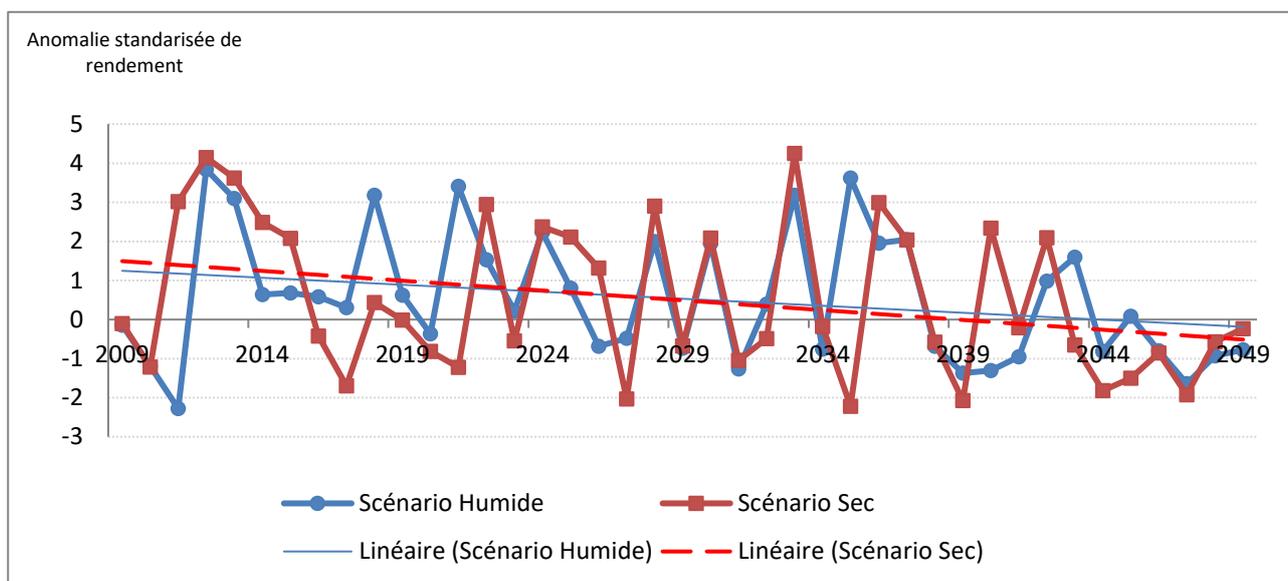


Fig 39 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Niamey

E2. Sorgho sur sol argileux

Pour cette culture, les rendements (385 kg/ha en HUM et 390 kg/ha en SEC) seront excédentaires par rapport à la normale 81_10 (296 Kg/ha) pour les deux scénarii, (exceptée l'année 2017) avec une légère tendance à la baisse de 2009 à 2049 (fig 40 et fig 41)

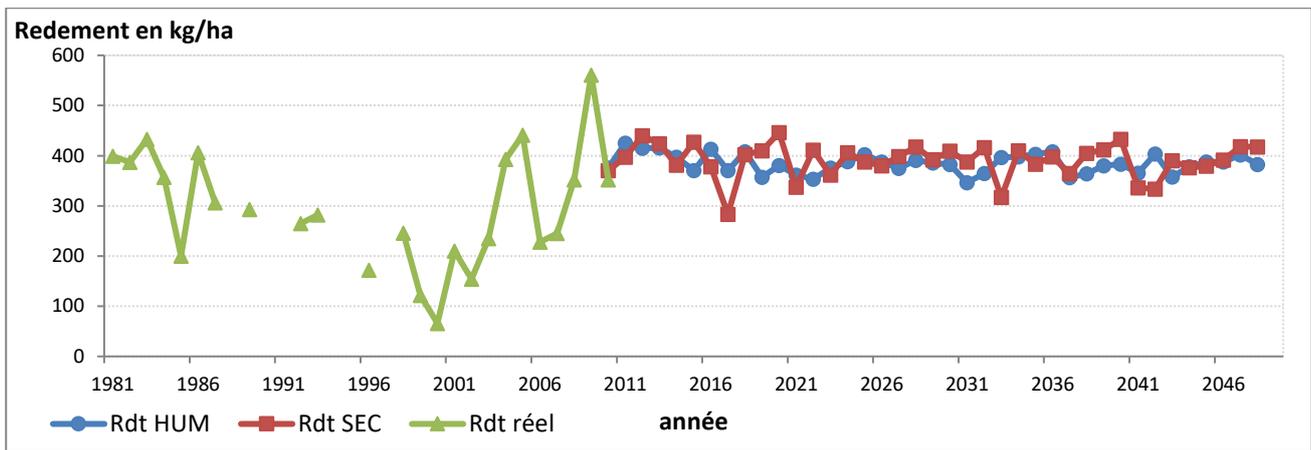


Fig.40 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux non fertile à Niamey

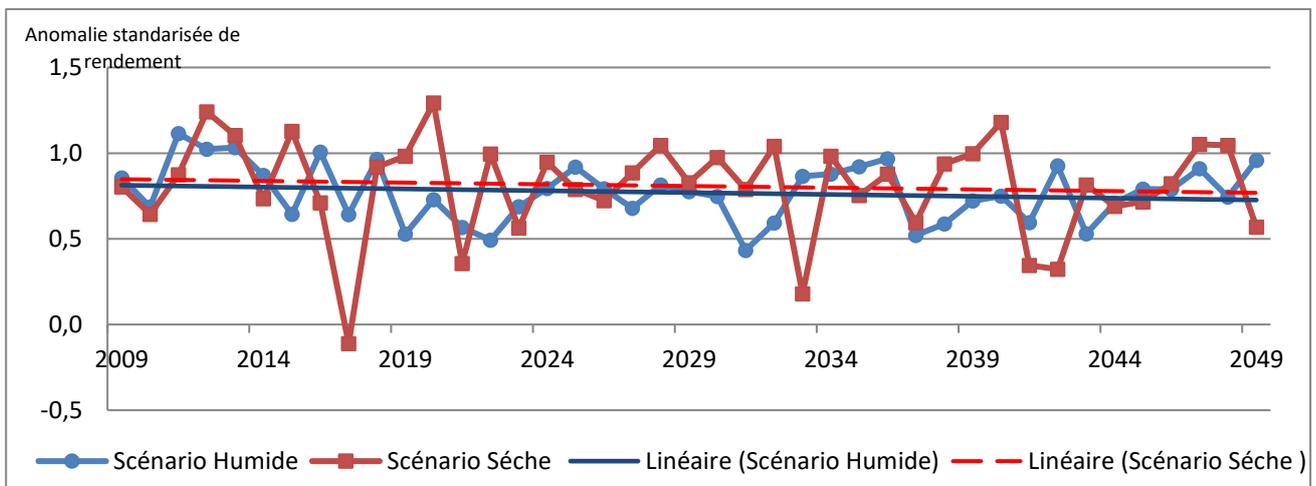


Fig.41 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux fertile à Niamey

F. Région de Tillabéry

F1. Évolution de la pluviométrie

Les projections de la pluviométrie (fig 42) montrent une tendance à la hausse pour le scénario humide contrairement au scénario sec. Cependant l'amplitude des fluctuations entre années humides et moins humides est du même ordre de grandeur que pour la période 70-2010 surtout pour le scénario humide. Par contre pour le scénario sec, on enregistrera une stabilité entre années sèches. Ce qui n'est pas sans conséquence sur la production agricole et la sécurité alimentaire des populations.

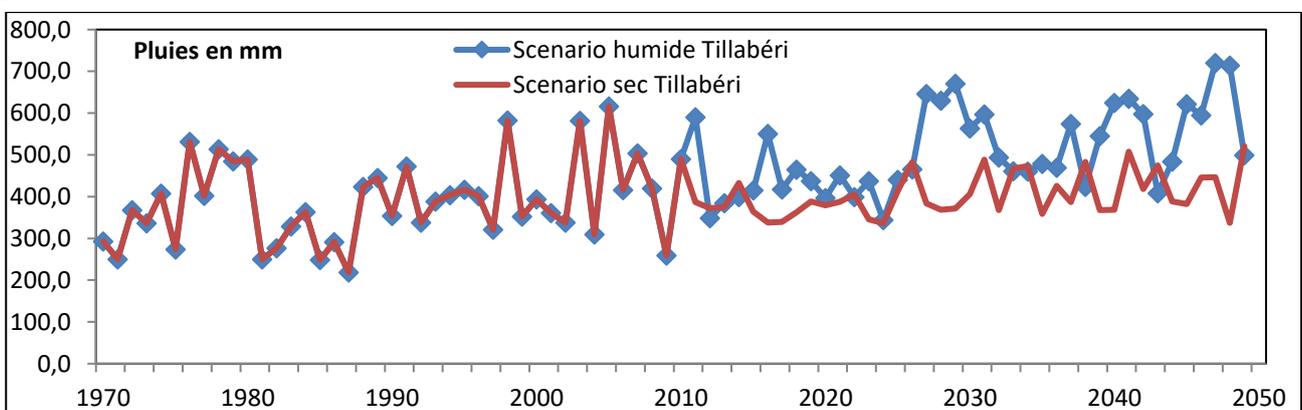


Fig.42 : évolution de la pluviométrie à Tillabéry

F2. Variété du mil précoce Haini Kirey (HK)

Les rendements (956 kg/ha en HUM et 893 kg/ha) seront nettement supérieurs à la normale 81_10 (350 kg/ha) pour les terrains sableux fertiles et montrent une tendance à la stabilité pour le scénario sec. Dans le scénario humide, on constate une forte variabilité des rendements (fig 43 et 44) avec particulièrement une très déficitaire (2040).

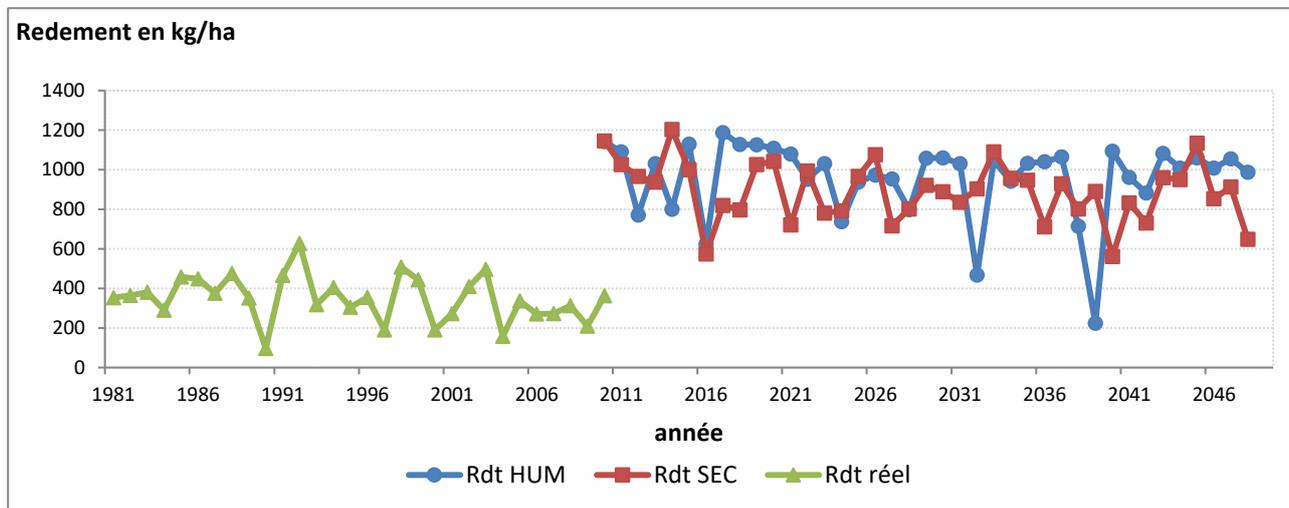


Fig 43 : Rendements réels et rendements prévisionnels du Hk pour un sol sableux fertile à Tillabéry

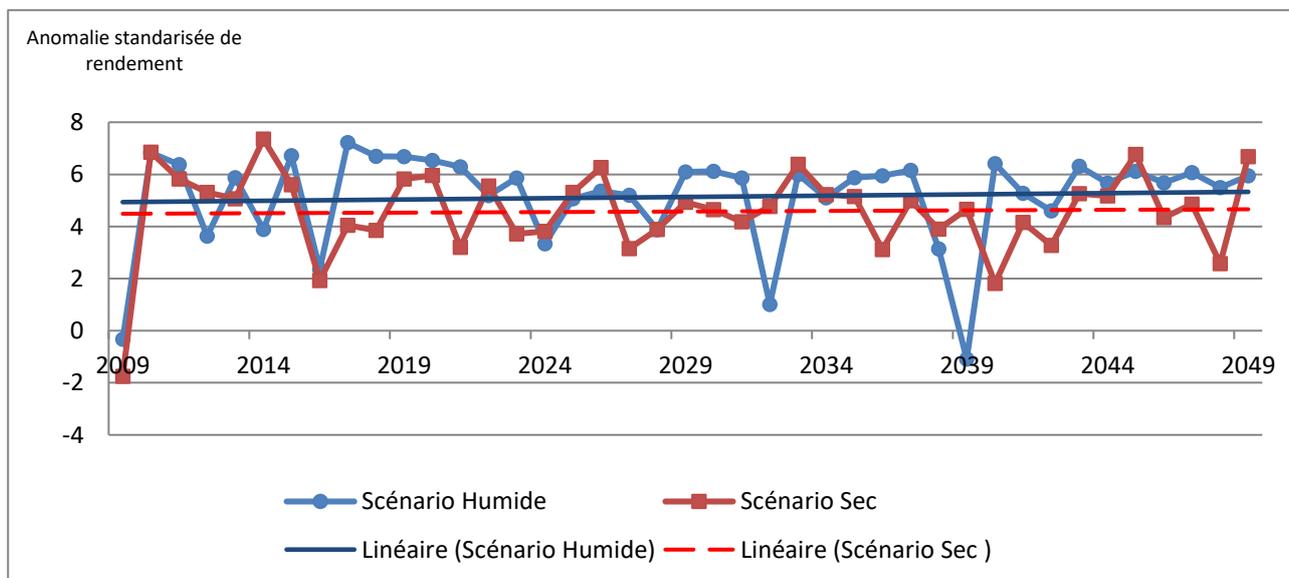


Fig 44 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Tillabéry

Les rendements seront plus importants pour les terrains sableux fertiles que pour les sableux terrains non fertiles.

Pour les terrains sableux non fertiles, les rendements sont très fluctuants et on a une tendance à la stabilité pour les deux scénarii avec des rendements qui seront légèrement au dessus de la normale 81-2010. Cependant les rendements en scénario sec (609 kg/ha) sont plus élevés que ceux du scénario humide (430 kg/ha) (fig 45 et fig 46)

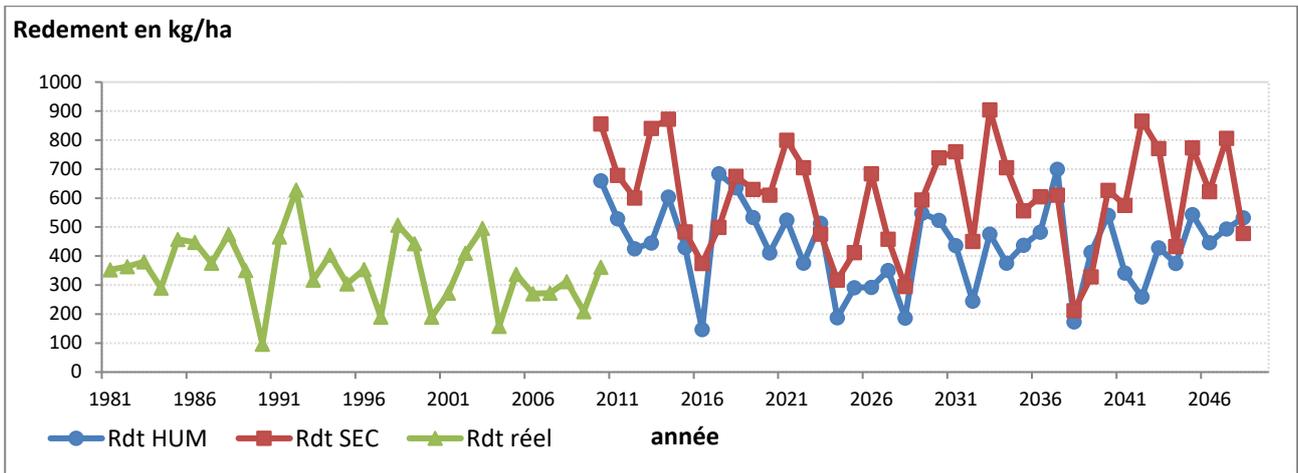


Fig 45 : Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux non fertile à Tillabéry

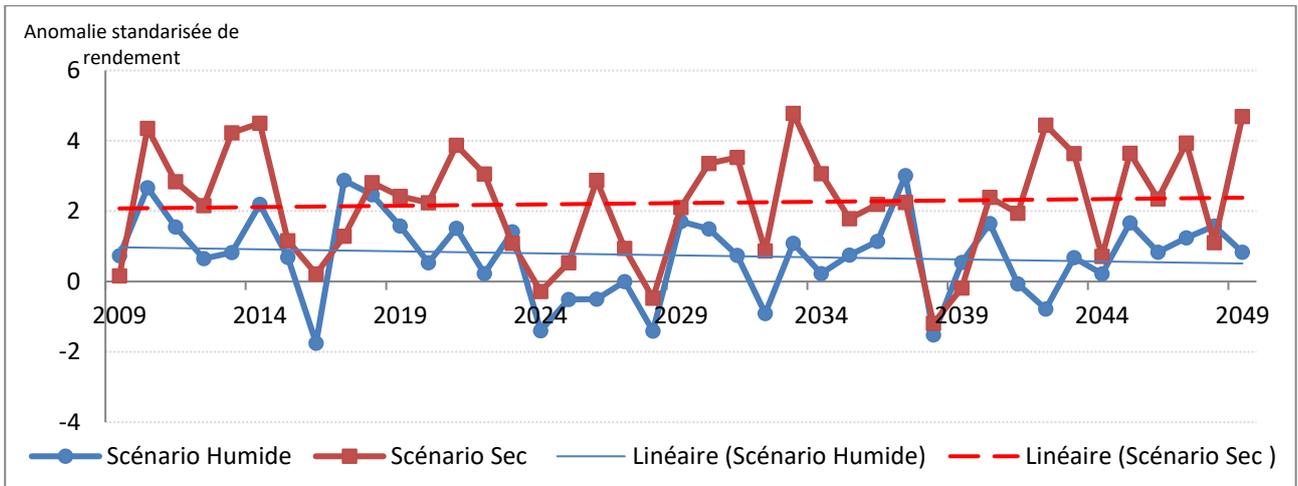


Fig 46 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Tillabéry

Dans ces conditions de baisse de fertilité, les années 2015, 2024, 2029, 2039B seront très déficitaires.

F3. Variété de mil Souna 3

Sur sols sableux fertile et pour les deux scénarii, la tendance des rendements sera à la hausse de 2009 à 2049 avec une pente plus marquée pour le scénario sec (fig 47 et fig 48)

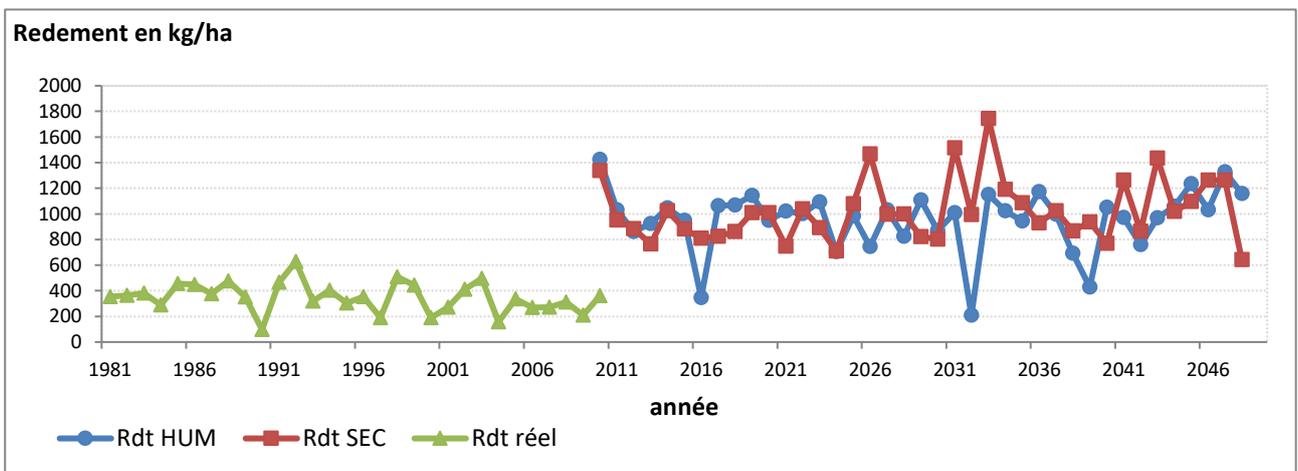


Fig 47 : Rendements réels et rendements prévisionnels du mil souna 3 pour un sol sableux fertile à Tillabéry

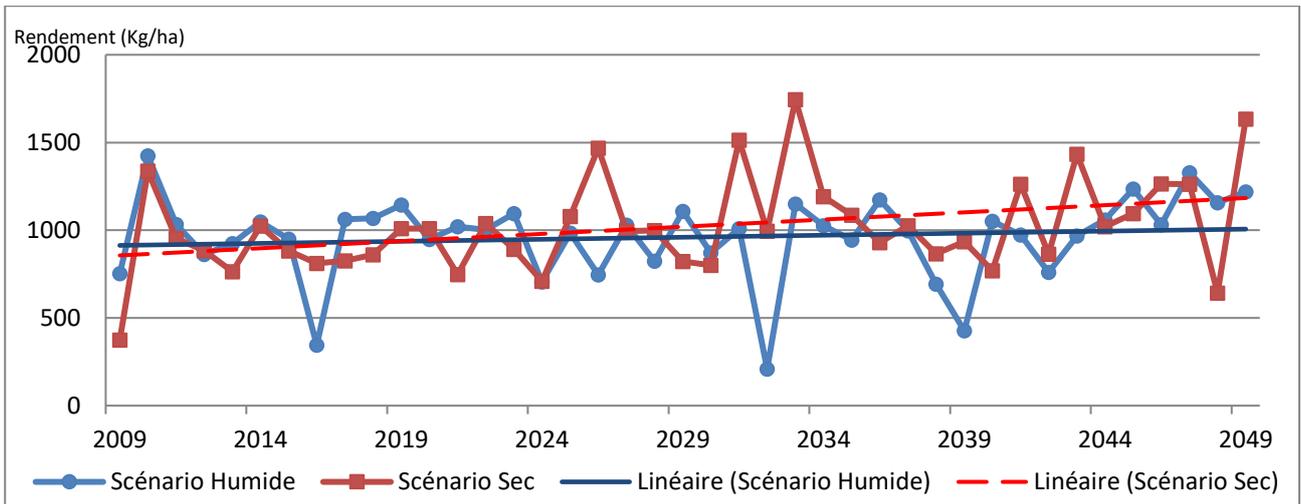


Fig 48: Rendement du Mil Souna sur un sol sableux fertile à Tillabéry

F4. Sorgho

Pour le scénario humide, de 2009 à 2025 une alternance entre années excédentaires et déficitaires par rapport à la normale 81_10 (345 kg/ha) sera observée, tandis que de 2025 à 2049 les rendements seront excédentaires. Avec un rendement de 371 kg/ha, on assistera à une amélioration progressive du niveau des rendements à l’horizon 2049 (Fig 49 et Fig 50)

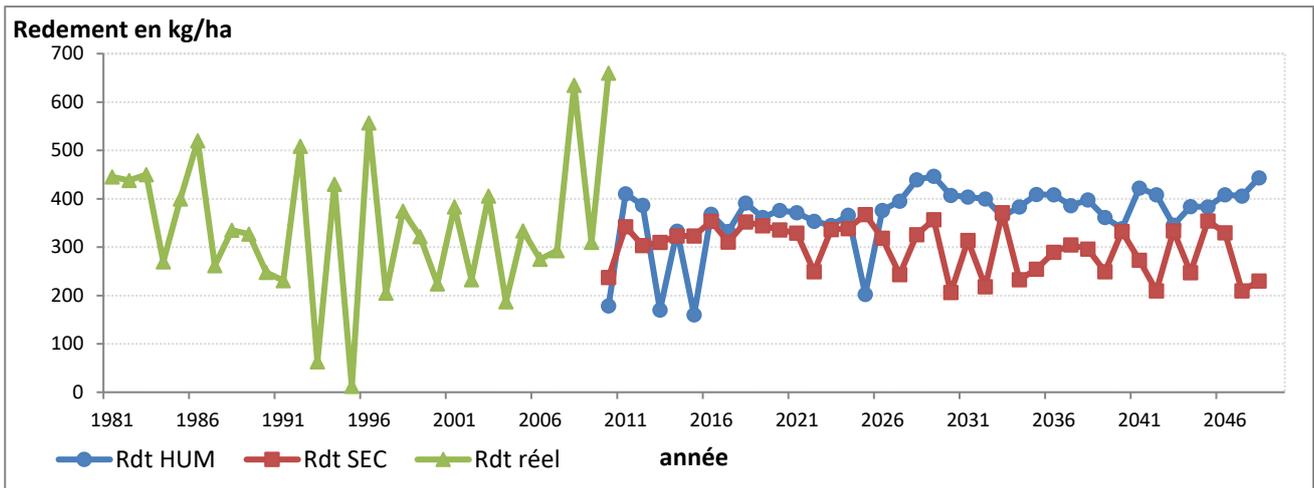


Fig 49 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Tillabéry

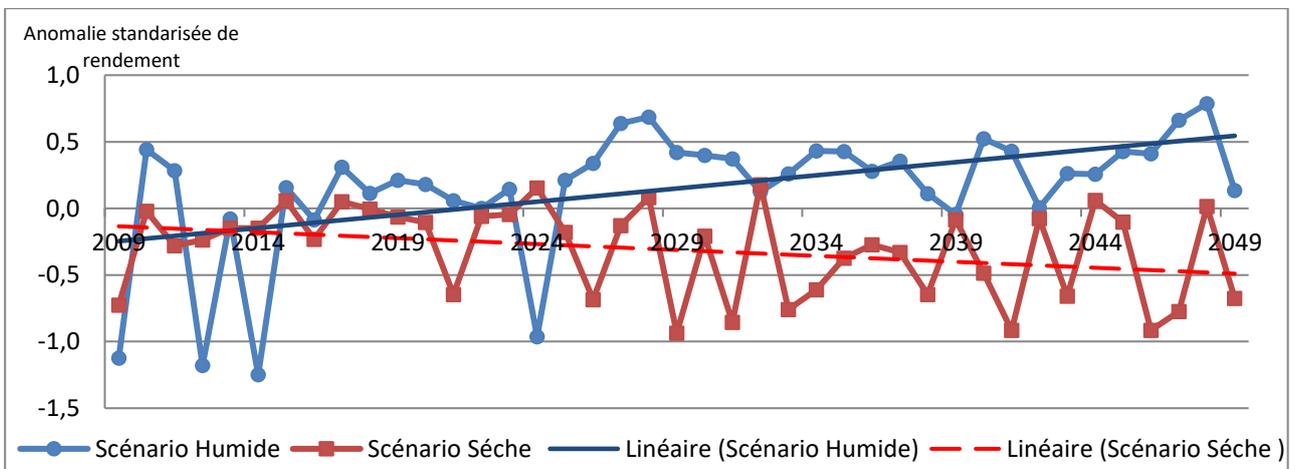


Fig 50 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Tillabéry

Pour le scénario sec, entre 2009 et 2049, les années seront déficitaires par rapport à la normale 81_10 avec des rendements moyens de 299 kg/ha qui continueront de baisser jusqu'à l'horizon 2049.

G. Région de Zinder

G1. Évolution de la pluviométrie

Les projections de la pluviométrie (fig 51) montrent une régularité des précipitations autour de 300 et 400 mm pour les deux scénarii la période 2010 à 2050. Il n'y a pas une différence notable entre ces deux scénarii. La conséquence sur la production agricole est la suivante :

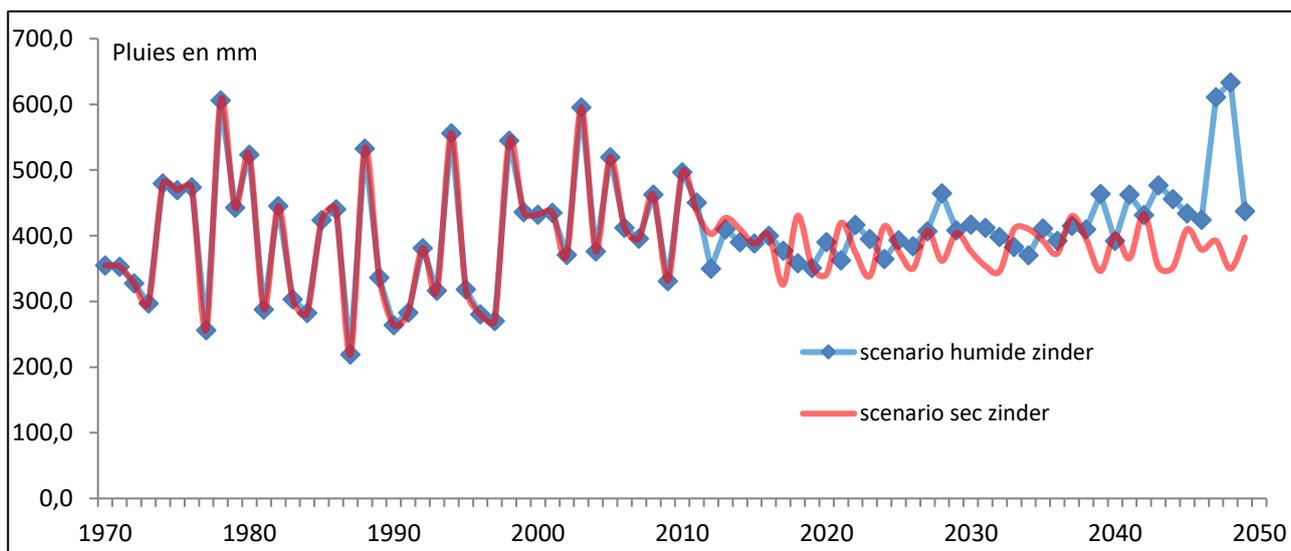


Fig 51: Évolution de la pluviométrie à Zinder

G2. Variété de mil précoce Haini Kirey (HK)

Les rendements (837 kg/ha en HUM et 760 kg/ha en SEC) seront nettement supérieurs à la normale 81_10 (362 kg/ha) pour les terrains sableux fertiles jusqu'aux années 2030, puis une tendance à la baisse sera observée à l'horizon 2049 pour les deux scénarii (fig 52 et 53).

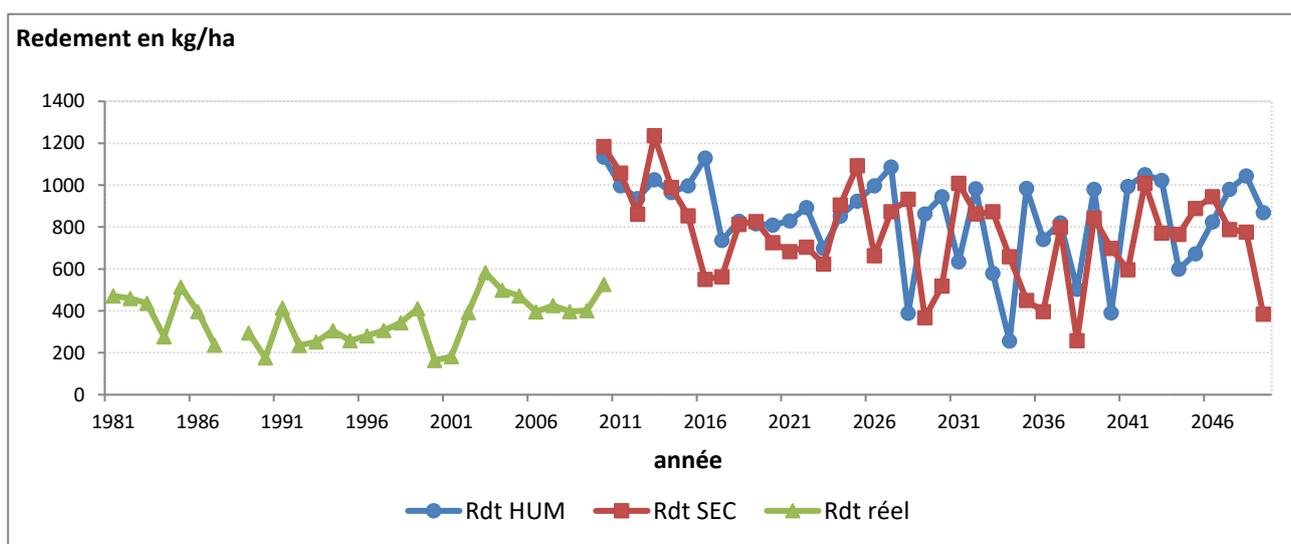


Fig 52 Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux fertile à Zinder

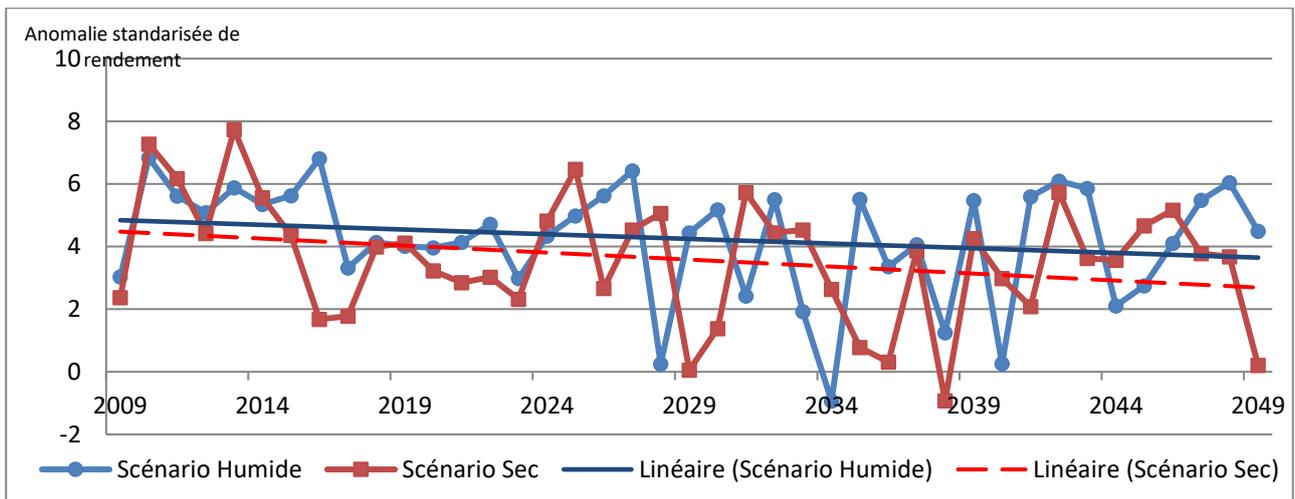


Fig 53: Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Zinder

Les rendements seront plus importants pour les terrains sableux fertiles que pour les terrains sableux non fertiles. Pour les terrains sableux non fertiles, on a une tendance à la baisse des rendements pour les deux scénarii avec des rendements qui seront autour de la normale 81-2010. Cependant les rendements en scénario sec sont plus élevés que ceux du scénario humide (357 kg/ha en HUM et 467 Kg/ha en SEC) (Fig 54 et fig 55).

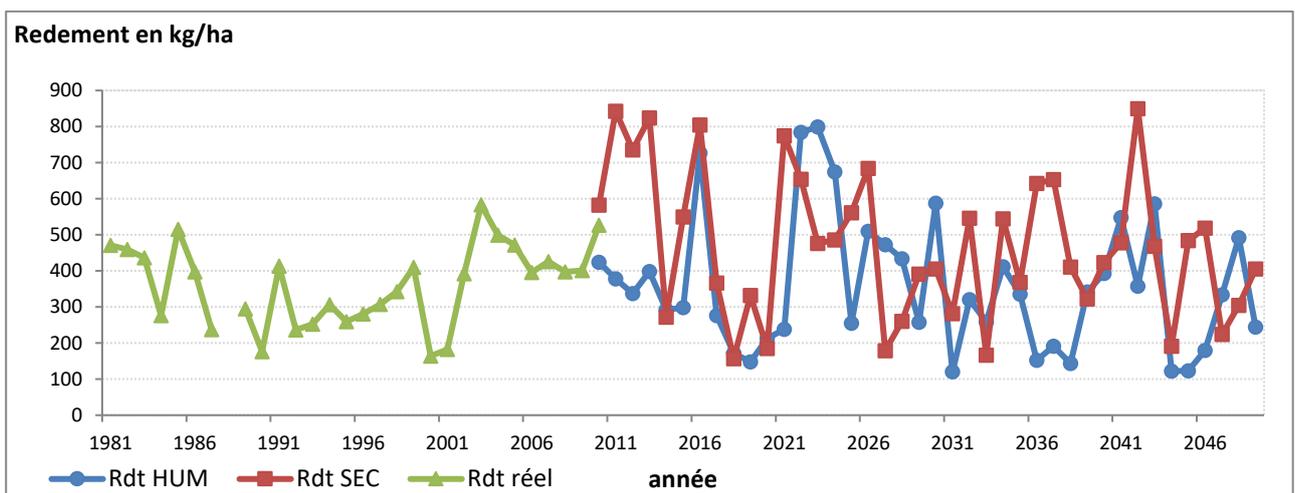


Fig 54 : Rendements réels et rendements previsionnels pour un sol sableux non fertile à Zinder

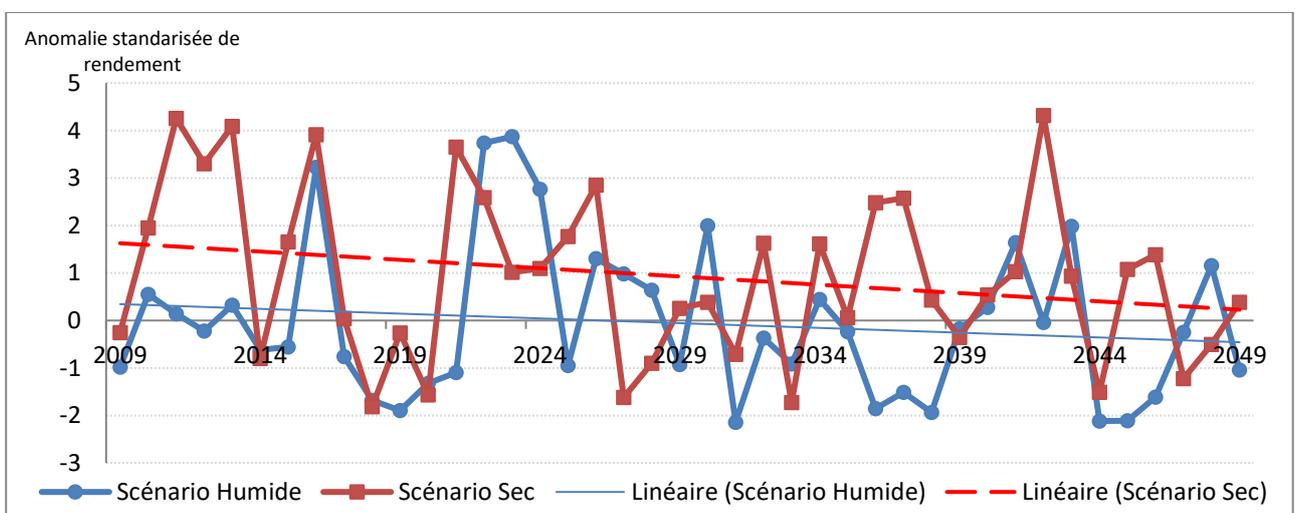


Fig 55 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Zinder

G3. Sorgho

Pour les deux scénarii de 2009 à 2049 une alternance entre années excédentaires et déficitaires par rapport à la normale 81_10 (240 kg/ha) sera observée. Globalement la tendance des rendements sera en légère hausse de 2009 à 2049 (fig 56 et Fig 57), plus en scénario sec qu'humide.

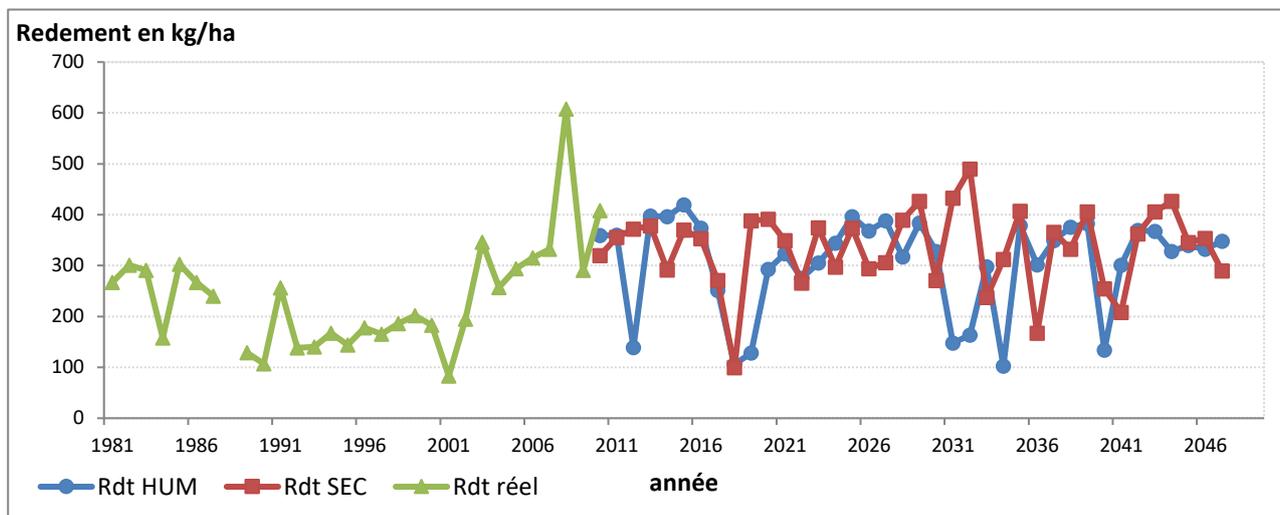


Fig 56 : Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Zinder

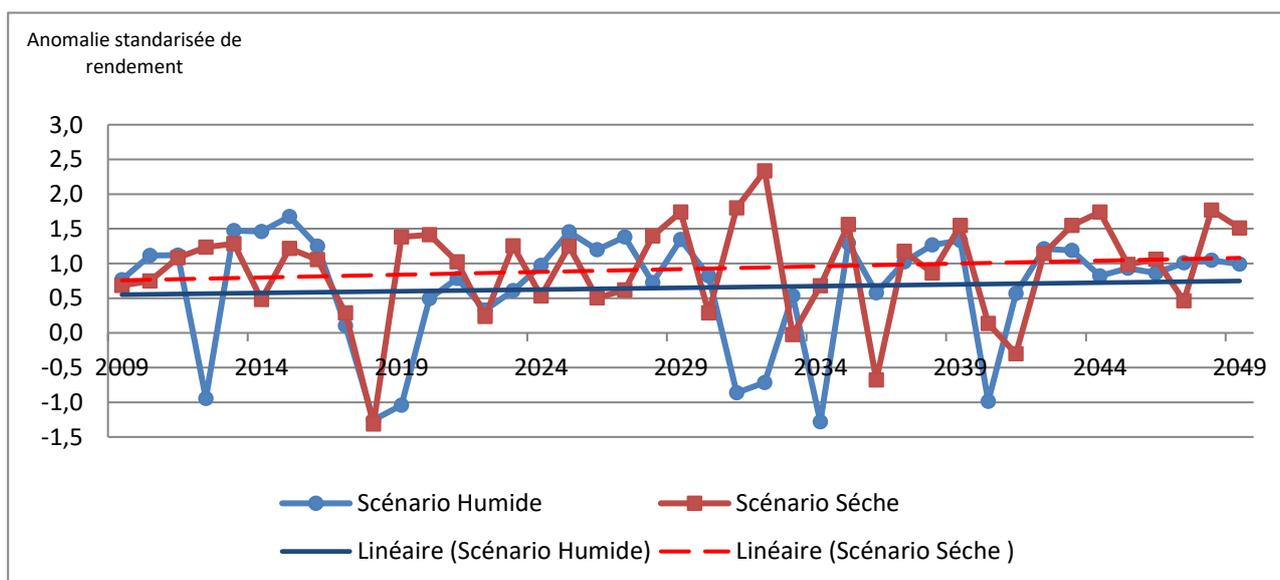


Fig 57: Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Zinder

H. Région de Tahoua

H1. Évolution de la pluviométrie

Les projections de la pluviométrie (fig 58) montrent une légère fluctuation des précipitations autour de 400 et 500 mm pour les deux scénarii entre 2009 et 2049. Il n'y a pas une différence notable entre les scénarii sec et humide.

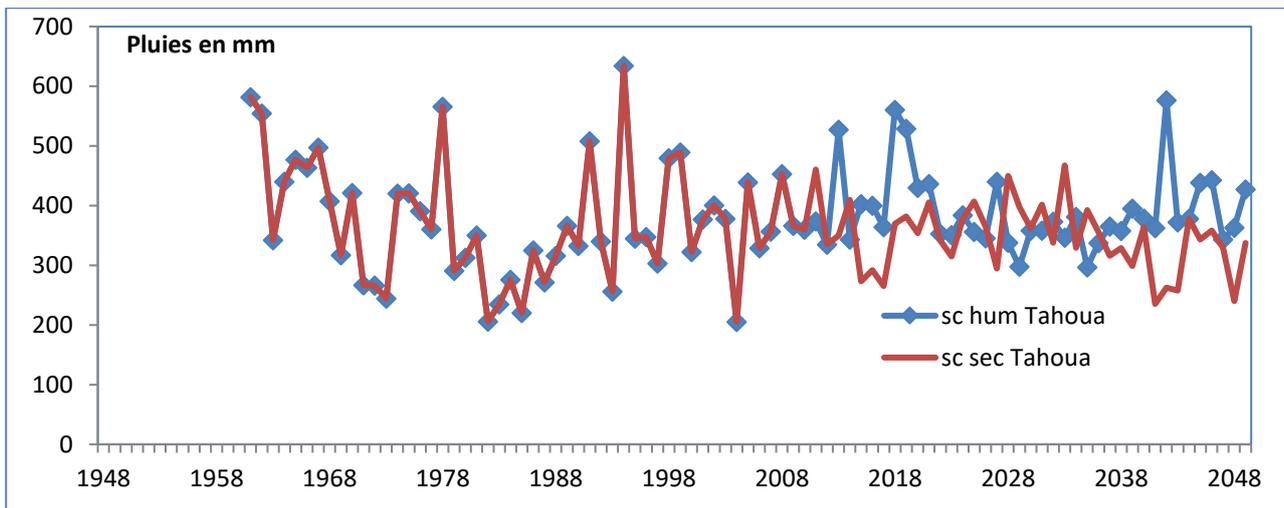


Fig 58 : Évolution de la pluviométrie à Tahoua

H2. Variété de mil précoce Haini Kirey (HK)

Sur les sols fertiles comme sur sols non fertiles les rendements montre une grande variabilité interannuelle et ceux pour les deux scénarii. (fig 59, 60 et 61,62)

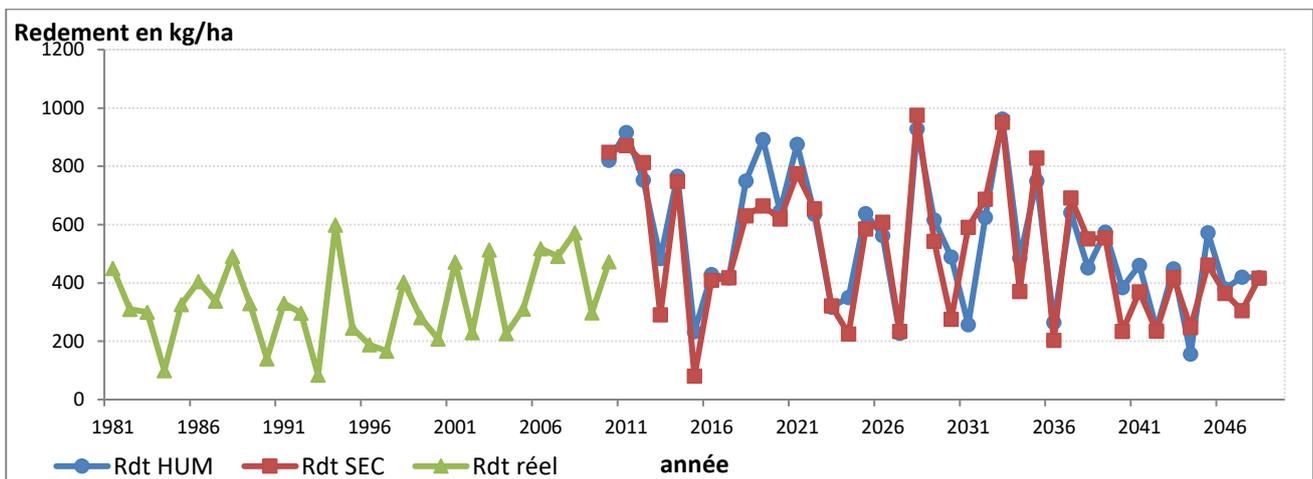


Fig 59 : Rendements réels et rendements prévisionnels pour un sol sableux fertile à Tahoua

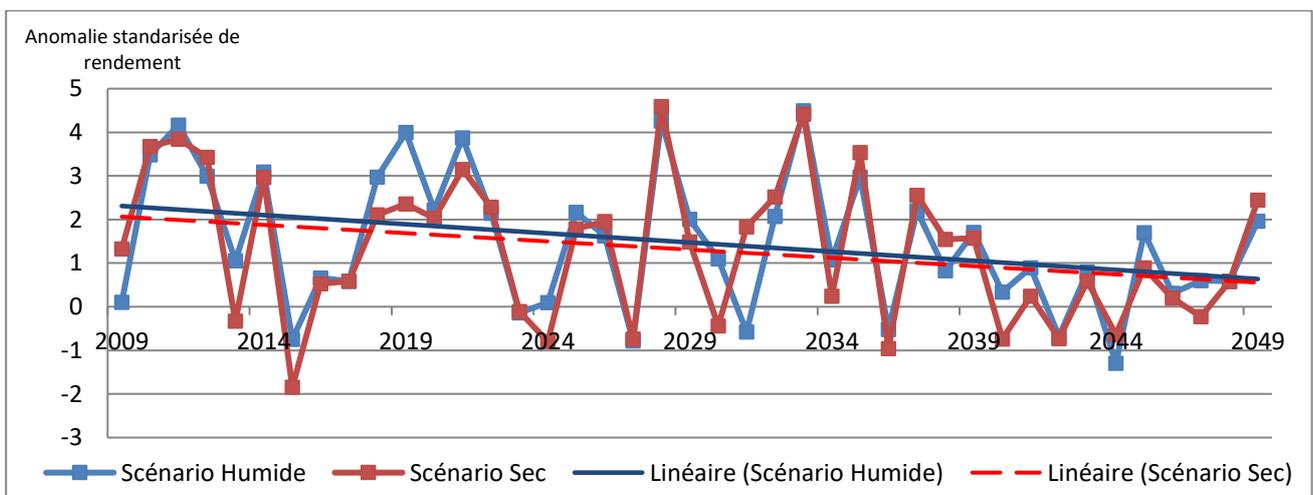


Fig 60 : Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux fertile à Tahoua

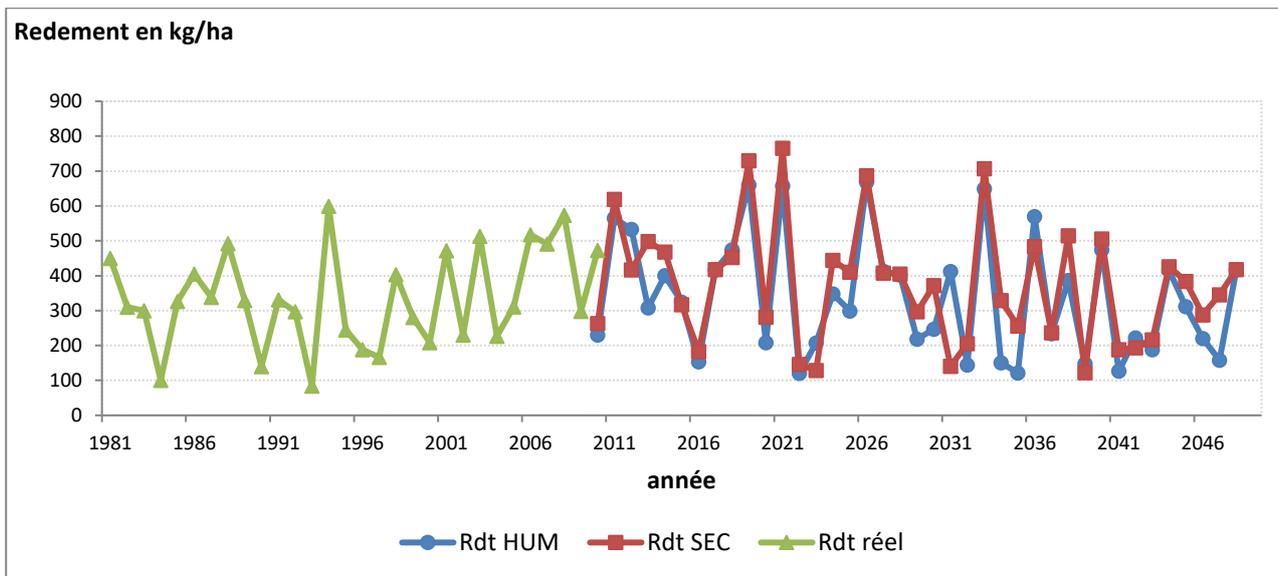


Fig 61 : Rendements réels et rendements previsionnels pour un sol sableux non fertile à Tahoua

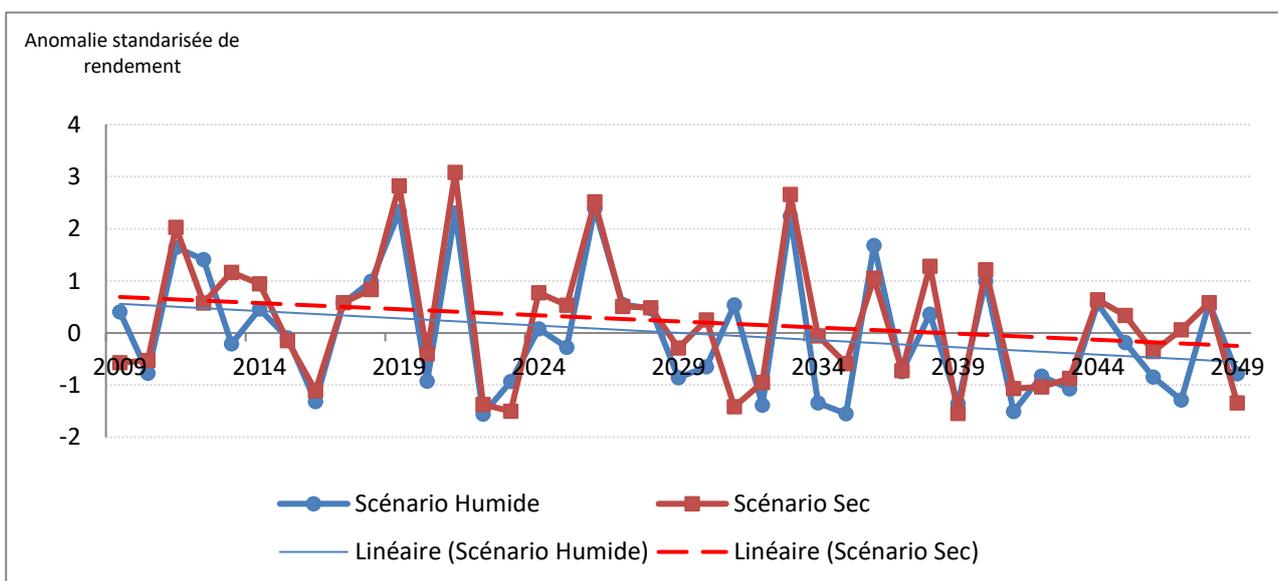


Fig 62: Anomalie de rendement du HK pour un sol sableux non fertile à Tahoua

Les rendements seront aussi légèrement plus importants pour les terrains sableux fertiles (539 kg/ha en HUM et 510 kg/ha en SEC) que pour les sableux terrains non fertiles (339 kg/ha en HUM et 373 kg/ha en SEC), mais oscillent autour de la normale 81-2010 (337 kg/ha). Pour les deux types de sols et pour les deux scénarii, on observe une tendance à la baisse des rendements beaucoup plus prononcée dans le cas des sols non fertiles.

H3 : Sorgho

Pour les deux scénarii, les rendements sont pratiquement identiques (292 kg/ha en HUM et 282 kg/ha en SEC) ; une alternance entre années excédentaires et déficitaires par rapport à la normale 81_10 (289 kg/ha) sera observée et enfin la tendance des rendements sera en légère hausse de 2009 à 2049 (fig 63 et 64).

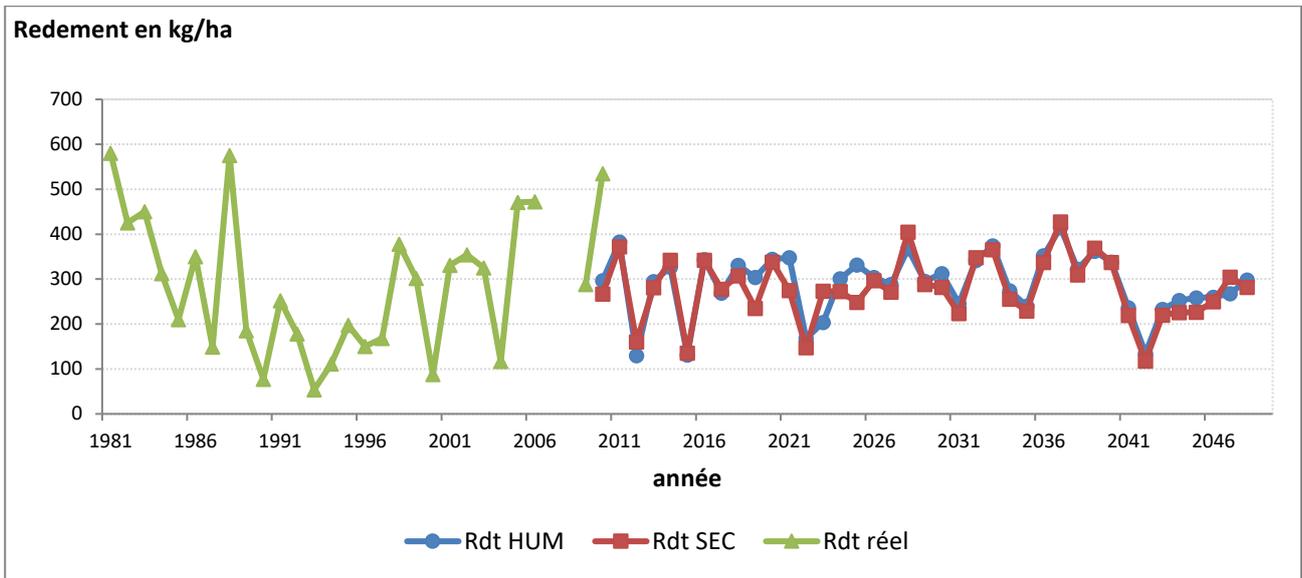


Fig 63: Rendements réels et rendements prévisionnels de sorgho pour un sol argileux à Tahoua

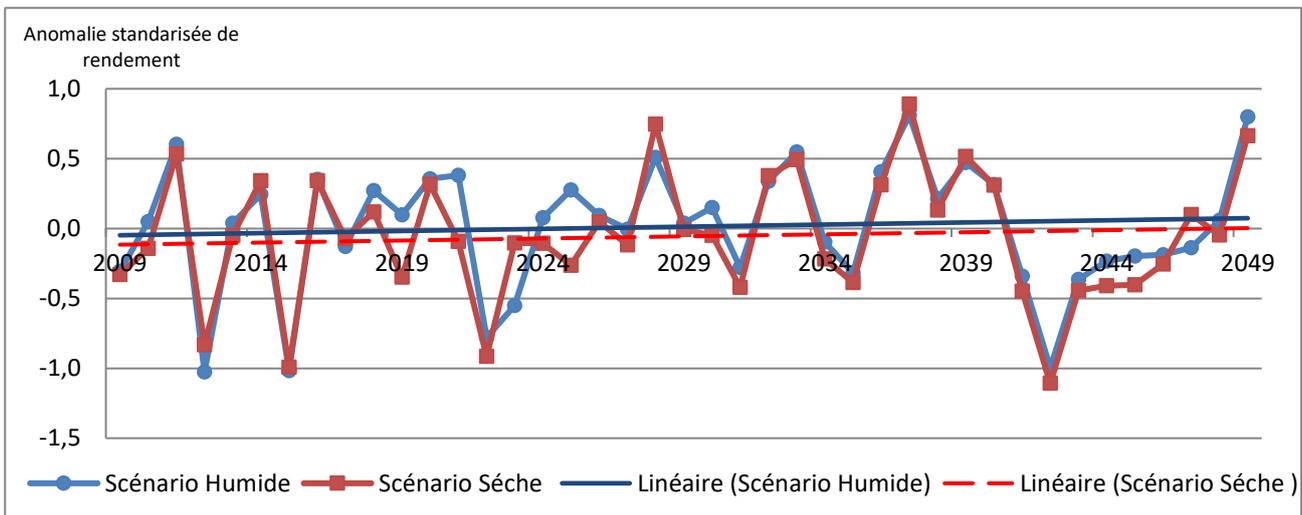


Fig 64 : Anomalie de rendement du Sorgho sur un sol argileux à Tahoua

VI. ANALYSE DES RESULTATS

Les rendements simulés nous permettent d'apprécier l'impact des changements climatiques au cours de la période de simulation 2010-2050 :

➤ Sur la productivité du mil

- Les tableaux 1 et 2 laissent apparaître des variations moyennes de l'ordre de +15% (en HUM) à +24 % (en SEC) pour l'ensemble du pays quand le sol est pauvre, alors que quand le sol est fertile, elles atteignent + 106 % (en SEC) et +129% (en HUM). Cela signifie que l'effet de la fertilité permet de doubler le niveau du rendement de la moyenne 1981_2010 quelque soit le scénario climatique. Cependant, le scénario humide ne paraît pas favorable pour les sols sableux pauvres sauf à Gaya et Maradi, probablement en raison de la pratique d'un système de production plus intensif. Ce qui n'est pas le cas à Mainé Soroa, et Zinder où on enregistre -19% et -2% de baisse de rendement en HUM respectivement.

Tableau 1: Récapitulatif pour la variété précoce de mil Haini Kirey en situation de sols non fertiles

Mil	Moyenne 1981-2010	Sol sableux non fertile (Période 2010_2049)			
		Rendement	Rendement Moyen HUM	Rendement Moyen SEC	Variation Moyenne HUM
Gaya	634	894	844	41%	33%
Konni	512	576	488	13%	-5%
Mainé soroa	325	264	359	-19%	11%
Maradi	407	603	514	48%	26%
Niamey	437	513	507	17%	16%
Tahoua	337	339	373	1%	11%
Tillabery	350	430	609	23%	74%
Zinder	362	357	467	-2%	29%
Moyenne	420	497	520	15%	24%

Tableau 2 : Récapitulatif pour la variété précoce de mil Haini Kirey en situation de sols fertile

Mil	Moyenne 1981_2010	Sol sableux fertile (période 2010_2049)			
		Rendement	Rendement moyen HUM	Rendement moyen SEC	Variation moyenne HUM
Gaya	634	1184	1170	87%	85%
Konni	512	1067	1032	109%	102%
Mainé soroa	325	832	578	156%	78%
Maradi	407	1095	1002	169%	146%
Niamey	437	1091	953	150%	118%
Tahoua	337	539	510	60%	52%
Tillabery	350	956	893	173%	155%
Zinder	362	837	760	131%	110%
Moyenne	420	950	862	129%	106%

- Ces variations moyennes cachent **une grande variabilité temporelle et spatiale** des rendements (à l'image de la pluviométrie) se traduisant par une fluctuation importante de ces derniers. On enregistre fréquemment une alternance de bonnes années et de mauvaises années pratiquement une année sur deux, et ceux pour les deux scénarii mais surtout pour le scénario sec dans toutes les régions. Pour chaque région, on peut identifier alors les années déficitaires qui ne sont pas forcément les mêmes d'une région à une autre, permettant de prendre les mesures de prévention ou d'adaptations adéquates à travers une bonne gestion des stocks et le développement d'infrastructures facilitant les échanges entre zones excédentaires et déficitaires, en plus des mesures techniques d'adaptation.
- **Une tendance à la baisse des rendements généralisée à l'horizon 2050**, quelque soit le scénario (SEC ou HUM) et le niveau de fertilité. Mais la baisse de rendements est plus marquée dans la situation de pauvreté des sols.
- Quand la fertilité des terres n'est pas un facteur limitant, « **l'effet de la fertilité** » **compense « l'effet du déficit hydrique »** des mauvaises années. Cela s'observe dans toutes les régions où l'on ne distingue pas de différences significatives entre les rendements des scénarii sec et humide, sauf pour le maïs qui est trop exigeant en eau, contrairement au mil et le sorgho.
- Quand le facteur fertilité des terres est limitant, **l'amplitude des fluctuations des rendements (entre bonnes et mauvaises années) devient très grande** pour les deux scénarii, mais cela est davantage exacerbé dans le scénario sec.

➤ *Sur la productivité du sorgho,*

Le tableau 3 récapitule l'impact de la variation climatique sur les rendements de la variété ML tamari cultivée dans un sol argileux.

Tableau 3 : Récapitulatif pour la variété sorgho ML tamari sur sol argileux

Sorgho	Moyenne 1981-2010	Sol argileux (Période 2010_2049)			
		Rendement moyen HUM	Rendement moyen SEC	Variation moyenne HUM	Variation moyenne SEC
Gaya	602	497	494	-17%	-18%
Konni	463	460	420	-1%	-9%
Mainé soroa	177	330	259	86%	46%
Maradi	218	454	409	109%	88%
Niamey	296	385	390	30%	32%
Tahoua	289	292	282	1%	-2%
Tillabéry	345	371	299	8%	-13%
Zinder	240	308	339	28%	42%
Moyenne	329	387	362	30%	21%

Contrairement au mil, les rendements simulés du sorgho pour la période 2010-2050 ne sont pas encourageants. En scénario sec comme en scénario humide, les rendements moyens sont déficitaires par rapport à la moyenne 1981-2010 à Gaya, Konni, Tillabéry et Tahoua. Ils sont par contre excédentaires à Mainé Soroa, Maradi, Niamey et Zinder. Retenons que dans le meilleur des cas, ils n'atteignent pas les 500 kg/ha. Heureusement, les courbes tendanciennes des anomalies laissent entrevoir des hausses (fortes ou légères selon les localités ou le scénario) de rendements pour l'ensemble des régions excepté Gaya et Niamey. Globalement à l'échelle du pays, l'augmentation moyenne des rendements est de 30% en HUM et 21% en SEC.

Des études de cas réalisées au Burkina Faso et au Niger dans le cadre du projet changement climatique CILSS/ACDI (AGRHYMET, 2007) indiquent que le rendement moyen des cultures de mil et de sorgho, base de l'alimentation des populations sahéliennes, diminuerait de 15% à 25 % d'ici 2080;

➤ *Sur les systèmes de cultures*

L'impact des changements climatiques sur l'agriculture ne se traduit pas uniquement par une réduction des rendements. Outre les manifestations climatiques (**répartition irrégulière dans le temps et dans l'espace des faibles précipitations, parfois des pluies diluviennes occasionnant des inondations ou des érosions des terres, et des manifestations de fortes chaleurs** qui entraînent un échaudage des épis avant maturation), cet impact se manifeste par aussi par **une transformation des systèmes des cultures** (Amoukou, 2010 ; Lona, 2011 ; Ilou, 2010) se traduisant par :

- une **modification de tout le calendrier agricole** : La préparation du sol est négligée car l'urgence est désormais donnée aux semis ; l'installation des cultures a tendance à se dérouler en même temps pour le mil, le sorgho et le niébé dès les premières pluies alors que d'habitude le niébé est semé après le premier sarclage du mil.
- **Les sarclages sont moins nombreux et plus rapide** (la pression des adventices est plus faible) en raison du raccourcissement de la saison des pluies,
- **l'abandon de la riziculture traditionnelle suite** à l'insuffisance des crues au niveau du fleuve, aggravant l'insécurité alimentaire des populations ;
- la **diminution drastique des superficies allouées au riz inondé** au profit du riz en système de pompage individuel et en aménagements hydro-agricoles,
- **l'abandon de la culture d'arachide** du fait de l'importance accordée par les paysans aux céréales depuis les différentes crises alimentaires qui se sont succédées ;
- **l'abandon du coton cultivé** particulièrement au bord du fleuve au profit de la culture du riz et du tabac depuis la famine de Bandabari (1966) et la sécheresse de 1973.
- Il y a aussi **l'abandon de la culture du sorgho de décrue** suite aux faibles crues et les étiajes sévères enregistrés depuis le début des années 70 et de **la variété tardive Somno du mil,**
- **l'extension des superficies cultivées en sorgho** : Le sorgho qui était cultivé autour du fleuve (sorgho de décrue) a connu une remonté considérable vers les plateaux. Ainsi la culture a d'abord gagnée, avec l'avènement d'autres variétés, les bas fonds (bordures des mares et marigots, etc.) puis les glacis avec l'avènement de la charrue et actuellement même sur les sols dunaires ;
- **l'extension de la culture des cucurbitacées** (*Cucurbita maxima*, *Citrullus lanatus* et *Lagenaria siceraria*) : cette culture qui étaient spécifique à la zone du fleuve se retrouvent aujourd'hui dans le lit des mares asséchées,
- la **généralisation de la culture du niébé**, résistant à la sécheresse et plante fourragère ;
- le **morcellement du patrimoine foncier familial en raison de** la pression démographique ;
- la diminution voire **disparition de la jachère** qui indique un blocage foncier au niveau des ménages et des terroirs et pose le problème de la gestion de la fertilité des sols ;
- et **l'augmentation de la fréquence des mauvaises récoltes** : Le phénomène est devenu même chronique ces dernières années à tel point certains paysans disent : « *il n'y a que d'années déficitaires dans leur terroir* ».
- la **modification de l'emplacement de zones optimales** de culture du fait du glissement des isohyètes : cas de la modification des zones cotonnières ouest africaines, avec la disparition de la zone cotonnière au Niger;

➤ *Sur la sécurité alimentaire*

En tenant compte des besoins alimentaires des nigériens à l'horizon 2050 et avec les systèmes de cultures actuels, ces variations moyennes des rendements simulées ne permettent pas de gagner le pari pour la sécurité alimentaire même dans l'hypothèse climatique favorable (scénario humide). Dans l'hypothèse climatique défavorable (scénario sec), les pertes de productivité aggraveront davantage les crises alimentaires déjà récurrentes dans le pays. En effet la baisse de la production entraînera une hausse des prix des aliments et accroît par conséquent l'insécurité alimentaire, en particulier des ménages ruraux qui achètent plus d'aliments qu'ils n'en vendent. En supposant que les tendances actuelles de croissance de la population et de distribution inégale des richesses se maintiennent, le PAM estime que, d'ici 2050, le nombre de personnes risquant de souffrir de la faim dans le monde sera 10-20% plus élevé que s'il n'y avait pas de changement climatique. Une grande majorité de ces personnes se trouvera dans les pays en voie de développement, dont 65% en Afrique. Cela aura des conséquences sévères sur la nutrition, notamment des enfants. En effet, Il est estimé qu'en Afrique Subsaharienne, donc au Niger, le changement climatique sera responsable de la malnutrition de 10 millions d'enfants supplémentaires.

Le risque de famine lié au changement climatique vient à la fois d'impacts directs sur les systèmes alimentaires (annexe 1) et d'impacts indirects sur les différentes dimensions de la sécurité alimentaire : **disponibilité** de quantités suffisantes de nourriture, **accès** aux ressources nécessaires pour obtenir la nourriture, **utilisation** des aliments notamment la nutrition, la salubrité et la qualité des aliments, et enfin **stabilité** de la disponibilité et l'accès aux aliments. (Annexe 2).

Face à ce défi, les populations ont développé plusieurs stratégies pour s'adapter au contexte. Parmi ces stratégies, figurent celles relatives aux pratiques agricoles comme la lutte contre la dégradation des terres agricoles, la gestion de la fertilité des sols, les techniques de gestion de l'eau, la diversification des cultures, etc.). A cela s'ajoutent d'autres formes d'adaptation : production et vente d'animaux, entraide et coopération, diversification des activités, migration saisonnière, etc. L'agriculture extensive est considérée comme une stratégie visant à compenser la baisse des rendements en l'absence d'une amélioration des itinéraires techniques de cultures, malheureusement cela se fait au détriment des espaces pastoraux.

Devant l'ampleur du phénomène et sa vitesse de progression, on est en droit de constater avec amertume que toutes ces stratégies développées par les populations paraissent très limitées pour une adaptation à moyen et long terme. Par conséquent, des politiques, stratégies et actions, tant aux niveaux national, régional, qu'international, s'avèrent indispensables pour limiter les effets de ces changements climatiques et pour permettre aux populations de s'adapter durablement.

VII. STRATEGIES D'ADAPTATION

Comme la plupart des pays de la sous-région, le Niger a élaboré son Programme d'Action National pour l'Adaptation (PANA) aux changements climatiques avec l'appui du Programme des Nations Unies pour le Développement/Fonds pour l'Environnement Mondial (PNUD/FEM). L'objectif du PANA est de contribuer à l'atténuation des effets néfastes de la variabilité et des changements climatiques sur les populations les plus vulnérables et ce dans la perspective d'un développement durable (PANA, 2006). Concrètement les mesures d'adaptation proposées par le PANA peuvent être regroupées par secteur : agriculture, élevage, foresterie, ressources en eaux, faune, pêche, zones humides, transport, et santé. Dans le domaine de l'agriculture en particulier, les axes génériques suivant sont envisagés :

- Amélioration par la recherche de la résistance génétique à la sécheresse des variétés céréalières et amélioration des techniques culturales,
- Protection efficace des cultures contre les organismes nuisibles,
- Diversification et intensification des cultures irriguées ;
- Appui à la promotion du maraîchage périurbain,
- promotion des Activités Génératrices de Revenus et Développement des mutuelles
- la maîtrise de l'eau (utilisation rationnelle des ressources en eau)
- la création des banques céréalières ;
- la protection des berges et la réhabilitation des mares ensablées ;
- le développement des actions de CES/DRS à des fins agricoles, forestières et pastorales ;
- le renforcement des capacités des services techniques ;
- la production et la diffusion des informations agro-météorologiques ;
- la réhabilitation des cuvettes pour la pratique des cultures irriguées ;

On peut planifier ces mesures à court et long termes (Sarr et al. 2007)

1. Les adaptations à court terme

En système pluvial : mils, sorghos, riz par exemple

1. Diversification des cultures

L'introduction de nouvelles cultures ou variétés comme des hybrides ou des plantes résistant mieux à des plus fortes chaleurs et des plus grandes sécheresses semble plébiscitée.

2. Ajustement des cycles de production

Meilleure calage des calendriers culturaux (dates de semis, utilisation de variétés photopériodiques).

3. Amélioration des méthodes de conservation des eaux et des sols

- *la détermination des méthodes les plus appropriées de gestion de l'humidité du sol durant les périodes critiques du développement des plantes, l'amélioration de la fertilité des sols en vue d'accroître leur productivité par l'introduction des techniques améliorées de jachère, semis de légumineuses au cours du dernier cycle de culture, afin de réduire la durée de jachère suivante ,

- *choix des variétés plus résistantes à la sécheresse et le développement des cultures irriguées dans les zones situées au Nord du 10^e parallèle.
- *l'intensification de la production céréalière dans les zones où les conditions climatiques restent favorables.

4. Utilisation de l'information météorologique en agriculture

l'utilisation de la prévision agro météorologique dans la planification à moyen et court terme des opérations agricoles en particulier renforcer les systèmes d'alerte précoce, permettant de mieux s'adapter aux variations des conditions climatiques.

5. Systèmes d'assurance

Un système d'assurance des agriculteurs face aux catastrophes naturelles peut être mis en place afin d'aider les agriculteurs en périodes de sécheresse importante ou lors d'inondations qui affectent irrémédiablement les cultures. Ce système fonctionne dans les pays industrialisés mais est encore trop insuffisant en Afrique

Riz irrigué

*Promotion à grande échelle de la culture du riz irriguée (pentes en C3 dont les rendements sont nettement accrus dans un contexte de changement Climatique en condition hydrique optimale),

*améliorer les conditions de travail des producteurs à travers du matériel plus performant (amélioration des la performance du matériel d'irrigation) et réhabilitation des périmètres irrigués.

Ces adaptations rendent les agriculteurs encore plus vulnérables à des changements brusques et imprévus du climat pour lesquels les mesures ne sont pas adaptées. Ainsi, ces mesures seules ne peuvent pas aider à faire face à long terme aux impacts du changement climatique. Il faut donc les coupler à des politiques de long terme.

2. Les adaptations à long terme

Ces mesures incluent des options telles que l'amélioration des systèmes de gestion de la ressource en eau, l'adoption de nouvelles technologies et la diversification vers d'autres secteurs économiques.

6. Changer les types de cultures et leur localisation

Il s'agit d'adapter les types de culture aux nouveaux climats et ainsi abandonner certaines cultures au profit de nouvelles.

7. Développer des nouvelles technologies

La recherche et les innovations technologiques doivent permettre aux agriculteurs de faire face aux changements climatiques. Des investissements en matière d'irrigation seraient notamment les bienvenus et permettraient une intensification des activités agricoles. Les nouvelles technologies sont notamment nécessaires pour la gestion de la ressource en eau car les technologies actuelles sont trop consommatrices d'eau. De même, il faudrait promouvoir la recherche vers des plantes plus résistantes aux changements (chaleur, humidité, fréquence des maladies...).

8. Améliorer la gestion des ressources en eau

L'irrigation est un outil essentiel à l'agriculture en zone aride et semi-aride, où les températures sont élevées et l'évaporation importante. Elle va devenir vitale pour maintenir un certain niveau de production. C'est l'adaptation à long terme la plus importante que le Niger doit effectuer.

Il faut protéger les installations déjà existantes contre les risques de salinisation, améliorer des systèmes de récupération d'eau de pluie, et recycler les eaux usées.

Ces adaptations doivent inclure :

- ✧ Des recherches pour développer des technologies pour contrôler les inondations : bassins de déversement, de retenue, pour éviter des inondations trop importantes (pour séquestrer l'eau temporairement).

- ✧ Des programmes d'ensemencement des nuages et de rétention d'eau des pluies,

- ✧ Des stratégies d'utilisation de la ressource en eau pour répartir les ressources entre l'industrie, les villes et l'agriculture.

- ✧ Des recherches pour développer des stratégies adaptatives en matière d'agriculture.

Ces adaptations contribuent donc à diminuer la vulnérabilité des pays face aux changements climatiques mais augmentent la dépendance de l'économie à l'agriculture. Elles doivent en outre influencer positivement les facteurs économiques, politiques et sociologiques, en vue d'un véritable développement durable.

Ces mesures d'adaptation identifiées dans le cadre du PANA sont en synergie avec les dispositions des trois conventions post Rio à savoir : la Convention sur la lutte Contre la Désertification (CCD), la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) et la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). Elles le sont aussi avec les objectifs nationaux de développement contenus dans les priorités nationales dégagées par la SRP et la SDR.

En effet, le Niger a élaboré une politique de Stratégie de Réduction de la Pauvreté (SRP) en janvier 2002. C'est le cadre stratégique de référence dans lequel s'inscrivent toutes les actions de développement durable.

Les mesures d'adaptation identifiées dans le cadre du PANA sont conformes aux orientations de la SRP et la SDR, notamment en ce qui concerne la sécurité alimentaire, le renforcement des capacités, la maîtrise de l'eau, la lutte contre la désertification et la promotion des activités génératrices des revenus.

En effet l'objectif général assigné à la SDR qui est lui-même directement relié à l'objectif global de la SRP est de réduire l'incidence de la pauvreté rurale de 66% actuellement à 52% en 2015. Compte tenu des enjeux du développement rural identifiés, la SDR définit, pour atteindre cet objectif général, trois axes stratégiques :

- favoriser l'accès des ruraux aux opportunités économiques pour créer les conditions d'une croissance économique durable en milieu rural ;
- prévenir les risques, améliorer la sécurité alimentaire et gérer durablement les ressources naturelles pour sécuriser les conditions de vie des populations ;
- renforcer les capacités des institutions publiques et des organisations rurales pour améliorer la gestion du secteur rural.

Enfin d'autres mesures sont prises par les autorités publiques à travers des axes prioritaires inscrits dans d'autres documents de politique nationale en matière de développement rural dont principalement le Code Rural. Ces axes prioritaires sont entre autres :

- ✓ Formation des producteurs ruraux et leur responsabilisation à la base ;
- ✓ Intensification des productions agro-sylvo-pastorales ;
- ✓ Formalisation de l'exploitation du bois de chauffe ;
- ✓ Application effective du code rural avec la mise en place des COFO villageoises ;
- ✓ Promotion de la mobilisation sociale et la coopération communautaire pour la préservation et la restauration de l'environnement ;
- ✓ Association des femmes à la gestion des ressources sylvicoles.

VIII CONCLUSION - RECOMMANDATIONS

Faire en sorte que les systèmes agricoles, soient en mesure de s'adapter au changement climatique exige des efforts considérables, dont l'aboutissement dépend de facteurs biologiques, écologiques, technologiques ou liés aux systèmes d'information et de gestion. Ces efforts dépassent largement les capacités locales d'adaptation des populations. Le Niger disposant de ressources économiques limitées et d'un accès insuffisant à la technologie sera moins à même de suivre le rythme qui s'impose à lui pour faire face au phénomène. Malheureusement, il n'a pas d'autres alternatives que de :

- i) **Soutenir une agriculture adaptée aux variations climatiques** : Les systèmes de production assortis de mesures de maîtrise des risques sont de nature à renforcer la capacité des plus vulnérables à s'adapter au changement climatique. L'assurance indexée sur des mesures météorologiques et l'agriculture de conservation pourraient aussi aider à faire face aux fluctuations du climat et il convient de leur apporter un appui. Cependant, ces techniques doivent être complétées par des aides au crédit et aux intrants, un meilleur accès aux marchés régionaux et un renforcement des capacités commerciales, pour impliquer les populations agricoles vulnérables, ainsi que par des dispositions à même de stimuler l'innovation.
- ii) **développer des technologies et pratiques résistantes au changement climatique** : Le gouvernement du Niger devrait allouer davantage de fonds à la recherche-développement et à la diffusion de technologies adaptées telles que les cultures résistantes à la sécheresse, à la chaleur ou à l'eau. La productivité de l'agriculture du Niger fléchit, et l'accès à des intrants modernes ferait augmenter la production et encouragerait les agriculteurs à se diversifier. Pour couvrir les besoins alimentaires actuels et répondre à la demande future, il sera indispensable de recourir davantage à l'amélioration génétique des variétés, d'étendre l'irrigation et d'utiliser, avec discernement, des produits agrochimiques.
- iii) **Mettre en place de systèmes d'alerte précoce, de prévision et d'information climatiques** : Pour pouvoir s'adapter à l'évolution du climat, il est indispensable de disposer d'informations. Il est donc particulièrement important de comprendre les schémas de variabilité des prévisions et projections du climat et des saisons. Parce que les prévisions leur permettront d'anticiper les chocs et les pertes, les agences de développement pourront cibler l'aide à apporter. Les communautés locales devront également être formées de façon à pouvoir transmettre elles-mêmes des informations sur le climat et les méthodes traditionnelles de prévision météorologique. Le Programme ClimDev de l'UA/CEA-ONU doit être soutenu si l'on veut améliorer la disponibilité des informations et des services climatiques sur le continent.
- iv) **Intégrer des mesures d'adaptation dans le processus de développement et les stratégies agricoles** : Il est essentiel d'intégrer des mesures d'adaptation au changement climatique (comme par exemple l'audit climat) dans la planification à long terme du développement en général et dans les programmes agricoles en particulier. Au niveau national, décideurs et planificateurs ont un rôle décisif à jouer pour formuler des politiques de nature à renforcer la capacité d'adaptation du pays et des communautés rurales au changement climatique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGRHYMET, 2009 : Actes de l'atelier de restitution des résultats du projet «Appui aux Capacités d'Adaptation du Sahel aux Changements Climatiques». Ouagadougou, 2-4 Février 2009

Amadou, M L, 2004. Impact de la variabilité climatique sur les système de production à bana (gaya) et à Zabon Mousso (Aguié), mémoire de DESS, 78 pages

Amoukou I A., 2009. Un village Nigérien face au changement climatique. *Stratégies locales adaptation au changement climatique dans une zone rurale du bassin du Niger*. Edité par l'autorité du bassin du Niger. Niamey.

Ben Mohamed, A., van Duivenbooden, N., and Abdoussallam, S.: 2002, 'Impact of Climate on Agricultural Production in the Sahel – Part 1. Methodological Approach and Case Study for Millet in Niger', *Clim. Change* **54**: 327-348

Bourgeois, G. et Gagnon, C., 2001. Modélisation de l'impact des changements climatiques sur les cultures végétales. Rapport de projet. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu.

Brassard, J-P. et Singh, B. 2007. Effects of climate change and CO2 increase on potential agricultural production in southern Quebec, Canada. *Climate Research* Vol. 34 : 105-117.

Brassard, J-P. 2003. Évaluation des impacts de la hausse de la concentration atmosphérique du CO2 et des changements climatiques sur la production agricole du Québec.

CNEDD, 2007. Seconde communication à la convention cadre des nations unies sur le changement climatique : Evaluation nationale de la vulnérabilité et de l'adaptation aux changements climatiques, *version provisoire* juin 2007. 66 pages.

Daouda H., 2007. Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques: cas du département de Téra au niger. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Master en développement. Université Senghor d'Alexendrie en Egypte. 68 pages.

EEA, 2005. Vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques en Europe. Agence européenne pour l'environnement. Briefing N° 3.
reports.eea.europa.eu/briefing_2005_3/fr/Briefing_3_2005_FR.pdf

El Maayar, M., Singh, B., André, P., Bryant, C. Et Thouez, J-P., 1997. The effects of climatic change and CO2 fertilisation in agriculture in Quebec. *Agricultural and Forest Meteorology* 85: 193-208.

GIEC, 2001. Bilan des changements climatiques: Conséquences, adaptation et vulnérabilité. Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du groupe de travail II au troisième rapport du GIEC. OMM et PNUE. 81 pages.

GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques: Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II, III, au quatrième rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat GIEC, Genève, Suisse 103 pages.www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf

INS, 2007. Rapport national sur les progrès vers l'atteinte des OMD. Institut Nationale de la Statistique. Niger 2007. Pages 37-43.

Lona, I, 2010, Changement climatique et développement agricole dans la région de Tillabery : perception, impacts, stratégies d'adaptation des populations et réalités climatologiques dans la commune rurale de Diagourou, mémoire de DESS, FLSH, 75 pages

MHE/LCD, 2005. Consultant sectorielle sur l'environnement et la lutte contre la désertification : document 1 : cadre stratégique et opérationnel. Septembre 2005. 58 pages.

PNUD, 2008. Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008 : La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé. Edition La Découverte. New York, 10017 USA.

IPCC, 2007: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.

Keita, C. O, 2009. Impacts potentiels du changement climatique sur la riziculture dans la vallée du bassin du Niger moyen. Cas du périmètre de Saga. Mémoire de fin du cycle Mastère en Gestion concerté des ressources naturelles, option GIRE. Centre Régional, AGRHYMET, Niamey, Niger.

Poluektov, R. A. et Topaj, A. G., 2001. "Crop modeling: Nostalgia about Present or Reminiscence about future." Agronomy journal 96: 653-659.

Sarr B. Traoré S. Salack S. 2007. Évaluation de l'incidence des changements climatiques sur les rendements des cultures céréalières en Afrique soudano-sahélienne. Centre Régional Agrhymet, CILSS, Niamey.

SALAAK, S, 2006 : Évaluation de l'incidence des changements climatiques sur la culture du riz pluvial et irrigué dans les pays du CILSS, Rapport de stage, pp : 29 pages CRA

Seidou O, P. Gachon, T. Ouarda, A. Cotnoir, M. Badolo, A. Bokoye, H. Ouaga, A. Amani, I. Seidou Sanda, (2006) : Variabilité des Rendements du Mil au Niger - Impact du Climat et des Facteurs de Gestion. Rapport du Centre Régional AGRHYMET, Niamey, Niger.

SDR, 2003. Stratégie de Développement Rural. Comité interministériel de pilotage de la SDR, Secrétariat exécutif. Novembre 2003. 56 pages

SDR, 2006. Plan d'action de Stratégie de Développement Rural. Comité interministériel de pilotage de la SDR, Secrétariat exécutif. Novembre 2006. 159 pages

Sarr B. Traoré S. Salack S. 2007. Évaluation de l'incidence des changements climatiques sur les rendements des cultures céréalières en Afrique soudano-sahélienne. Centre Régional Agrhymet, CILSS, Niamey.

Teh, C., 2006. Introduction to mathematical modeling of crop growth: How the equations are derived and assembled into a computer model. Brownwalker Press, Boca Raton 244pp.

Thornley, J. H. M. et Johnson, R., 2000. Plant and crop modelling: a mathematical approach to plant and crop physiology. Clarendon Press; Oxford University Press Oxford: New York 669 pp.

ANNEXES

Annexe 1 : Impacts du changement climatique et conséquences pour les systèmes alimentaires¹²

Impacts du changement climatique	Conséquences directes pour les systèmes alimentaires
Augmentation de la fréquence et de la gravité des événements météorologiques extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises récoltes ou baisse du rendement • Perte de bétail • Zones de pêche et forêts endommagées • Destruction des intrants agricoles tels que semences et outils • Excès ou manque d'eau • Augmentation de la dégradation des terres et de la désertification • Perturbation des chaînes de production alimentaire • Augmentation des coûts d'accès au marché et de distribution des aliments
Hausse des températures	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'évapotranspiration, provoquant une diminution de l'humidité des sols • Destruction plus importante des cultures et des arbres par des nuisibles • Risques plus importants pour la santé humaine (maladies et stress thermique), qui réduisent la productivité et la disponibilité du travail agricole • Menaces plus importantes pour la santé du bétail • Quantité et fiabilité réduites des rendements agricoles • Besoin plus important de refroidissement/réfrigération pour maintenir la qualité et la sécurité alimentaire • Risque plus important d'incendies de forêts
Modification des saisons agricoles et précipitations irrégulières	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de la quantité et de la qualité des rendements agricoles et des produits forestiers • Excès ou manque d'eau • Besoin plus important d'irrigation
Augmentation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> • Zones de pêche endommagées • Perte directe de terres cultivables en raison des inondations et de la salinisation des sols • Salinisation des sources d'eau

Annexe 2 : Conséquences indirectes des impacts des changements climatiques sur les différentes dimensions de la sécurité alimentaire

Dimensions de la sécurité alimentaire	Conséquences indirectes des impacts du changement climatique
Disponibilité de quantités suffisantes de nourriture	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de la production agricole locale et mondiale • Disponibilité réduite des produits de la pêche et de la forêt • Pression plus importante sur les réserves de nourriture • Baisse des exportations et hausse des importations
Accès aux ressources nécessaires pour obtenir de la nourriture	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des prix de la nourriture • Pertes de revenus dues à une production agricole endommagée ou à l'interruption d'activités de subsistance • Besoin d'ajustement des pratiques agricoles et autres stratégies de subsistance pour gérer les incertitudes dues aux changements de conditions et de risques • Augmentation des migrations vers les villes et zones périurbaines
Utilisation des aliments, notamment en ce qui concerne la nutrition, la salubrité et la qualité des aliments	<ul style="list-style-type: none"> • Impacts sur la santé, notamment maladies d'origine alimentaire et malnutrition • Changements nutritionnels et de régime alimentaire en fonction des variations dans la disponibilité ou l'accès aux aliments préférés • Le recours à certains aliments peut être affecté par des maladies • Les personnes vivant avec le VIH/SIDA peuvent avoir des difficultés à maintenir leur thérapie anti-rétro-virale, et être plus vulnérables aux infections • Impacts sur la sécurité alimentaire provenant de la pollution de l'eau, des températures en hausse et/ou des dégâts causés aux aliments entreposés
Stabilité de la disponibilité et de l'accès aux aliments	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilité de l'approvisionnement en denrées alimentaires (affecte la disponibilité et le prix des aliments) • Insécurité des revenus provenant de l'agriculture et de la pêche • Déplacement de population et migration • Augmentation potentielle des conflits liés aux ressources • Besoins croissants en aide alimentaire