

AGL/MISC/27/2000

**GUIDE SUR
LA GESTION ET LA CONSERVATION DES
SOLS ET DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS
POUR LES CHAMPS-ÉCOLES DES
AGRICULTEURS**



AGL/MISC/27/2000

**GUIDE SUR
LA GESTION ET LA CONSERVATION DES
SOLS ET DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS
POUR LES CHAMPS-ÉCOLES DES
AGRICULTEURS**

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

Service de la gestion des terres et de la nutrition des plantes

Division de la mise en valeur des terres et des eaux

Rome, 2004

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Tous droits réservés. Les informations ci-après peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée. Ces informations ne peuvent toutefois pas être reproduites pour la revente ou d'autres fins commerciales sans l'autorisation écrite du détenteur des droits d'auteur. Les demandes d'autorisation devront être adressées au Chef du Service des publications, Division de l'information, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie ou, par courrier électronique, à copyright@fao.org

© FAO 2004

Préface

Les systèmes d'amélioration des sols ont été longtemps basés sur des aides financières destinées aux agriculteurs, pour que ceux-ci adoptent des mesures spécifiques de gestion et de conservation des sols, sans tenir compte de leurs contraintes et de leur environnement politique, biophysique et socio-économique. Cette approche n'a pas souvent réussi à restaurer les ressources naturelles ni à augmenter la productivité de manière durable. Les agriculteurs ont trop longtemps été considérés comme des récepteurs passifs des recommandations de la vulgarisation et de la recherche sur la gestion et la conservation des sols.

Depuis peu a démarré une *Approche Participative* de gestion et de conservation des sols à travers laquelle le choix et l'application des solutions de gestion sont décidés et exécutés par les groupes bénéficiaires eux-mêmes. Cette approche participative vise à améliorer et développer les techniques, les connaissances et les compétences des agriculteurs.

Il est évident que les agriculteurs ne participeront massivement à une formation sur les nouvelles techniques agricoles que si celles-ci se montrent plus productives à court terme et si elles peuvent répondre de manière satisfaisante à leurs investissements en temps, efforts et intrants. D'autre part, les agences gouvernementales ne soutiendront l'organisation d'une telle formation participative que si elles considèrent que les populations locales et l'économie nationale y trouveront leur compte à moindre coût par rapport aux autres méthodologies de vulgarisation. La méthodologie et les thèmes vulgarisés par l'approche de Champ-Ecole des Agriculteurs (CEA) doivent correspondre aux réalités de terrain et à l'environnement biophysique et socio-économique du pays.

Après plusieurs années d'essais et de tests sur la formation et l'information, l'approche Champ-Ecole des Agriculteurs pour la Protection Intégrée contre les Maladies et les Ravageurs (PIMR) des différentes variétés culturales, a été largement adoptée dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est. Sur la base de ces succès, la FAO a commencé en 1996 à étendre le concept de champ-école des agriculteurs à d'autres aspects de gestion agricole, particulièrement la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs des plantes et la conservation des eaux et des sols.

Grâce à l'appui des services de la FAO – le Service de la Gestion des exploitations et de l'économie de la production (AGSP), le Service de la Gestion des Terres et de la Nutrition des Plantes (AGLL) –, la méthodologie de Champ-Ecole des Agriculteurs sur la Gestion Intégrée des Sols et des Nutriments des plantes (GISN) a été initialement testée dans quatre pays du sud-est asiatique. Les résultats de ces tests ont permis à la FAO, par le biais de son Programme de Gestion Basée sur les Ressources Agricoles de l'Agriculteur, FARM (Farmer-centred Agricultural Resource Management Programme), de produire un manuel du vulgarisateur en Asie.

C'est dans ce cadre que le Service AGLL a été chargé de préparer ce document pour une large vulgarisation du matériel de référence et des exercices pratiques à l'intention des agriculteurs et des vulgarisateurs.

Ces directives et matériel de référence visent l'adoption et la mise en application du champ-école des agriculteurs pour de meilleures pratiques de Conservation et de Gestion Intégrée des Sols et des Nutriments des plantes (GISN), dans le but de préserver les ressources naturelles (principalement le sol et les nutriments) et d'améliorer la productivité du sol et les revenus agricoles des petits producteurs.

Ce document propose des directives de référence pour la conception et la mise en application de l'approche champ-école des agriculteurs. Il est destiné aux facilitateurs de cette formation, pour produire des programmes et des manuels spécifiques locaux ou nationaux sur la vulgarisation agricole, l'agronomie, la science du sol, la nutrition des plantes, la conservation des sols et d'autres domaines de gestion agricole. Il peut être adapté à l'environnement agro-écologique, aux systèmes agricoles/cultureaux, aux conditions socio-économiques et au niveau de formation des agriculteurs des régions concernées par les champs-écoles des agriculteurs.

Les directives présentées dans ce document sur la structure et les thèmes de formation, ont une applicabilité générale. Toutefois, leurs utilisateurs doivent les adapter aux réalités des bénéficiaires/destinataires.

Après cette adaptation aux conditions locales du milieu, leurs principaux utilisateurs devraient être:

- les vulgarisateurs agricoles, les spécialistes de la nutrition des plantes et de la gestion agricole, les porte-parole des agriculteurs et tous ceux qui participent à la mise en application de cette approche CEA;
- les individus ou les institutions qui sont intéressés par la mise sur pied des CEA pour la conservation et la gestion intégrée des sols et des nutriments des plantes ou par des suggestions ou des exercices de terrain, en vue de concevoir et démarrer un programme de formation;
- les formateurs ou les coordinateurs qui permettront aux vulgarisateurs agricoles de se familiariser avec l'utilisation de ces directives au niveau du champ.

Dans ce document, le terme «Gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs des plantes» est considéré dans le sens général de «politique agricole» qui inclut le sol, l'eau, les nutriments, la gestion des cultures et des pâturages, dans le but d'en améliorer la productivité à long terme.

Des modules complémentaires de formation sur la «Conservation des eaux et des sols», les «Systèmes de labour» et sur l'«Irrigation/gestion de l'eau» sont en cours de finalisation par la Division de la mise en valeur des terres et des eaux (AGL), et seront largement vulgarisés sous forme de documents complémentaires. On espère que ces «Directives et matériel de référence» seront utiles aux projets en cours d'exécution et aux programmes de gestion de la fertilité des sols, tels que l'Initiative pour la Fertilité des Sols (IFS) et le Programme Spécial de Sécurité Alimentaire (PSSA), pour développer des manuels et des programmes spécifiques aux divers pays et y installer et mettre en route des champs-écoles des agriculteurs.

Remerciements

Ce document a été préparé par MM. R. Barber et G. Englisch (anciens fonctionnaires de la FAO/AGL), M. M.G. Douglas y a aussi contribué, qu'ils en soient remerciés.

Des remerciements également au personnel du Service de la Gestion des Terres et de la Nutrition des Plantes (M. H. Nabhan, Mme A. Bot et M. R.N. Roy) pour leurs commentaires, conseils et appui technique, ainsi qu'à MM. W. Burgos et G. Bizimungu qui ont assuré avec Mlle I. Verbeke, la réalisation de la version française de ce document.

Les suggestions de MM. R. Brinkman et J. Benites ont été fort appréciées.

Table des matières

LES CONCEPTS DE BASE POUR LA FORMATION À LA GESTION INTÉGRÉE DES SOLS ET DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS DES PLANTES PAR LES CHAMPS-ÉCOLES DES AGRICULTEURS	1
Le problème à résoudre	1
L'approche champ-école des agriculteurs	1
Caractéristiques de l'approche champ-école des agriculteurs	2
Quelques principes et concepts-clés de l'approche champ-école des agriculteurs	4
Les concepts et les principes de la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs	5
Les techniques nécessaires aux agriculteurs pour la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs	6
Promotion de la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs à travers les champs-écoles des agriculteurs	7
INSTALLATION ET GESTION D'UN CHAMP-ÉCOLE DES AGRICULTEURS	9
Quelques conditions préalables pour installer un CEA	9
Le démarrage	10
Les étapes préparatoires	10
Programmation et horaire de la formation	12
Les modules du champ-école des agriculteurs	14
Le choix du lieu des activités du champ-école des agriculteurs	15
Structure et déroulement des sessions du CEA	15
Cérémonies d'ouverture et de clôture	15
Les techniques complémentaires de gestion agricole	16
MODULE I: DIAGNOSTIC DE L'ENVIRONNEMENT AGRICOLE ET OBSERVATION DES PROBLÈMES AU CHAMP	17
Objectif	17
Observation directe	17
Excursions-visites sur le terrain (transect)	19
Les pratiques agricoles et la cartographie des ressources naturelles de la région	20
Etude des fonctions du sol relatives au paysage et au type du sol	21
Identification sur le terrain des problèmes de sol et des éléments nutritifs	22
MODULE II: DIAGNOSTIC DES PROBLÈMES, DE LEURS CAUSES ET DES SOLUTIONS POSSIBLES	25
Objectif	25
Identification des causes	25
Classification des problèmes par priorité	26
Identification des solutions	27
Evaluation et choix des pratiques culturales à tester	27
MODULE III: PRINCIPES ET TECHNIQUES DE LA GESTION INTÉGRÉE DES SOLS ET DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS	29
Objectif	29
Les thèmes potentiels	29
MODULE IV: PLANIFICATION, TESTS, SUIVI ET ÉVALUATION DES SOLUTIONS POSSIBLES	33
Objectif	33
Le nombre d'agriculteurs impliqués dans l'installation et le suivi des tests	33
Le nombre de solutions possibles à tester par agriculteur	33
Choix des sites	34
Plan et modèles des tests	34

Le suivi des tests	35
Évaluation des tests	37
MODULE V: ÉVALUATION DE LA FORMATION	39
Évaluation de l'impact de la formation à la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs sur les participants	39
Évaluation du CEA-GISN	40
BIBLIOGRAPHIE	41
ANNEXE 1: EXEMPLES D'EXERCICES ET D'ESSAIS À UTILISER DANS LES CHAMPS-ÉCOLES DES AGRICULTEURS SUR LA GESTION INTÉGRÉE DES SOLS ET DES NUTRIMENTS	43
ANNEXE 2: MATÉRIEL DE RÉFÉRENCE SUR LA GESTION INTÉGRÉE DES SOLS ET DES NUTRIMENTS DANS LE CADRE DES CHAMPS-ÉCOLES DES AGRICULTEURS	77
Les fonctions du sol relatives au paysage et au type de sol	77
Les nutriments, les flux de nutriments et les systèmes agricoles	79
Le cycle des nutriments, l'activité biologique et l'utilisation du sol	82
Identification au champ des problèmes de sols et de nutriments	84
Quelques principes généraux de gestion intégrée des sols et des nutriments (GISN)	92
Annexe 2, Appendice 1 Les nutriments exportés par les récoltes	111
Annexe 2, Appendice 2 Liste d'indicateurs des problèmes de sols et de nutriments	112
Annexe 2, Appendice 3 Symptômes foliaires de toxicité des nutriments	113
Annexe 2, Appendice 4 La procédure d'échantillonnage des sols	114
Annexe 2, Appendice 5 Liste des solutions possibles aux problèmes de sols et de nutriments	118
Annexe 2, Appendice 6 Teneur en nutriments des fumiers, des résidus cultureux et des déchets agricoles	123
Annexe 2, Appendice 7 Estimation de la fixation de l'azote par les légumineuses	124
Annexe 2, Appendice 8 Les conditions du sol nécessaires pour les cultures, les pâturages et les arbres	125
Annexe 2, Appendice 9 Périodes critiques des différentes cultures vis-à-vis du stress hydrique du sol	127
Annexe 2, Appendice 10 Exemple de pratiques agricoles recommandées pour la gestion et la conservation des sols: El Salvador, Amérique centrale	128
ANNEXE 3: MATÉRIEL DE RÉFÉRENCE SUR LA GESTION ET LA CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS POUR LES CHAMPS-ÉCOLES DES AGRICULTEURS	129
Annexe 3, Appendice 1 Guide pour l'évaluation qualitative de l'état, du type et de la sévérité de l'érosion du sol, à l'aide d'indicateurs visibles	141
Annexe 3, Appendice 2 Les sources d'informations sur les technologies de conservation de l'eau et du sol	147
ANNEXE 4: MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES PROBLÈMES AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION ET DE LA COMMUNAUTÉ	151
ANNEXE 5: FORMULAIRES D'ÉVALUATION	155
ANNEXE 6: LES SYMPTÔMES FOLIAIRES DE DÉFICIENCES EN NUTRIMENTS	159

Les concepts de base pour la formation à la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs des plantes par les champs-écoles des agriculteurs

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Les pays en développement se caractérisent actuellement par une explosion démographique importante, une intensification des cultures et une dégradation agricole excessives, une diminution des terres cultivables et des demandes croissantes en eau douce se faisant sur des ressources limitées par l'expansion des secteurs urbains et industriels, des difficultés de maintenir la production agricole par une meilleure gestion des sols, et tous ces facteurs sont très délicats à cause des problèmes de sécurité alimentaire et de la pauvreté. Le défi de la recherche et des services de vulgarisation dans ces pays est d'augmenter les bénéfices agricoles par l'amélioration et le maintien du potentiel productif des ressources naturelles disponibles (notamment le climat, le sol, la végétation et l'eau).

Peu nombreux sont les pays en développement qui disposent de ressources financières suffisantes pour promouvoir une bonne gestion des terres, à l'aide de services de vulgarisation gouvernementaux, en vue d'atteindre la sécurité alimentaire. C'est une réalité malgré les efforts considérables fournis par leurs services de recherche et de vulgarisation pendant des années. Spécialement au niveau des petits producteurs, cet insuccès peut être attribué, en partie, aux méthodes traditionnelles de vulgarisation qui n'ont pas toujours visé les problèmes prioritaires des agriculteurs ou qui ont donné des recommandations inappropriées ou sans bénéfices immédiats. La raison sous-jacente de ces échecs est que les agriculteurs n'étaient pas suffisamment, ou pas du tout, associés dans l'identification de leurs problèmes, ou dans le choix, le test et l'évaluation des solutions possibles.

Un autre facteur qui semble avoir limité le succès des méthodes traditionnelles de vulgarisation a été le fait de ne livrer passivement aux agriculteurs que des paquets d'informations sur leurs problèmes et les solutions possibles. Cette approche apprend aux agriculteurs les "recettes" technologiques, mais ne leur permet pas de comprendre les principes et les procédures et, par conséquent, de faire face à de nouvelles situations ou à différents problèmes. Le système agricole change constamment, les prix et les disponibilités des intrants agricoles changent, le coût et la disponibilité de la main d'oeuvre fluctuent, les opportunités de commerce changent, l'incidence des pestes et des maladies peuvent réduire la production de certaines cultures. Dans ce cas, les agriculteurs sont obligés de changer leur système cultural ou leurs pratiques de gestion quand les conditions économiques, techniques ou sociales changent. Fournir aux agriculteurs des techniques et des «recettes» qui sont uniquement valables pour des situations particulières maintient leur dépendance aux services de vulgarisation.

L'APPROCHE CHAMP-ÉCOLE DES AGRICULTEURS

Contrairement aux succès limités connus dans les années passées par les méthodes traditionnelles de vulgarisation, l'approche champ-école des agriculteurs (CEA), basée sur une formation

innovatrice et participative par une technique de découverte, a été un succès des années 1990. Cette approche CEA a été développée par un projet de la FAO en Asie du Sud-Est comme un moyen, pour les petits producteurs de riz, d'apprendre et d'analyser eux-mêmes les profits attendus et les techniques nécessaires pour adopter les pratiques de protection intégrée contre les maladies dans leurs champs de riz. La technique CEA a été, par la suite, adoptée par plusieurs pays d'Afrique et d'Amérique Latine. Au même moment, la protection intégrée contre les maladies et les ravageurs du riz a été élargie à d'autres cultures annuelles comme les légumes et le coton, et le programme a été enrichi par d'autres aspects de gestion agricole. Plus récemment, des champs-écoles des agriculteurs pour les principes et les pratiques de gestion intégrée du sol et des nutriments des plantes, ont été lancés en Asie¹. Dans cette région, l'approche CEA, dont l'objectif initial est la protection intégrée contre les maladies et les ravageurs, constitue une méthodologie améliorée de formation des agriculteurs par laquelle ils peuvent apprendre et analyser eux-mêmes les coûts et les profits des pratiques alternatives de gestion des sols pour améliorer la productivité agricole.

L'approche champ-école des agriculteurs offre une alternative à l'approche traditionnelle de vulgarisation par laquelle les agriculteurs sont des récepteurs passifs des messages externes de vulgarisation qui leur sont démontrés par les agents de vulgarisation. Cette approche expose les producteurs à un processus de formation par lequel ils apprennent de nouvelles technologies, de nouvelles idées, de nouvelles situations et de nouveaux moyens de résoudre leurs problèmes. La technique acquise lors du processus d'apprentissage permet aux agriculteurs d'adapter leurs technologies locales pour les rendre plus productives, plus profitables, qui répondent mieux aux changements des situations et aux nouvelles technologies. Actuellement, on est de plus en plus convaincu qu'une approche plus participative est nécessaire pour que les méthodes agricoles vulgarisées soient acceptables par la population, des points de vue technique, social, économique et environnemental.

CARACTÉRISTIQUES DE L'APPROCHE CHAMP-ÉCOLE DES AGRICULTEURS

Les caractéristiques de l'approche sont les suivantes² :

- **Les agriculteurs comme experts.** Les agriculteurs «apprennent en pratiquant», par exemple, ils exécutent eux-mêmes les différents travaux relatifs à la pratique agricole/de foresterie qu'ils veulent apprendre. Cette pratique peut être relative aux cultures annuelles, à l'élevage/production de fourrage, aux vergers et à la gestion forestière. L'important est que les agriculteurs dirigent eux-mêmes leurs propres études au champ. Leur exercice est basé sur des études comparatives (des différents traitements) et des études au champ non conduites par les chercheurs. En agissant ainsi, ils deviennent des experts sur les pratiques qu'ils sont en train de tester.
- **Le champ constitue le lieu de formation.** Toute la formation se fait dans le champ. Le riz paddy, les champs d'igname, de maïs, de banane, de café, de fruits, de bois et les pâturages

¹ *Farm-Centred Agricultural Resource Management Programme (FARM)*, programme coordonné par le bureau régional de la FAO, Bangkok, Thaïlande.

² *Indonesian National Integrated Pest Management Program, 1993. IPM Farmer Training: The Indonesian Case.* Secrétariat FAO-IPM, Djakarta, Indonésie.

constituent des lieux de formation des agriculteurs. En travaillant en petits sous-groupes, ils collectent et analysent des données au champ, arrêtent des décisions sur la base de cette analyse, et présentent leurs décisions aux autres agriculteurs avec qui ils les discutent dans des champs-écoles.

- **Les vulgarisateurs comme des facilitateurs et non comme des enseignants.** Le vulgarisateur est plus un facilitateur qu'un enseignant conventionnel. Une fois que les agriculteurs savent ce qu'ils doivent faire et ce qu'ils peuvent observer dans les champs, le vulgarisateur acquiert un rôle de second plan, offrant seulement une assistance sur requête. Les échanges lors des réunions de groupes constituent le travail des producteurs et non pas du vulgarisateur, avec les membres de chaque groupe assumant la responsabilité de présenter aux autres agriculteurs ce qu'ils ont découvert. Le vulgarisateur peut participer aux discussions, mais pas comme un leader, pour arriver à un consensus sur l'action à entreprendre.
- **Les experts/spécialistes du sujet travaillent avec les agriculteurs.** Le rôle des experts et des spécialistes est de fournir un appui technique aux participants à la formation CEA et ils apprennent, ainsi, à travailler en consultation avec les agriculteurs. Plutôt que donner des conférences aux agriculteurs, leur rôle est d'être des collègues et de proposer des solutions aux problèmes spécifiques, et qui peuvent servir comme source de nouvelles idées et/ou de nouvelles informations sur des technologies non encore connues localement.
- **Le programme est intégré.** Le programme doit intégrer l'agriculture, l'élevage, l'horticulture, la sylviculture, l'écologie, les aspects financiers, la sociologie et la formation parce que les problèmes rencontrés dans les exploitations intègrent tous les principes agricoles.
- **La formation dépend du cycle saisonnier.** La formation se conforme au cycle saisonnier de la pratique sur laquelle porte l'étude. Pour des cultures annuelles, cela peut aller de la préparation du sol à la récolte. Pour le fourrage, la production pourrait inclure la saison sèche pour évaluer la quantité et la qualité à une période donnée de l'année, lorsque la nourriture du bétail est en diminution. Pour la production des arbres et pour les mesures de conservation comme les haies et les bandes d'herbes, la formation des agriculteurs devrait s'étendre sur plusieurs années pour qu'ils puissent constater eux-mêmes le niveau des coûts et des profits.
- **Les réunions régulières des équipes.** Les agriculteurs se rencontrent à intervalles réguliers consensuels. Pour les cultures annuelles, ces rencontres pourraient avoir des fréquences hebdomadaires ou bihebdomadaires pendant la saison culturale. Pour la gestion d'autres cultures et des forêts, la fréquence des réunions dépendra des activités spécifiques à mener ou des périodes critiques de l'année quand il y a des problèmes à étudier et à discuter au champ.
- **Le matériel didactique est produit par les apprenants.** Les agriculteurs produisent leur propre matériel didactique, de la schématisation de ce qu'ils observent jusqu'aux essais agricoles dans les champs. Ce matériel est toujours adapté aux conditions locales, moins cher à développer, contrôlé et déterminé par les apprenants eux-mêmes, et adéquat aux discussions.
- **Dynamique des groupes / constitution de l'équipe.** La formation inclut la détermination des techniques de communication et de résolution des problèmes, des méthodes de discussion et de leadership. Les agriculteurs ont besoin de ces techniques. Le succès des activités au niveau de la communauté exige que les agriculteurs puissent appliquer des techniques effectives de leadership et qu'ils aient l'aptitude de communiquer leurs observations aux autres.

Les champs-écoles des agriculteurs sont organisés dans l'objectif de créer un environnement de formation qui permet aux agriculteurs de maîtriser et d'appliquer les techniques spécifiques de gestion des terres. L'accent est mis sur le fait de rendre les agriculteurs capables d'appliquer leurs propres décisions dans leurs champs.

QUELQUES PRINCIPES ET CONCEPTS-CLÉS DE L'APPROCHE CHAMP-ÉCOLE DES AGRICULTEURS

Quelques principes et concepts-clés de l'approche CEA sont présentés ci-dessous :

- **La communication.** Dans le cadre de la vulgarisation, la communication est un moyen de vendre l'information. Les messages diffusés visent un aspect particulier, font usage des graphiques, des média ou des affiches. Par la suite, ils peuvent être vulgarisés chez les agriculteurs au moyen des champs de démonstration dans les endroits où ils n'appliquent que les recommandations de la recherche et de la vulgarisation. Cette pratique ne forme pas l'agriculteur, mais le traite plutôt comme une cible qui doit mettre en exécution les décisions des autres.

La formation constitue l'étape la plus importante dans un système de vulgarisation et l'agriculteur doit être au centre de ce programme. Dans une approche formative, la communication doit se faire au champ en abordant les problèmes de terrain dans un cadre général de dialogue avec les apprenants. Le modèle de communication peut être exécuté dans un contexte de champ-école des agriculteurs. Le champ-école s'occupe non seulement de la pratique que les agriculteurs veulent apprendre, mais s'occupe aussi des agriculteurs eux-mêmes. L'objectif des champs-écoles est d'aider ces agriculteurs à maîtriser et à appliquer les techniques de gestion agricoles dans leurs exploitations respectives.

- **Le problème posé/Le problème résolu.** Dans ce système de formation, les problèmes sont considérés comme des défis à résoudre et non comme des contraintes. Les agriculteurs sont formés sur plusieurs méthodes d'analyse et cette formation doit leur permettre d'identifier et de résoudre eux-mêmes tous les problèmes agricoles qui apparaissent dans leurs exploitations.
- **La formation sur le terrain.** Si la formation est faite dans une salle de classe et si les agriculteurs ont été à l'école, ils se souviennent uniquement des mauvais moments qu'ils y ont connus. La formation dans une salle de classe peut seulement schématiser le monde naturel. Si on met la salle de classe au champ, le champ devient un matériel didactique et permet à l'agriculteur d'apprendre par des exemples agricoles réels. Faire la formation au champ exige que le vulgarisateur se fasse comprendre par l'agriculteur dans son exploitation.
- **Des principes et non des pochettes d'information.** Les programmes de formation ne devraient pas contenir des paquets de messages techniques hebdomadaires. Ils devraient suivre une approche intégrée de travail qui s'appuie sur le fait que les agriculteurs veulent apprendre pour optimiser leurs profits. L'approche Champ-École des Agriculteurs enseigne des principes qui vont dans ce sens. La formation basée sur les paquets de techniques ne profite pas aux agriculteurs et n'a pas d'effets bénéfiques sur l'amélioration de leur qualité de gestionnaire. Les agriculteurs expérimentés peuvent optimiser les rendements indépendamment des autres. Les approches par pochettes d'information augmentent la dépendance des agriculteurs vis-à-vis des planificateurs centraux.
- **Une formation guidée par la recherche.** La recherche doit répondre aux besoins du terrain. Les programmes de recherche agricole servent de guide aux programmes de formation

et de vulgarisation. Dans l'approche Champ-École des Agriculteurs, la recherche est basée sur les besoins de la formation ou fait partie de la formation elle-même. Grâce à leur participation dans les Champs-Écoles, les agriculteurs participent à un large programme local, régional et national d'étude des problèmes de production agricole et de développement des solutions locales pour améliorer la durabilité et la productivité des systèmes agricoles.

LES CONCEPTS ET LES PRINCIPES DE LA GESTION INTÉGRÉE DES SOLS ET DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Dans ces directives, le terme «Gestion Intégrée des Sols et des Éléments Nutritifs » (GISN) est interprété dans la plupart des cas comme « Agriculture ». Par conséquent, il inclut le sol, les nutriments, l'eau, les cultures, et les méthodes particulières de gestion de la végétation adaptées au système agricole particulier, dans le but d'améliorer et de maintenir la fertilité et la productivité des terres. La Gestion Intégrée des Sols et des Nutriments vise à optimiser les propriétés physiques, chimiques, biologiques et hydrologiques du sol, pour améliorer la productivité des champs et réduire la dégradation des terres. On est actuellement persuadé que la GISN peut, non seulement procurer des bénéfices réels en terme d'amélioration des rendements, mais conserve aussi les ressources en terres. Les pratiques de gestion des champs constituant la GISN, pourraient inclure l'usage du compost, des fertilisants naturels et minéraux, des amendements, des déchets et des résidus culturaux, d'agroforesterie, de labour, d'engrais verts, des plantes de couverture, des légumineuses, des cultures intercalaires, des rotations culturales, des jachères, d'irrigation, de drainage et d'autres mesures agronomiques, végétales et structurales qui peuvent conserver à la fois l'eau et le sol.

Les principes et les procédures fondamentales de bonne gestion des sols, des nutriments, de l'eau, des cultures et de la végétation, d'amélioration et de maintien de la fertilité des sols et de la productivité des terres, proviennent des fonctions essentielles du sol qui doivent assurer la croissance des plantes. Cette approche repose sur les points fondamentaux suivants:

- La perte de la productivité du sol est plus importante que la perte du sol lui-même, par conséquent, la dégradation du sol devrait être évitée, plutôt que de lutter contre elle après son apparition, par exemple, la GISN pourrait viser le maintien de la productivité potentielle du sol.
- La gestion des sols et des nutriments des plantes doit être considérée, non pas séparément, mais comme faisant partie intégrante du système agricole productif.
- L'humidité du sol et le régime des précipitations, dans les régions sèches, sont de facteurs limitants des rendements agricoles, en plus du problème des nutriments, la gestion intégrée des sols et des nutriments y exige alors l'adoption des pratiques améliorées de gestion de l'eau de pluie (labour de protection, les sillons, etc.) pour améliorer l'efficacité des pluies saisonnières.
- L'adoption des pratiques améliorées de gestion de la matière organique des sols, est bien indiquée pour restaurer et maintenir la productivité des sols (niveaux améliorés des nutriments du sol, rétention de l'eau du sol, la structure du sol et sa résistance à l'érosion).
- Les agriculteurs peuvent espérer de grands bénéfices agricoles en appliquant des engrais minéraux, comme apport supplémentaire de nutriments, pour améliorer les propriétés biologiques, physiques et hydrologiques des sols.

Au niveau du champ, la gestion intégrée des sols et des nutriments se fait par une approche synergique qui implique de:

- faire correspondre les exigences des fermes agricoles avec la qualité des terres de la région, par exemple, les propriétés biologiques et physico-chimiques du sol, les conditions climatiques et les caractéristiques topographiques doivent tenir compte des conditions biophysiques des méthodes agricoles suivies;
- chercher à améliorer les rendements agricoles par identification et élimination des facteurs limitants afin de réduire leur influence sur la productivité des sols;
- une meilleure gestion des plantes, spécialement: (i) installer les cultures améliorées au début des pluies pour accroître la couverture du sol afin de réduire l'érosion par éclaboussure et améliorer l'infiltration et l'activité biologique; et (ii) désherber de temps en temps pour réduire leur concurrence;
- associer les cultures complémentaires, le bétail et les pratiques agricoles pour maximiser les apports de matière organique et recycler les déchets végétaux, dans le but d'augmenter le niveau des matière organique (de préférence au moins à 50-75 pour cent par rapport à celui sous la végétation naturelle);
- les pratiques de gestion des terres qui maintiennent l'humidité du sol sont favorables aux méthodes agricoles proposées (par exemple collecte et conservation de l'humidité dans les régions de faibles précipitations, le drainage en zones de précipitations importantes, la collecte des eaux pour l'irrigation du riz paddy);
- réapprovisionner le sol en nutriments perdus par lessivage ou exportés avec les récoltes, par l'application des différentes sources possibles de nutriments des plantes (par exemple le fumier organique, les résidus culturaux, la fixation biologique de l'azote, le phosphore et d'autres nutriments provenant de l'infestation fongique des mycorrhizes racinaires, le transfert des nutriments des couches profondes à la surface du sol grâce au pompage des racines d'arbres et de la litière foliaire, le phosphate naturel, les fertilisants minéraux, etc);
- associer les cultures au bétail et aux pratiques culturales pour réduire l'impact des précipitations, améliorer l'infiltration et réduire la vitesse du ruissellement à la surface afin de maintenir les pertes en terres en dessous du seuil tolérable;
- le labour de conservation, les rotations culturales, l'agroforesterie et les jachères pour restaurer, maintenir et améliorer les propriétés physiques des sols par une bonne structure de la couche cultivable en ameublissant les couches profondes, afin de permettre le développement racinaire et l'infiltration des eaux de pluies (usage de la traction animale, les billons, les pâturages en jachères, l'arboriculture intercalaire à enracinement profond);
- récupérer, si possible (par exemple si techniquement faisable ou économiquement efficace), les terres agricoles inutilisables qui sont sous forme de rigoles ou de caniveaux, ou qui sont perdues par érosion laminaire, par compactage de sol, par acidification et/ou par salinisation.

LES TECHNIQUES NÉCESSAIRES AUX AGRICULTEURS POUR LA GESTION INTÉGRÉE DES SOLS ET DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

En participant aux Champ-Écoles, les agriculteurs espèrent acquérir toute une gamme de nouvelles techniques relatives à l'amélioration des sols, à la gestion de l'eau et des nutriments des plantes,

ou qui sont relatives aux cultures, à l'élevage, aux pratiques agricoles et sylvicoles. Cependant, les techniques dont ils ont besoin dépendront de leurs systèmes agricoles, de l'environnement physique et du niveau de production de ces derniers, et de leur accès aux services de conseils, de machines et d'intrants agricoles.

Ces techniques peuvent notamment comprendre:

- la production du compost;
- la gestion améliorée des résidus culturaux;
- le stockage du fumier;
- la préparation des ensilages;
- la délimitation des courbes de niveaux;
- l'installation des barrières d'herbes;
- les cultures intercalaires constituées de cultures de couverture;
- le semis de nouvelles légumineuses à graines comme cultures intercalaires ou de rotation ;
- les jachères améliorées (prairies temporaires, arboriculture faite de légumineuses à croissance rapide);
- la construction de digues sur la pente;
- la construction de trous d'infiltration;
- l'usage de la traction animale;
- le paillage;
- l'application de fertilisants;
- le chaulage/phosphate naturel;
- l'échantillonnage du sol;
- la gestion améliorée des pâturages;
- l'aménagement de coupe-vent;
- l'aménagement de haies vives.

Comme on rencontrera une grande variété de types de sol, pentes, climats, cultures et combinaisons de cultures, les compétences demandées aux agriculteurs varieront aussi. Ces directives ne peuvent toutefois pas les traiter toutes. Elles se concentrent donc sur quelques-unes dans le but d'illustrer les concepts fondamentaux et les procédures à la base d'un champ-école GISN.

PROMOTION DE LA GESTION INTÉGRÉE DES SOLS ET DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS À TRAVERS LES CHAMPS-ÉCOLES DES AGRICULTEURS

Le principal objectif de l'approche champ-école des agriculteurs est de permettre aux agriculteurs de faire face aux changements des situations agricoles. Les situations agricoles changent continuellement en fonction des changements des facteurs techniques, économiques, sociaux et environnementaux qui obligent les agriculteurs à modifier leurs pratiques de production et/ou de gestion. Il revient à l'agriculteur de profiter des avantages de ces nouvelles approches pour pouvoir résoudre convenablement les nouveaux problèmes qui apparaissent et qui limitent la productivité de son champ. Pour atteindre cet objectif, les agriculteurs doivent davantage expérimenter et innover, surtout dans les zones sans accès régulier aux services techniques de la vulgarisation. Le second objectif de l'approche CEA est de permettre aux agriculteurs d'améliorer leur technicité et leur capacité à améliorer les pratiques de gestion des sols et des nutriments.

Comme signalé précédemment, l'approche champ-école a permis aux agriculteurs d'apprendre avec succès les principes de Protection Intégrée contre les Maladies et les Ravageurs (PIMR) et de prendre des décisions rationnelles et appropriées sur cette pratique. La même approche peut donc être utilisée pour la gestion intégrée du sol et des nutriments. Une expérience pilote des champs-écoles sur cette approche, conduite par le programme FARM en Chine, aux Philippines, en Thaïlande et au Viet Nam, a été très encourageante.

Installer un CEA pour que les agriculteurs apprennent les principes et les pratiques de la gestion intégrée des sols et des nutriments doit faire partie d'une stratégie dynamique et à long terme visant à renforcer et augmenter la productivité agricole.

Le but d'un champ-école ne serait pas seulement d'inventorier la nature et l'ampleur des différents processus de dégradation et de diminution de la fertilité des terres, et de chercher les moyens de les combattre. Il doit viser aussi la récupération, la conservation et la gestion durable des terres et des ressources en eaux, l'amélioration de la productivité des terres et des conditions de vie des ménages et de toute la communauté.

Installation et gestion d'un champ-école des agriculteurs

QUELQUES CONDITIONS PRÉALABLES POUR INSTALLER UN CEA

La plupart des vulgarisateurs forment les agriculteurs suivant une technique traditionnelle «de haut en bas», ce qui est contraire à l'objectif de l'approche participative des CEA. Par conséquent, les attitudes et les techniques de la plupart des formateurs devront être radicalement modifiées pour que ceux-ci soient des facilitateurs plutôt que des instructeurs. Le rôle du facilitateur et de ses relations avec les agriculteurs diffèrent complètement de ceux de l'instructeur ou de formateur. L'instructeur transmet ses connaissances aux producteurs qui adoptent un rôle passif, celui de recevoir uniquement des informations. Au contraire, le facilitateur crée des conditions de formation en arrangeant des occasions permettant aux agriculteurs d'observer et d'interpréter les différentes conditions du sol et des rendements des cultures, de mener de simples tests et de simples exercices ainsi qu'à travers des discussions. Le facilitateur encourage les agriculteurs à adopter un rôle actif dans l'apprentissage des processus.

Les principales caractéristiques du rôle et de l'attitude du facilitateur sont:

- accepter que le facilitateur ne détient pas le monopole de sagesse et de connaissances;
- écouter les agriculteurs et respecter leurs connaissances, leurs perceptions et leurs expériences;
- donner aux agriculteurs la possibilité de partager leurs connaissances et leurs expériences;
- créer des conditions et des activités favorisant la formation des agriculteurs;
- répondre aux besoins des producteurs et être souple dans l'organisation de la formation;
- améliorer les techniques des agriculteurs, leur aptitude à résoudre les problèmes, leur capacité d'innovation et leur technicité. Vers la fin de la formation, le facilitateur assurera donc un rôle mineur.

L'appui politique, les stratégies appropriées et les financements pour organiser et implanter un CEA, la formation des facilitateurs et la production de manuels techniques spécifiques de gestion intégrée des sols et des nutriments, sont essentiels pour la réussite et la durabilité de l'approche du CEA. Un budget doit être approuvé avec des coûts détaillés pour les intrants, la formation et les matériaux didactiques, le rafraîchissement et le transport. En outre, les décideurs aux niveaux local et national devront être persuadés de l'importance de l'impact et des bénéfices de ces nouvelles approches. Il faut encourager la participation de l'administration locale, des ONGs et du secteur privé aux côtés des agriculteurs dans le développement et la promotion des technologies améliorées, plus productives, plus profitables, écologiquement efficaces et socialement acceptables.

La promotion de la gestion intégrée des sols et des nutriments par l'approche du CEA nécessitera une stratégie «de bas en haut» plutôt qu'une stratégie de «haut en bas», un programme flexible qui réponde aux besoins et aux intérêts des agriculteurs et qui insiste sur l'apprentissage des principes et des processus plutôt que sur celui de «recettes».

LE DÉMARRAGE

La façon dont le programme de CEA est démarré dans une région dépend des conditions locales. L'initiative peut venir des agriculteurs eux-mêmes dans les cas où ils demandent une assistance pour résoudre un problème réel de diminution de la productivité du sol dans leur zone. Ce problème peut également avoir été identifié par la recherche et/ou les services de vulgarisation comme pouvant être résolu dans le cadre d'un champ-école des agriculteurs. Sans tenir compte de l'origine de l'initiative, l'essentiel est de grouper les agriculteurs par équipes, lors des exercices basés sur la découverte, pour leur faciliter la compréhension de la nature du problème et des moyens de le résoudre.

Les premières zones cibles (par exemple les districts, les régions ou les provinces) pourraient être déterminées par le gouvernement sur base des critères comme les indices de pauvreté, l'accès aux infrastructures et aux marchés, les problèmes de dégradation des sols, le potentiel agricole, etc. Le choix final des villages ou des communautés dans lesquels on doit démarrer les champs-écoles des agriculteurs dépendra de l'intérêt local et de l'importance des problèmes particuliers de productivité du sol à traiter. Toutefois, les deux critères ci-dessous devraient aider à déterminer le lieu de démarrage du programme de CEA:

- d'abord la communauté devrait être conscientisée sur les conséquences directes de la diminution de la ressource naturelle de base, et comprendre l'importance d'adopter les techniques de gestion intégrée de leur terres pour améliorer leur vie quotidienne;
- ensuite, au sein de la communauté, il pourrait y avoir suffisamment de possibilités pour améliorer les CEA (les potentiels pour développer un leadership local adéquat, absence de groupes opposés qui bloquent l'action et l'organisation, etc.).

LES ÉTAPES PRÉPARATOIRES

La condition nécessaire pour la réussite d'un CEA est que les agriculteurs expriment leur intérêt au thème de formation (gestion intégrée des sols et des nutriments), et qu'ils soient intéressés en participant activement à l'identification des problèmes de gestion des sols et en trouvant des solutions adéquates. Pour cette raison, il est important que les facilitateurs des CEA commencent le processus par une série de réunions préparatoires, formelles et informelles, avec les agriculteurs, l'administration locale et les ONGs. L'objectif de ces réunions serait de confirmer que lutter contre la diminution de la productivité des sols, par une gestion améliorée des sols, constitue leur priorité et qu'ils sont intéressés à suivre une formation sur le sujet pendant au moins une saison culturale.

Pendant cette phase préparatoire, et en partie lors des réunions participatives, les problèmes suivants devraient être traités pour faciliter l'avancement du programme CEA :

- **Rassembler l'information secondaire** – sur les contraintes de gestion des sols exprimées par les agriculteurs et relatives à la production agricole. Une telle information est obtenue grâce aux rapports de l'évaluation des études socio-économiques/anthropologiques, des études de diagnostic et de référence, etc, en milieu rural. L'analyse porterait sur les caractéristiques des systèmes agricoles existants, les pratiques et les technologies agricoles appliquées au niveau local, spécialement sur les contraintes agricoles relevées par les producteurs eux-mêmes. Ces informations seraient ensuite discutées avec les agriculteurs, ce qui permettrait au facilitateur de détecter ce qu'ils pensent des problèmes de gestion des sols et d'identifier leurs intérêts particuliers dans ce domaine.

- **Rassembler les données disponibles sur les types de sol et leur fertilité** – pour avoir une vue générale des sols, des contraintes et des potentialités de la gestion des sols. Ceci implique la collecte et l'analyse de l'information secondaire (par exemple les cartes topographiques, les cartes pédologiques et les rapports y relatifs, la fertilité des sols et les études de l'aptitude des terres), disponible localement. Cette information pourrait servir à déterminer le contenu des programmes de CEA et à préparer de simples matériaux didactiques que l'on pourrait distribuer aux agriculteurs lors des sessions de formation.
- **S'informer sur les pratiques existantes de gestion des sols** – telles qu'elles sont appliquées par les agriculteurs ou qu'elles ont été recommandées par les services de recherche ou de vulgarisation. Dans les zones où les pratiques recommandées ne sont pas adoptées, l'étude chercherait à en comprendre les raisons, afin de déterminer si elles peuvent l'être dans le cadre des CEA ou si d'autres alternatives sont à identifier. L'étude porterait également sur les coûts et les profits agricoles de ces nouvelles techniques.
- **Identification des agriculteurs ayant les mêmes intérêts et/ou les mêmes problèmes** – afin de constituer des groupes d'agriculteurs dont les problèmes peuvent être résolus par les thèmes de formation lors des CEA. Chaque groupe ne devrait pas dépasser 25 agriculteurs du même village, sans distinction de sexe, bien que dans certaines sociétés, des contraintes culturelles et/ou religieuses obligent à séparer les hommes des femmes. Les horaires des différentes sessions de formation peuvent être délicats du fait que la disponibilité des femmes peut être réduite par les différents travaux familiaux à leur charge.
- **La présentation des objectifs, à travers des principes et des procédures de l'approche CEA** - par les facilitateurs de la formation à travers des réunions formelles ou lors des discussions informelles avec les agriculteurs qui veulent suivre la formation. L'approche CEA sera nouvelle pour la plupart des agriculteurs qui auront du mal à s'adapter facilement à cette méthodologie de formation. Pour la réussite, il est important que le facilitateur informe, dès le début, les agriculteurs sur ce qu'ils peuvent attendre de la formation et sur ce qu'on attend d'eux, à savoir:
 - apprendre
 - échanger
 - identifier
 - tester
 - évaluer
 - expliquer et discuter de leurs observations.
- **Parvenir à un consensus sur la saison de formation** – parce qu'une participation active est attendue de tous les participants pendant au moins une saison agricole. Par conséquent, il est important de s'assurer, dès le début, que tous les participants sont engagés à tout le programme après qu'ils aient été informés sur ce qu'on attend d'eux.
- **Le choix du système cultural** – pour l'intérêt commun qui fera l'objet spécifique des sessions de formation. Pour des raisons pratiques, la formation ne peut pas aborder les problèmes agricoles de tous les participants. Par conséquent, le programme doit se limiter à l'identification et à l'étude des différentes options de gestion des sols, des nutriments et de l'eau pour une culture ou un mélange de culture. Ainsi, dans la zone où la gestion des sols et des nutriments constitue effectivement le principal problème de production, on peut prendre une décision qui correspond aux besoins réels de tous les agriculteurs de la région.
- **Consensus sur la durée et la fréquence des réunions de formation** – au moment de la programmation de la formation, il est important d'impliquer les participants pour prévoir le

temps, la durée et la fréquence des réunions. Il est rare que les agriculteurs acceptent de passer toute une journée en dehors de leurs exploitations et de leurs familles, d'où l'importance d'avoir leur accord sur la durée de chaque réunion. Pour la plupart des participants, cette durée pourrait être une demi-journée (3-4 heures). En plus de cette durée, les moments de la journée doivent être fixés de façon à garantir la participation régulière des femmes à cause de leur disponibilité réduite par rapport aux hommes.

- **Consensus sur le lieu de formation** – en recueillant les avis de tous les participants pour trouver un endroit adéquat et acceptable où tout le monde pourrait se rencontrer pour faire ensemble les exercices basés sur la découverte.
- **Consensus sur la durée de la formation** – pour fixer les dates de début et de clôture de la formation. Celle-ci, qui dure normalement toute une saison culturale pour le cas de la gestion intégrée des maladies et des ravageurs, peut durer plus longtemps pour la gestion intégrée des sols et des nutriments. Cela est dû au fait que certaines pratiques spécifiques doivent être testées pendant plusieurs saisons afin de suivre la variation des niveaux de production (en particulier là où la variabilité du climat est une contrainte majeure) ou la variation des profits agricoles là où elle apparaît après plusieurs saisons culturales (par exemple les jachères améliorées, restauration des matières organiques, etc.).
- **Reconnaissance préliminaire du terrain** – avant de commencer la formation, pour familiariser les facilitateurs avec les caractéristiques biophysiques du village (par exemple les types de sol, la topographie, la végétation, les ressources en eau, etc.) et les méthodes d'utilisation et de gestion des terres dans les différentes exploitations de la région.

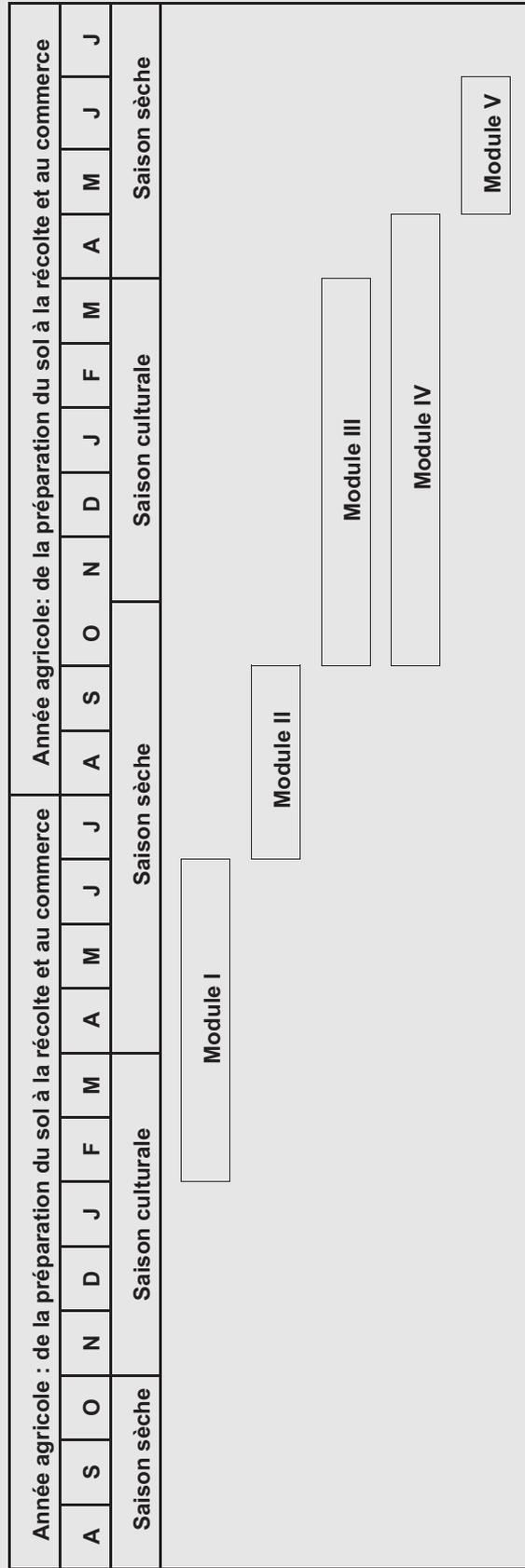
PROGRAMMATION ET HORAIRE DE LA FORMATION

Le début de la formation à la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs dans le cadre du CEA doit toujours coïncider avec le début de la saison sèche. Par conséquent, les modules de formation sur le diagnostic de l'environnement agricole, les problèmes, les causes et les solutions possibles ainsi que la planification des essais dans les champs peuvent être complétés pendant la saison sèche lorsque les agriculteurs sont moins occupés. Le test des solutions possibles par les agriculteurs peut se poursuivre pendant la saison culturale suivante.

Cependant, pour des systèmes culturaux annuels en terres sèches, l'identification des problèmes de sol et de nutriments est mieux faite pendant la dernière partie de la saison culturale précédente quand les cultures sont encore au champ. C'est à cette période que les participants peuvent constater les problèmes des sols, par exemple: (i) le nanisme des plantes et la couleur anormale du feuillage, qui indiquent les déficiences/toxicité en nutriments; (ii) distorsion des racines de certaines plantes comme le tabac et le coton, qui indique la présence de couches compactées dans le sous-sol; (iii) la présence des herbes adventives comme *Striga* et *Imperata* qui indiquent une diminution de la fertilité; (iv) durcissement et fermeture de la surface du sol qui bloque l'infiltration de l'eau de pluie et l'émergence des plantules; et (v) une évidence de l'érosion laminaire et des rigoles qui peuvent être éliminées par le labour. Dans ce cas, il est plus intéressant de commencer le champ-école pour la gestion intégrée des sols et des nutriments pendant la saison agricole précédente, pour que les exercices de diagnostic des problèmes de gestion des sols puissent se faire au moment où les problèmes et leur impact sur les rendements sont observables. La formation à la gestion intégrée des sols et des nutriments pourrait alors continuer après la saison sèche, pendant la saison culturale prochaine et pendant le début de la saison sèche suivante (voir encadré 1).

ENCADRÉ 1 :

Exemple de programmation des modules de champ-école pour la GISN en fonction du calendrier agricole saisonnier dans une zone climatique semi-aride



Plan

- Module I - Diagnostic de l'environnement agricole et observations des problèmes au champ
- Module II - Diagnostic des problèmes, de leurs causes et des solutions possibles
- Module III - Principes et techniques de GISN
- Module IV - Planification, tests, suivi et évaluation des solutions possibles
- Module V - Evaluation de la formation

Il n'y a pas de règles générales pour programmer les réunions des champs-écoles des agriculteurs ou pour déterminer la durée de chacune d'elles. Cela dépendra, d'une part, de la disponibilité des agriculteurs et du facilitateur et du calendrier cultural saisonnier, du moment fixé pour exécuter les tâches spécifiques ou d'observer et de discuter des problèmes-clés sur le terrain, d'autre part. L'important est que les réunions se fassent suivant un programme concerté et régulier pour permettre à tous les participants de connaître le lieu et l'heure de chacune d'elles. La fréquence de telles rencontres doit être de 2-3 semaines pendant la saison culturale, et elle peut changer pendant la saison sèche. Par exemple, une série de rencontres peuvent être rapprochées les unes des autres (par exemple tous les jours) pendant les périodes agricoles creuses, suivies d'une plus longue période sans réunion. Les réunions typiques durent une demi-journée (3-4 heures) et sont programmées pour la matinée ou l'après-midi selon la convenance des participants.

LES MODULES DU CHAMP-ÉCOLE DES AGRICULTEURS

Comme indiqué dans l'encadré 1, le programme d'un Champ-École pour la Gestion Intégrée des Sols et des Nutriments peut être subdivisé en séries de modules:

- **Module I.** Il permet aux agriculteurs de diagnostiquer leur environnement agricole et d'identifier, surtout par les observations sur le terrain, les problèmes de gestion des terres. Il est conseillé de commencer ce module pendant la saison culturale précédente quand beaucoup de problèmes de gestion des sols sont observables dans le champ et le continuer pendant la saison sèche.
- **Module II.** Il vise à diagnostiquer les causes des problèmes et les moyens de les résoudre. Ceci devrait se faire juste après le module I et être complété bien avant le début du labour pour la saison culturale suivante.
- **Module III.** Il vise plus spécialement la découverte des principes et la formation sur les techniques de la gestion intégrée des sols et des nutriments. Cela peut commencer à la fin du module II et avant le début de la saison culturale suivante pour pouvoir faire quelques exercices pendant la saison sèche.
- **Module IV.** Son objectif est de permettre aux agriculteurs d'apprendre, par des expériences pratiques, à planifier et à appliquer au champ les tests des solutions possibles, et à suivre et évaluer leurs résultats. Ce module peut être fait parallèlement au module III et commencera avec la préparation des sols pour continuer pendant la période des récoltes.
- **Module V.** C'est un petit module de conclusion pendant lequel les participants et les facilitateurs du CEA évaluent: (i) le succès de la formation en se basant sur la différence des niveaux de connaissances entre le début et la fin de la formation; (ii) le contenu technique de chaque module tenant compte de ses effets sur les problèmes locaux de production agricole; et (iii) la façon dont les problèmes particuliers ont été traités (par exemple la méthodologie de formation) pendant les réunions de formation.

Il faut remarquer que l'application et l'évaluation des tests agricoles peuvent être faites par les agriculteurs dans leurs propres champs et au moment qui leur convient. Cependant, plusieurs sessions de CEA seraient nécessaires pour guider et assister les agriculteurs dans la planification, la mise en place, le suivi et l'évaluation de leurs tests (voir Module IV). Chaque session pourrait traiter spécialement les points suivants: (i) comment planifier et installer les tests au champ;

(ii) quels sont les indicateurs à considérer et comment les évaluer; (iii) comment et quoi mesurer pendant les récoltes; et (iv) comment évaluer, finalement, les résultats du test.

LE CHOIX DU LIEU DES ACTIVITÉS DU CHAMP-ÉCOLE DES AGRICULTEURS

L'un des principes-clés de l'approche CEA étant que la formation se fasse au champ, le lieu de formation sera choisi parmi les exploitations appartenant aux participants à la formation. Le champ sélectionné pour les exercices basés sur la découverte, les tests et les démonstrations devraient être facilement accessibles, avec une topographie, un type de sol et des systèmes agricoles qui sont représentatifs de la région. Dans certains cas, un champ donné peut être désigné comme terrain expérimental de CEA, comme dans les champs-écoles de gestion intégrée des maladies et des ravageurs des plantes. Cependant, il y aura toujours plusieurs types de sols, de pentes, de systèmes agricoles, et quelquefois de zones climatiques dans une même région et il est peu probable que toutes ces situations se rencontrent dans un même champ. Par conséquent, plusieurs champs devront refléter les différentes situations agricoles de la région.

En plus de son emplacement, il est nécessaire que le champ-école se tienne dans un endroit protégé du soleil, où les observations peuvent être présentées et discutées entre les participants. Pour le distinguer de l'école classique de formation, le champ-école pourrait se tenir sous un arbre, dans une église, dans une salle communale ou dans un abri aménagé par les agriculteurs eux-mêmes. Dans cette place, les chaises doivent être disposées en cercle pour que les participants se sentent à égalité entre eux et avec le facilitateur. L'expérience a montré que l'usage d'un tableau, de papier et de marqueurs est nécessaire lors des séances de présentations et de discussions.

STRUCTURE ET DÉROULEMENT DES SESSIONS DU CEA

Chaque session commence par un résumé des conclusions de la session précédente, présenté par un des participants. Ensuite, le facilitateur introduit l'objet de la présente session et explique ce que les participants vont faire et les résultats qu'ils peuvent espérer. Cela crée effectivement un «contrat» entre le facilitateur et les participants.

Pour les discussions et les activités au champ, il est important de constituer des groupes de 3 à 5 participants pour obliger tout le monde d'être actif. Un rapporteur par groupe est désigné par roulement pour présenter les conclusions à toute l'assemblée. Les femmes devraient être séparées des hommes dans les groupes parce que leurs perceptions des problèmes sont fréquemment différentes et elles expriment mieux leurs opinions en l'absence des hommes.

Pour que les participants ne se sentent pas gênés et pour qu'ils soient sûrs d'eux-mêmes lorsqu'ils expriment leurs opinions et leurs expériences, on peut introduire des activités relatives aux problèmes de gestion intégrée des sols et des nutriments, sous forme de jeux, de chants et de mimes. Elles permettent aussi aux participants de se familiariser avec le travail en équipe.

CÉRÉMONIES D'OUVERTURE ET DE CLÔTURE

La présence des autorités et des dignitaires de la municipalité à l'ouverture et à la clôture du champ-école des agriculteurs est très importante parce qu'elle donne plus de crédibilité et

d'importance à la gestion intégrée des sols et des nutriments. Les participants qui terminent la formation avec succès pourraient recevoir un «Diplôme en gestion intégrée des sols et des nutriments» lors des cérémonies de clôture de la formation. Ceci permettra aux participants de voir l'importance que la communauté attache à leurs résultats en gestion intégrée des sols et des nutriments et ce sera probablement la première fois que leur qualité d'agriculteur est reconnue.

LES TECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES DE GESTION AGRICOLE

Du fait que l'agriculture ne peut réellement se développer que par une approche intégrée de gestion des sols et des nutriments, il est possible d'introduire, dans le programme du champ-école, d'autres thèmes relatifs à la gestion agricole. Le choix et l'ordre dans lequel ces thèmes sont présentés dépendront des intérêts, des besoins, des priorités et de la disponibilité en temps des agriculteurs. Les thèmes ci-dessous en sont des exemples:

- La gestion intégrée des maladies et des ravageurs.
- La gestion intégrée des cultures et des mauvaises herbes.
- La récupération des terres.
- La collecte des eaux.
- Le drainage et l'irrigation.
- La gestion des crédits.
- Les organisations d'agriculteurs.
- La production du bétail.
- Les sources alternatives de bois de chauffage et de fourrage.

Module I: diagnostic de l'environnement agricole et observation des problèmes au champ

OBJECTIF

L'objectif principal du premier module du champ-école des agriculteurs est de permettre aux participants d'arriver à un consensus sur la nature de l'environnement biophysique de leur système agricole, de partager leurs expériences et d'apprécier les pratiques agricoles utilisées, de relever ensemble les problèmes agricoles relatifs à la gestion de leurs sols et de faire une évaluation préliminaire de l'effet de ces problèmes sur leur production agricole. Les activités au champ devraient inclure l'observation directe, les excursions sur le terrain et la cartographie de la région.

OBSERVATION DIRECTE

A travers les différentes activités menées sur le terrain pendant la formation, l'observation directe sera une méthode fondamentale utilisée par les participants pour l'évaluation de leurs champs. Le rôle du facilitateur est de les encourager à faire des observations visuelles, à discuter sur ce qu'ils observent et à leur expliquer les propriétés non observables du sol qu'ils peuvent estimer grâce à des indicateurs visibles.

Lors de l'évaluation de l'environnement agricole de leur milieu, les participants observent les différentes formes des sols, les pentes, les ressources en eau, la végétation, les maladies et les ravageurs, le degré et l'étendue de la dégradation des sols. Certains facteurs ne sont pas directement observables, mais peuvent l'être en utilisant des indicateurs visuels comme les plantes-indicateurs, par exemple, la présence des plantes parasites *Striga* ou *Imperata* dans les champs cultivés est un signe de diminution de fertilité, tout comme la présence des *Cyperaceae* dans les prairies indique des engorgements réguliers d'eau.

Les points ci-dessous indiquent le degré des problèmes relatifs à la gestion des sols et des éléments nutritifs et les types d'indicateurs qui peuvent être observables par les agriculteurs pendant l'exercice d'évaluation dans le champ:

Problème de gestion des sols

Érosion hydrique du sol

Indicateurs observables

- Racines des plantes exposées.
- Piédestaux, rigoles, caniveaux, accumulation de sol.
- Profondeur réduite de la couche superficielle (visible sur les bords des caniveaux ou d'un trou creusé dans le sol).
- Changement de couleur et/ou de texture, indiquant l'exposition du sous-sol.

Érosion éolienne	<ul style="list-style-type: none"> - Signe d'érosion éolienne et exposition des racines de plantes. - Accumulations des dépôts aux bords des champs ou là où les passages des vents ont été obstrués. - Dans les cas extrêmes, présence de dunes mobiles. - Tempêtes de poussières.
Taux de nutriments-carence / Toxicité	<ul style="list-style-type: none"> - pH (usage du pHmètre de terrain). - Taux relatifs des nutriments (usage du matériel de pédologie). - Couleur des feuilles comme indicateur de carence en nutriments. - Croissance et vigueur des plantes.
Salinité / Alcalinité	<ul style="list-style-type: none"> - pH (usage d'un pHmètre de terrain). - Sels à la surface du sol.
Excès d'eau	<ul style="list-style-type: none"> - Présence des plantes indicatrices (par exemple Cyperaceae). - Nanisme et mort des cultures de zone aride. - Niveau élevé de la nappe d'eau. - Taches à la surface et en profondeur dans le sol
Compactage de la surface / Formation d'une croûte	<ul style="list-style-type: none"> - Epaisseur et solidité de la croûte. - Ruissellement excessif à la surface.
Compactage du sous-sol	<ul style="list-style-type: none"> - Déracinement et observation de la forme et de la distribution des racines des plantes indicatrices. - Nombre, taille et distribution des racines par horizon observable sur les bords d'un trou.
Niveau très bas de la nappe d'eau	<ul style="list-style-type: none"> - Tarissement des sources d'eau. - Forages plus profonds. - Mort des arbres.
Diminution de la qualité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> - Décoloration de l'eau par les sédiments. - Algues; - Mauvaise odeur.
Sédiments dans les réservoirs d'eau	<ul style="list-style-type: none"> - Décoloration de l'eau par les sédiments. - Dépôts visibles de sédiments au fur et à mesure que le niveau d'eau diminue.
Dégradation des pâturages	<ul style="list-style-type: none"> - Caniveaux sur les passages du bétail; - Faible couverture du sol (estimée en %). - Signes de piétinement des buissons. - Proportion relative de bonnes et de mauvaises espèces pour les pâturages. - Conditions de pâturage du bétail.

- Dégradation des forêts
- Arbres rabougris avec une régénération réduite.
 - Faible couverture de la surface du sol (estimée en %).

EXCURSIONS-VISITES SUR LE TERRAIN (TRANSECT)

Une visite sur le terrain est une discussion entre les participants au champ-école, habituellement en compagnie du facilitateur, en suivant un itinéraire qui leur permet d'observer les variations des principaux reliefs (par exemple collines, régions alluviales, terrasses), les sols, l'eau, les pratiques et les problèmes agricoles de leur région. Ces visites sont particulièrement utiles quand il y a des différences de sols et de pratiques culturelles sur de courtes distances.

Avant cette visite, le facilitateur consulte les participants pour fixer un itinéraire qui couvre le plus possible de types de sol, d'utilisations et de problèmes des sols. Lors des discussions sur le choix de cet itinéraire, les participants seront encouragés à préparer et utiliser une carte pour décrire les principales caractéristiques biophysiques et socio-économiques des sols de la région (voir section suivante). Après le consensus, cet itinéraire peut être tracé sur la carte. Ce tracé ne doit pas être une ligne droite et ne doit pas se limiter aux principales routes, sinon il donnerait une fausse impression de la région. Sur des terrains montagneux, le tracé devrait commencer au point le plus élevé, près de la limite de séparation de deux bassins hydrologiques et descendre suivant la ligne de drainage. Sur des terrains plats, la visite pourrait couvrir le plus possible de pratiques agricoles et de sols (sur base des connaissances du milieu par les agriculteurs) et une de ses étapes se ferait dans la direction perpendiculaire à la pente.

Pendant la visite, il devrait y avoir des arrêts réguliers chaque fois qu'il y a un changement du paysage et des méthodes agricoles. Cela permet aux participants d'observer les caractéristiques locales de l'environnement agricole et de discuter sur les raisons de ce changement d'un endroit à l'autre. Chaque participant devrait enregistrer, sous forme de diagramme, ses observations à chaque arrêt. Le facilitateur ne devrait pas noter lui-même de telles informations, à moins qu'il ne soit avec des agriculteurs illettrés, et dans ce cas, il ne noterait que les observations fournies par ceux-ci. Ensuite, il devrait préparer un simple schéma pour visualiser (en utilisant des symboles visuels) les observations faites sur le terrain afin de permettre aux participants de les vérifier et d'en discuter.

Les observations à enregistrer à chaque arrêt peuvent être relatives aux:

- **Sols:** en utilisant les critères des agriculteurs pour définir les différents types de sols, s'ils sont très simplifiés (par exemple juste une différence de couleur), le facilitateur améliorera les descriptions en donnant plus de détails sur la dureté, la profondeur, la fertilité ou les conditions de bonne gestion des sols.
- **Cultures/végétation:** en utilisant des termes et des critères locaux pour décrire les systèmes culturels, les types de pâturages, les plantations d'arbres et la végétation.
- **Animaux:** en enregistrant les différents types et le nombre approximatif d'animaux en stabulation ou en pâturage libre.
- **Disponibilités en eau:** en utilisant des signes évidents ou des connaissances du lieu pour noter les rivières, les ruisseaux, l'origine et l'incidence d'inondations.

- **Problèmes:** en utilisant des indicateurs observables et la connaissance du milieu pour noter les problèmes relatifs aux sols, aux nutriments, aux cultures et à l'eau, et spécialement s'il y a eu des changements pendant les dernières années tels que l'érosion, les besoins croissants en fertilisants et en fumier, la diminution des rendements agricoles ou la pollution.
- **Pratiques de gestion:** en décrivant les pratiques agricoles telles que le labour, les mesures de conservation, les jachères; les systèmes culturaux tels que les rotations, les brûlis ou le pâturage des résidus; les pratiques de gestion des nutriments des plantes telles que les fumures, les composts, la fertilisation; les pratiques de gestion de l'eau comme l'irrigation et le drainage. Cette description se basera si possible sur ce que les participants ont observé pendant l'excursion. La période de l'année peut cependant affecter ces observations et l'information recherchée peut ne pas être notée au moment propice; dans ce cas, la description se base sur les connaissances du milieu par les participants ou par d'autres agriculteurs rencontrés lors de l'excursion.
- **Possibilités:** noter les avis des agriculteurs et des participants sur les possibilités d'augmenter la productivité et de réduire la dégradation des terres dans des endroits spécifiques.

Pour l'excursion, il ne serait pas pratique de constituer un seul groupe de 20-25 participants. Les participants doivent déléguer 5 ou 6 agriculteurs, en incluant deux femmes, pour les représenter et accompagner le facilitateur, avec une possibilité d'y adjoindre d'autres agriculteurs rencontrés sur le terrain. L'alternative est de constituer 2-3 sous-groupes et faire en sorte qu'ils fassent l'excursion dans des régions différentes. S'il y a plusieurs facilitateurs, ces excursions peuvent se faire en même temps, sinon elles se font à tour de rôle. Le facilitateur doit s'assurer que les informations ne viennent pas uniquement des agriculteurs-hommes les plus aisés, il doit consulter aussi les plus pauvres, hommes ou femmes, parce que leurs connaissances et leurs perceptions peuvent être différentes. Quelle que soit la façon dont les excursions sont conduites, le facilitateur doit pouvoir réunir tout le groupe tout de suite après, pour discuter et revoir les observations de chacun des membres.

LES PRATIQUES AGRICOLES ET LA CARTOGRAPHIE DES RESSOURCES NATURELLES DE LA RÉGION

L'exercice consiste à demander à chacun des sous-groupes de schématiser les principales caractéristiques biophysiques et/ou socio-économiques de leur village et de ses environs. Ces modèles de cartes servent à identifier les objectifs, à caractériser les situations agricoles du milieu et à les visualiser pour pouvoir les décrire au facilitateur et aux autres agriculteurs. La préparation de telles cartes et de tels modèles pendant les premières sessions du CEA est un moyen très important pour parvenir à un consensus, entre les participants, sur la façon de percevoir les ressources biophysiques et la situation socio-économique de la région.

Il est possible de préparer différents types de cartes à utiliser lors des exercices de terrain basés sur la découverte pendant le champ-école. Sur une telle carte, on doit pouvoir localiser l'emplacement des exploitations des participants, les pâturages et les boisements de la commune, les bassins versants, etc. On peut demander à un participant de schématiser la cartographie des sols (selon la classification locale) ou des bassins hydrologiques (selon la connaissance du milieu). Les participants à la formation peuvent aussi utiliser ces schémas pour noter la sévérité de certains problèmes comme l'incidence des ravageurs, la qualité des sols et la sévérité de l'érosion. Ces schémas peuvent être d'abord élaborés sur la base des connaissances des participants sur le milieu et peuvent être améliorés par la suite sur le terrain.

Les modèles et les cartes servent également à comparer le passé et le présent de la situation agricole de la région. On peut demander aux participants de préparer une série de cartes et de modèles qui décrivent, par exemple, la situation de 30-50 ans auparavant, une autre qui montre la situation actuelle et une troisième qui montre la situation attendue dans 20 ans. De telles séries de cartes constituent la base d'une discussion animée et informative, entre les cartographes, les autres participants et le facilitateur, sur les raisons des changements subis et ce qui est possible de faire pour éviter de tels changements dans le futur.

Il est parfois nécessaire de préparer une carte hydrologique, par exemple en cas de problèmes graves de l'environnement (cas d'érosion par ruissellement à partir des pentes ou des routes, cas de pollution de l'eau, de déforestation ou de surpâturage) qui nécessitent des solutions d'aménagement telles que l'installation de structures physiques de protection des sols, des drains d'interception, des réservoirs, la reconstitution des routes, la reforestation ou la récupération des terres et de la végétation. Les cartes des bassins versants sont également nécessaires si l'eau de rivière doit être largement utilisée pour l'irrigation. Si le bassin versant s'étend au-delà des exploitations, une carte du bassin est nécessaire pour que le facilitateur puisse insister sur: (i) la façon dont les activités agricoles en amont du bassin peuvent être utiles à la formation gestionnaire des participants; et (ii) comment leurs propres activités agricoles peuvent avoir un impact sur les exploitations se trouvant en aval du bassin. La discussion qui en résulte peut faire apparaître l'utilité de la collaboration et de la résolution des conflits entre les communautés pour résoudre et/ou prévenir des problèmes particuliers.

ÉTUDE DES FONCTIONS DU SOL RELATIVES AU PAYSAGE ET AU TYPE DU SOL

Après les excursions et les observations faites dans les champs, le facilitateur demande aux participants d'estimer les besoins des plantes. Cette estimation peut se faire par simulation des besoins d'un être humain à ceux d'une plante, par exemple les deux ont besoin de manger (les plantes absorbent les éléments nutritifs), de boire (les plantes absorbent de l'eau), de respirer (les plantes absorbent de l'oxygène par les racines et les feuilles), de croître (les racines des plantes ont besoin d'un sol pas trop dur pour se développer), un environnement stable (les racines ont besoin d'un site protégé contre l'érosion, les inondations et les glissements de terrain), et un environnement sain (la santé du sol se maintient par les processus biologiques des macro et micro-organismes).

Pour cela, les sols doivent remplir différentes fonctions, dont les six suivantes sont considérées comme les plus importantes pour une bonne croissance des plantes:

- Un stock et une rétention adéquate d'eau.
- Un stock et une rétention adéquate de nutriments.
- Un stock suffisant d'oxygène (sauf pour le riz irrigué où l'oxygène passe par les feuilles et les tiges pour arriver au niveau des racines).
- Des conditions biologiques favorables dues au développement de la faune du sol (vers de terre, insectes, termites, etc.) qui crée la porosité nécessaire à l'enracinement et au drainage de l'eau excédentaire, et des micro-organismes du sol (bactéries et champignons) qui transforment les nutriments organiques en nutriment utilisables par les plantes.
- Absence de sols trop durs pouvant gêner le développement racinaire.
- Une stabilité du site qui fait que sa qualité et son utilité ne sont pas endommagées par l'érosion hydrique et éolienne, des glissements de terrain ou des inondations.

Le facilitateur, en accord avec les participants au champ-école des agriculteurs, choisira trois types de sols de caractéristiques différentes, en fonction des observations faites sur le terrain, des connaissances et des données analytiques des sols du milieu. Sur des terrains montagneux, ces sols seront prélevés au sommet, au milieu et en bas des pentes, alors que sur des terrains plats, les prélèvements se feront sur des sols légers, moyens ou lourds, ou encore sur des sols de différents degrés de drainage ou de différents types d'usages.

Il est conseillé de constituer trois sous-groupes de participants correspondant aux trois types de sols, et chaque groupe doit décrire, de sa façon et dans ses propres mots, les caractéristiques du type de sol qu'il a étudié. Ensuite, lors des visites des trois sites, un rapporteur par groupe présente à toute l'assistance les observations et les conclusions faites par son équipe. Le facilitateur encourage la poursuite de la discussion et doit s'assurer, à la fin de cet exercice, que les participants se sont familiarisés avec les principales caractéristiques physiques des différents types de sols, et qu'ils sont capables de les mettre en rapport avec les différentes fonctions du sol (rétention de l'eau, stock d'oxygène et de nutriments). De plus, ils doivent pouvoir identifier la fonction la plus limitante dans chaque localité et la mettre en relation avec la croissance des plantes.

IDENTIFICATION SUR LE TERRAIN DES PROBLÈMES DE SOL ET DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Lors de la présentation du thème sur les problèmes du sol et des nutriments, le vulgarisateur insiste sur le fait que le principal effet de ceux-ci se manifeste par la faible productivité agricole quand le sol ne répond pas aux besoins des plantes. Ceci peut être mis en rapport avec le sujet précédent qui traitait des fonctions essentielles du sol et des relations entre les problèmes de sol et de nutriments et le mauvais fonctionnement du sol.

Les problèmes spécifiques de sols et de nutriments reconnus comme étant la cause de la faible productivité du sol sont résumés ci-dessous:

- Insuffisance du stock et de la rétention d'eau.
- Insuffisance du stock et de la rétention des nutriments disponibles aux plantes.
- Insuffisance du stock d'oxygène.
- Faible activité biologique.
- Présence des toxines.
- Dureté excessive du sol qui limite la levée des plants, la croissance des racines ainsi que la facilité du labour.
- Instabilité du site.

Les problèmes des sols et des nutriments sont souvent identifiés au moyen de divers indicateurs des sols, du site et des cultures. Comme les conditions culturales sont souvent des indicateurs utiles des problèmes des sols et des nutriments, il faut organiser cette partie du champ-école pendant la saison culturale pour que les participants puissent observer directement ces indicateurs. Néanmoins, certains indicateurs comme le flétrissement, la faible levée des cultures, l'érosion et le durcissement de la surface, peuvent être visibles avant la visite et disparaître suite aux pratiques agricoles tel que le désherbage. Cependant, les participants peuvent demander à un agriculteur rencontré sur le terrain si de tels indicateurs étaient précédemment visibles, ou si les problèmes observés sont fréquents, ou s'ils apparaissent rarement, suite à un climat exceptionnel, aux ravageurs, aux maladies ou à d'inhabituelles pratiques de gestion.

Le facilitateur, en accord avec les participants à la formation, identifiera deux sites dans le même champ ou dans ses environs, mais aux performances agricoles différentes et qui reflètent les problèmes de sols et de nutriments et leur impact sur la productivité agricole. Le choix des sites représentatifs nécessite une connaissance préalable des problèmes des sols de la région identifiés au cours de la visite-excursion.

Une liste d'indicateurs à utiliser par les participants pour détecter les problèmes spécifiques de sols et de nutriments se trouve dans l'annexe 6.

Module II: diagnostic des problèmes, de leurs causes et des solutions possibles

OBJECTIF

Les principaux problèmes de gestion des sols ayant été identifiés au cours du module précédent, le but du deuxième module est d'en diagnostiquer les causes et les solutions possibles. En permettant aux participants d'identifier les problèmes et leurs solutions possibles, on les informe sur l'intérêt d'une gestion spécifique des sols ou des cultures. Cela peut servir dans le choix des thèmes spécifiques de formation pour le troisième module (principes et connaissances de la gestion intégrée des sols et des nutriments des plantes), et des essais à faire au cours du quatrième module. Tous les problèmes relevés ne peuvent pas être traités en une seule saison culturale (Module IV). Cependant, certains d'entre eux peuvent être traités comme des «thèmes spéciaux» pendant les sessions portant sur les principes et les connaissances de la gestion intégrée des sols et des nutriments des plantes (Module III).

IDENTIFICATION DES CAUSES

L'identification des causes d'un problème particulier de gestion des sols, dans le cadre du champ-école des agriculteurs, peut être faite par les discussions en groupes et sous-groupes. Le point de départ peut être la liste des problèmes identifiés. Le but de ces discussions est d'identifier les causes, leurs effets et les causes des causes. Il existe deux techniques pour schématiser les liens entre les causes et les effets: «le diagramme causal» et «l'arbre problèmes-causes» (voir annexe 4 pour les directives détaillées et des exemples). Le facilitateur devrait expliquer comment utiliser chacune de ces techniques et demander, ensuite, aux groupes ou sous-groupes de les utiliser pour identifier les différentes causes de l'un des principaux problèmes de sol et de nutriments des plantes dans le principal système agricole de la région.

Le facilitateur devrait expliquer au groupe que la plupart des problèmes identifiés peuvent être les causes ou les effets d'autres problèmes, et que chaque cause d'un problème peut être, en soi, un problème et un effet pour lequel d'autres causes peuvent être identifiées. Le groupe/sous-groupe peut revoir les causes et les effets sur le diagramme (schéma), en éliminant ceux qui se répètent ou qui sont inadéquats pour arriver à un consensus sur les causes du problème. La procédure est ensuite répétée pour le deuxième problème. Durant ce processus de schématisation, on se rendra compte qu'un problème résolu facilite la résolution automatique d'autres problèmes.

Diviser un groupe en sous-groupes s'occupant chacun d'un problème différent permet de traiter un plus grand nombre de questions à la fois. En outre, le fait qu'un sous-groupe présente son diagramme au groupe peut susciter plus de discussions et plus de réflexions sur les différentes causes des problèmes soulevés.

De nombreuses causes de faible productivité proviennent de l'environnement socio-économique, organisationnel, infrastructural, commercial et de financement dans lequel est placée l'exploitation. De tels problèmes pourraient être identifiés lors des excursions et par

l'analyse des sources secondaires de l'information. Les causes de ces problèmes peuvent être prises en considération lors de l'exercice de schématisation mais l'accent doit être mis sur les problèmes techniques, car on testera des solutions pour ceux-ci durant le champ-école.

S'il y a des incertitudes au sein des groupes ou sous-groupes sur les principales causes, on peut utiliser une procédure de classification, par laquelle chaque participant note (c'est-à-dire donne une valeur sur 20 points) chacune des causes selon l'importance qu'il lui accorde.

CLASSIFICATION DES PROBLÈMES PAR PRIORITÉ

Durant les exercices précédents, les participants auront identifié, analysé et discuté les méthodes et les problèmes relatifs à la gestion des sols et à la production agricole, et déterminé les causes de ces problèmes. Pour traiter ce que les participants considèrent comme leur principal problème de gestion des sols, et avant de décider ce qu'ils aimeraient apprendre pendant les modules suivants, les agriculteurs résumet et classent eux-mêmes les problèmes par priorité. Cette classification des problèmes selon leur importance, peut se faire comme un exercice de groupe par «vote individuel» ou par «classement par paire». Le vote permet de classer un grand nombre de problèmes à la fois, tandis que le classement par paire est mieux approprié en cas de 4 ou 5 problèmes.

Lors du vote individuel, le facilitateur ou un des participants écrira sur un tableau ou sur une large feuille de papier la liste des problèmes relevés (par grandes catégories). Le groupe pourra, ensuite, revoir la liste et ajouter éventuellement d'autres problèmes supplémentaires. Après cela, une matrice peut être préparée sur le tableau (ou une large feuille de papier) avec la liste des problèmes à gauche de la matrice. On demandera ensuite à chaque participant de classer les problèmes en fonction de leur importance, en leur accordant un degré de priorité (1 pour le moins prioritaire, 2, 3, 4, 5, etc. pour les plus prioritaires). Les problèmes seront classés en fonction du total de leurs notes. A ce point, les participants pourraient revoir les résultats pour trouver un consensus sur la liste finale de priorité. Ils décideront ensuite avec le facilitateur si ces problèmes représentent les thèmes qu'ils aimeraient étudier durant le champ-école des agriculteurs. Cet exercice peut être fait avec les participants illettrés, en utilisant des symboles pour caractériser un problème particulier, en préparant la matrice sur le sol et en demandant à chacun d'eux de placer des pierres ou des herbes adventices en fonction de leur degré de priorité par rapport au problème.

Avec le classement par paire, le classement des problèmes par priorité est faisable dans un système structuré qui compare les problèmes entre eux. On peut suivre le même processus, que celui qui est utilisé pour le vote individuel, pour dresser une liste de problèmes par importance. Lors de la préparation de la matrice, les problèmes sont écrits de haut en bas à gauche de la matrice. Les préférences des groupes se dégagent lors de la comparaison des problèmes entre eux. Le premier problème à gauche de la matrice sera comparé à tous les autres qui sont en haut. Le consensus des participants sur le classement sera obtenu par simple levée des mains. Le même processus sera répété jusqu'à couvrir tous les problèmes. Encore une fois, une discussion sera engagée pour arriver à un consensus sur les problèmes prioritaires à traiter pendant la formation au CEA.

Les questions suivantes pourraient faciliter la discussion:

- A-t-on listé tous les problèmes identifiés lors des exercices précédents?
- Y a-t-il des problèmes qui ne sont pas listés?

- Y a-t-il des problèmes listés qui se ressemblent ou qui peuvent être traités de la même façon?
- Y a-t-il des problèmes spécifiques à une certaine zone ou à un groupe d'agriculteurs (par exemple pentes, sol spécifique, système agricole)?
- Quel est le problème qui semble le plus important?
- Quels sont les critères qui sont utilisés pour arriver à classer chaque problème?
- Y a-t-il un consensus sur la liste finale des problèmes classés selon leur priorité?

IDENTIFICATION DES SOLUTIONS

Après avoir identifié et classé les problèmes par priorité et avoir déterminé leurs causes, l'étape suivante est d'identifier les solutions possibles. Avec l'assistance technique du facilitateur et/ou du technicien spécialiste invité pour cette session, les participants identifient les solutions, s'il y en a, qui ont été déjà testées dans la région. Le formateur peut noter leurs techniques spéciales, afin de ne suggérer que celles qui sont nouvelles ou qui ne sont pas courantes dans la région et qui peuvent résoudre le problème particulier.¹ On pourra trouver d'autres solutions à travers les connaissances et les pratiques des agriculteurs de la région ou de régions avoisinantes. Durant cet exercice, toutes ces solutions sont listées et discutées, d'abord en petits groupes de 4-5 personnes, avec des conclusions et des suggestions qui seront présentées et discutées en session plénière. Après cette plénière, le facilitateur aide le groupe à relever les similitudes et les différences parmi les solutions proposées, et à regrouper les solutions selon les grandes catégories, en évitant les répétitions, pour ne rester qu'avec 3-4 solutions par problème. La discussion finale essaiera d'obtenir un consensus des participants sur une liste définitive des solutions.

ÉVALUATION ET CHOIX DES PRATIQUES CULTURALES À TESTER

Les agriculteurs adoptent des pratiques culturelles qui cadrent bien avec leurs systèmes agricoles et la situation de leurs ménages et ils sont, par conséquent, très influencés par les ressources disponibles. Ainsi, pour pouvoir choisir des solutions/pratiques appropriées à tester, les participants à la formation doivent estimer correctement si une pratique culturelle (solution) identifiée de gestion améliorée des sols est adéquate au problème rencontré dans leur système agricole. On pourrait, donc, leur demander de faire une simple estimation des ressources nécessaires (main d'œuvre, terres, matériaux agricoles, intrants externes, etc.) et de leur disponibilité au niveau des ménages et de la région. Cet exercice aidera les participants à identifier, parmi les solutions possibles, la pratique culturelle la plus prometteuse à expérimenter pendant la formation, et d'identifier ce qu'on doit changer au niveau de l'exploitation agricole pour que les ménages adoptent une pratique culturelle ou une technologie particulière.

L'exercice peut se faire en sous-groupes (de 4-5 agriculteurs) ou en session plénière. Les solutions/pratiques identifiées précédemment devraient être notées sur le tableau ou sur une large feuille de papier de façon à être visibles à tout le monde. On pourrait initier la discussion et les échanges en demandant aux participants d'énumérer les limitations et les difficultés qu'ils

¹ L'appendice 5 de l'annexe 2 peut être utilisé par le facilitateur CEA pour préparer une liste de solutions appropriées.

rencontrent le plus souvent au moment du test des méthodes proposées (main-d'œuvre, disponibilités du matériel agricole, l'argent pour acheter les intrants externes, l'accès aux terres, les risques, etc.). Chaque participant doit pouvoir exprimer ses points de vue, en particulier les femmes qui considèrent la main d'œuvre et l'argent d'une façon très différente à cause de leurs responsabilités spécifiques dans la vie familiale. Durant la session plénière, les résultats de la discussion précédente peuvent être utilisés pour réécrire la liste des solutions, en commençant par la plus prometteuse (la plus intéressante pour les participants). L'on doit s'assurer, pendant la formation, que les critères utilisés ne reflètent pas seulement les points de vue du facilitateur ou des agriculteurs les plus aisés. Si quelques solutions/pratiques (par exemple 2-3) peuvent être testées pendant une saison culturale, les participants choisissent celles qu'ils veulent tester dans leurs champs, ainsi que tout autre thème spécial à propos duquel ils voudraient avoir plus d'informations.

Les questions suivantes peuvent faciliter la discussion:

- Quel pourra être l'impact de la nouvelle pratique culturale sur la main-d'œuvre au niveau familial? (les avis des hommes et des femmes peuvent être différents)?
- Le matériel organique nécessaire est-il disponible (si l'usage d'une plus grande quantité de fertilisants organiques a été soulevé comme solution)?
- Quels changements faut-il faire pour produire plus de fertilisants organiques et quel sera son effet sur le système actuel?
- Quelle est la main d'œuvre nécessaire pour adopter une nouvelle pratique?
- Est-elle disponible?
- Quels sont les intrants agricoles externes nécessaires (si des fertilisants inorganiques et/ou des herbicides ont été soulevés comme solutions)?
- Sont-ils disponibles localement?
- Combien coûtent-ils et de combien doivent disposer les ménages pour les acheter; le rapport coût/bénéfice est-il favorable?

Pour des informations complémentaires, se référer au *Guide FAO/AGL sur le diagnostic participatif des contraintes et potentialités (DPCP) pour la gestion des Sols et des éléments nutritifs.*

Module III: principes et techniques de la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs

OBJECTIF

Alors que les deux modules précédents portent sur le diagnostic de l'environnement agricole, la détermination des problèmes et leurs causes et de l'identification des solutions possibles, le Module III s'occupe plus particulièrement de la découverte des principes et des techniques nécessaires pour une gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs. Bien que cette formation ait en partie lieu lors des tests des solutions possibles sur le terrain dans le module IV, ce module-ci permet aux participants de bien comprendre leurs sols et de se rendre compte que la façon de gérer les sols affecte le niveau de production. Ce module comprendra une série d'exercices de terrain basés sur la découverte, une série de sessions de schématisation participative, des discussions de groupe et des exercices d'illustration des différents processus de dégradation et de gestion intégrée du sol.

LES THÈMES POTENTIELS

Les thèmes spécifiques à étudier dans ce module devront être fixés par les participants en consultation avec le facilitateur pendant le module précédent. Certains, sinon la totalité des thèmes ci-dessous seront traités au cours de ce module:

- **Pourquoi le sol est-il important:** Le sol est la partie de la terre sur laquelle poussent les plantes qui font vivre les hommes en leur fournissant leurs besoins primordiaux, comme la nourriture (céréales, tubercules, graines, légumes, fruits, etc.), les habits (cultures fibreuses), le combustible (bois de chauffe), les abris (bois, perches, feuilles pour couvrir les toits), les médicaments, le fourrage pour l'élevage qui leur fournit une variété d'autres produits de valeur.
- **Quelles sont les caractéristiques d'un sol idéal:** La plupart des cultures ont besoin de sols qui soient: (i) profonds sans obstacles au développement des racines; (ii) bien drainés et bien aérés avec une aptitude à retenir une humidité suffisante pour une bonne croissance des cultures; (iii) un stock suffisant de nutriments essentiels pour leur croissance; (iv) neutre à faiblement acide; et (v) situés sur des sites à pente légère (1-5%).
- **Comment les sols sont-ils formés:** Les facteurs de formation des sols influencent les processus particuliers des sols (par exemple l'érosion et le lessivage) et leur action dans le temps produit tous les types de sols qu'on observe aujourd'hui. Le climat, le relief, l'hydrologie et les hommes influencent directement les processus de formation des sols. Le facteur «temps» détermine la durée d'action de ces facteurs. Le facteur «matériel parental» stocke les substances minérales qui développent le profil du sol, en plus de la contribution de la végétation et des organismes du sol à cause de leur teneur en matières organiques. Bien que cela semble théorique, la plupart de ces facteurs peuvent être illustrés et discutés avec les participants au CEA, lors des visites dans les sites montrant les différents types de sols

dont la formation a été influencée par les différents facteurs et processus (comme les vieilles terres, les dépôts colluviaux, les cendres volcaniques, les roches érodées, etc.). L'attention doit être portée sur le temps nécessaire à la formation d'un sol et sur la nécessité de s'assurer que celui-ci ne se perde pas par érosion plus vite qu'il ne se forme.

- **La compréhension des propriétés physiques du sol:** Le changement des propriétés physiques du sol après la culture peut réduire les rendements et augmenter les effets de l'érosion. Ces propriétés peuvent être généralement observées et évaluées sur le terrain et permettent, donc, de faire différents exercices basés sur la découverte. Les agriculteurs peuvent apprendre la technique permettant de reconnaître les différentes textures des sols. Des comparaisons peuvent être faites sur la base de la structure de deux échantillons de sol superficiel prélevés sur un même type de sol, l'un récolté dans un champ cultivé depuis plusieurs années et l'autre récolté dans une forêt ou dans un pâturage permanent, pour montrer comment le labour peut affecter la structure. L'état physique du sol de surface peut être déterminé en comparant des champs différents pour montrer l'effet des différentes formes de gestion et/ou de l'aptitude des différents types de sols, compte tenu de l'épaisseur et de la dureté de la croûte du sol et de ses effets sur l'infiltration des précipitations. Des trous creusés dans le sol peuvent aider à observer les conditions physiques du sous-sol, en particulier les différences entre les horizons du point de vue texture, consistance, taille et abondance des pores, facilité de pénétration des racines et présence des couches compactées ou d'autres horizons limitatifs.
- **La compréhension des propriétés biologiques du sol:** L'adoption de pratiques améliorées de gestion des matières organiques est un préalable nécessaire pour la restauration et le maintien de la productivité des sols (niveau amélioré des nutriments du sol, rétention de l'humidité du sol, structure du sol et résistance à l'érosion). Les exercices de formation basés sur la découverte pourraient porter sur les comparaisons de couleur, de structure et de l'activité de la faune (vers de terre, termites, etc.) entre un sol de forêt et un sol cultivé. Les participants peuvent observer l'écosystème du sol pour comparer la biodiversité d'un sol bien géré et d'un sol mal géré.
- **La compréhension des propriétés chimiques du sol:** La dégradation chimique sous forme d'acidification et de diminution des nutriments est un indicateur d'une mauvaise gestion des sols et constitue un problème commun à beaucoup de régions. Le facilitateur peut se servir des exercices de schématisation pour expliquer aux participants l'importance des nutriments des sols et de leur apport dans le système agricole. Il pourrait préparer un simple équipement de pédologie ou des pH-mètres, s'ils sont disponibles, pour permettre aux participants de comparer les niveaux des nutriments principaux et secondaires et de la réaction du sol (pH) dans les différents échantillons de sols prélevés dans des lieux différents et/ou qui ont été différemment gérés dans le passé. Il peut également faire une liaison entre les sessions et les excursions / exercices d'observation directe, faits dans le cadre du Module I qui traitaient des indicateurs foliaires des carences et des toxicités en nutriments, et des problèmes évidents de salinité (plantes indicatrices, dépôts de sel en surface, etc.).
- **La compréhension des propriétés hydrologiques du sol:** L'humidité d'un sol constitue un facteur très important dans l'étude de ses potentialités agricoles. Une série d'exercices basés sur la découverte au champ sera utile pour analyser les différences entre les sols et les pratiques de gestion en tenant compte des propriétés hydrologiques telles que le drainage, la capacité au champ, le point de flétrissement, la capacité en eau et en infiltration.

- **La compréhension des processus d'érosion:** L'érosion hydrique peut avoir différentes formes (par exemple érosion par éclaboussure, érosion laminaire, érosion par rigoles et par caniveaux), l'érosion éolienne peut être un problème dans quelques régions, et les deux peuvent avoir des effets graves dans et hors des sites. Des facteurs différents déterminent le risque et la sévérité de l'érosion, notamment les précipitations, les pentes, les types de sols, la couverture du sol, les pratiques de gestion des terres, la vitesse du vent. Les exercices basés sur la découverte sur le terrain peuvent estimer le type, la nature et la sévérité des effets les plus fréquents de l'érosion dans les exploitations et plusieurs processus d'érosion peuvent être illustrés en utilisant des boîtes de sol et des arrosoirs.
- **La production et l'usage des fertilisants organiques:** Différents fertilisants organiques peuvent être utilisés pour alimenter les plantes en nutriments et améliorer l'état du sol. De plus, les déséquilibres en oligo-éléments peuvent apparaître là où les agriculteurs n'utilisent que les fertilisants minéraux comme source de nutriments principaux et de nutriments secondaires. Les fertilisants organiques peuvent être obtenus par recyclage des restes culturels, comme les résidus végétaux, le fumier et les restes ménagers. On peut planter les engrais verts dans les champs pour fournir des nutriments et des matières organiques à incorporer dans le sol (par exemple les légumineuses herbacées plantées en rotation, des systèmes d'agroforesterie dans les zones où les feuilles et les troncs d'arbres fixateurs d'azote sont utilisés pour fertiliser les plantes adjacentes). Certains agriculteurs peuvent avoir accès à des sources extérieures (fumier de poulailler, de poissonnerie, restes des sucreries, déchets urbains, etc.). Les participants au CEA peuvent estimer les coûts et les bénéfices des différents fertilisants organiques tels que le compostage, l'usage des engrais verts, le stockage amélioré des restes culturels, l'incorporation des débris végétaux.
- **Les fertilisants minéraux:** Les agriculteurs disposent de divers types de fertilisants minéraux chez eux, bien qu'ils n'en connaissent pas la spécificité par rapport aux conditions du milieu. Ils peuvent apprendre les différences entre les engrais composés et les engrais simples et comment comparer les coûts des fertilisants sur la base de leur teneur en nutriments, par exemple un sac d'urée coûte plus qu'un sac de sulfate d'ammonium, mais il est moins cher par unité d'azote fournie. Les participants peuvent aussi tester (peut-être comme une partie du module IV) les différents pourcentages et les moyens d'application des fertilisants minéraux, comparer les coûts et les bénéfices des fertilisants organiques et minéraux et de leur combinaison.
- **Les pratiques de labour:** La forme de labour utilisée pour la préparation du terrain aura un impact sur le potentiel productif du sol. Dans certaines régions d'Afrique, il est évident que la traction animale ainsi que l'aménagement et l'entretien des caniveaux avec la houe, compactent les couches supérieures du sous-sol et affectent, par conséquent, le développement des racines et le pompage de l'eau et des nutriments du sous-sol. Les participants au CEA pourraient étudier et comparer, par des essais ou des observations sur le terrain, les différences entre les pratiques culturelles et les différentes techniques de labour pour déterminer leur impact sur la germination, l'installation, la croissance et le rendement des cultures ainsi que sur les propriétés physiques du sol.
- **Les rotations culturales / cultures intercalaires:** Les participants au CEA peuvent utiliser des systèmes agricoles assez différents. Chaque système ou chaque rotation agricole présente ses avantages et ses inconvénients dont la plupart sont relatifs aux caractéristiques des sols et/ou à la disponibilité de l'eau dans la région. Une série d'exercices basés sur la découverte sur le terrain peuvent servir à constater les relations entre les différentes combinaisons et les différentes rotations culturales pour voir si elles sont compétitives ou complémentaires pour

les nutriments et l'humidité (par exemple augmenter le niveau d'azote dans un système cultural à base de céréales en y ajoutant une légumineuse). De la même manière, des relations entre les cultures, les types de sols et/ou la disponibilité de l'eau.

- **Les jachères améliorées:** Les jachères constituent une pratique traditionnelle très ancienne de restauration de la productivité des sols. Cependant, comme la population agricole a augmenté alors que la disponibilité des terres cultivables est réduite, cette pratique traditionnelle (laisser les terres reposer en ne leur faisant pas porter de récolte) tend à disparaître chez les agriculteurs. S'il y a assez de terres disponibles pour que la mise en jachère soit une option technique potentielle, les participants peuvent analyser d'autres systèmes améliorés de mise en jachère qui permettront: (i) de réduire la période de mise en jachère (par exemple semer des légumineuses pour le pâturage ou planter des légumineuses de cycle végétatif court (2–3 ans) ou des légumineuses arbustives pérennes à la fin de la période culturale); ou (ii) de fournir un intérêt économique important (en incluant par exemple un pâturage de 2–3 ans dans la rotation culturale et l'utiliser dans la production du bétail).

Module IV: planification, tests, suivi et évaluation des solutions possibles

OBJECTIF

En participant au module IV de cette formation, les agriculteurs ont l'occasion d'apprendre, par des expériences pratiques, les techniques nécessaires pour planifier et tester les solutions possibles à leurs problèmes de gestion des sols, et d'apprendre comment suivre et évaluer les résultats de ces tests obtenus. De plus, à la fin du module, les participants devraient constater eux-mêmes les différentes pratiques de gestion des sols testées dans leurs conditions locales et évaluer le potentiel de chacune d'elles à résoudre les problèmes relatifs à la gestion spécifique des sols.

Normalement, le test des solutions possibles dans le cadre du champ-école nécessite la participation des agriculteurs pour qu'ils puissent suivre, dans leurs champs, une ou plusieurs solutions qu'ils auront identifiées et testées eux-mêmes. L'objectif de cette étude sur le terrain est de mesurer l'effet d'une solution donnée dans les conditions locales. Il arrive que des solutions spécifiques aux problèmes de gestion intégrée des sols et des nutriments d'une région soient copiées par une autre région voisine à cause de la présence des mêmes conditions biophysiques et socio-économiques dans les deux milieux. Le test de ces solutions aura une valeur réelle s'il est fait dans les conditions locales par les agriculteurs participant à la formation.

LE NOMBRE D'AGRICULTEURS IMPLIQUÉS DANS L'INSTALLATION ET LE SUIVI DES TESTS

Chaque solution possible à un problème particulier de sol ou d'éléments nutritifs devrait être testée par plusieurs agriculteurs pour que son efficacité soit étudiée dans plusieurs sites de la région sous différentes conditions de sol, de site et de gestion. La participation d'un nombre réduit d'agriculteurs (1 ou 2 agriculteurs) au test d'une solution spécifique peut conduire à des résultats non fiables pour des raisons de non représentativité des sites, ces sites étant sujets à maladies ou ravageurs, ou particulièrement mal gérés. D'où l'importance d'y impliquer plusieurs agriculteurs regroupés, de préférence, en équipe (par exemple de 5-6 agriculteurs) qui devront présenter leurs résultats lors des réunions avec les autres membres du champ-école.

LE NOMBRE DE SOLUTIONS POSSIBLES À TESTER PAR AGRICULTEUR

Ce nombre sera fonction de l'intérêt, du temps et des ressources dont dispose l'exploitant. La résolution de certains problèmes devra combiner plusieurs solutions possibles à cause de leur interdépendance, par exemple laisser les résidus culturaux à la surface, application des herbicides avant le semis, le non labour ou le semis direct. En général, un agriculteur ne devrait pas tester plus de trois solutions à la fois, ce qui limite le nombre total de solutions à tester par saison culturale, et devrait encourager à prolonger le CEA pendant plusieurs saisons.

CHOIX DES SITES

Le facilitateur du CEA assiste les agriculteurs dans le choix des sites dont le type de sol et les méthodes de gestion agricole représentent les conditions générales de la zone. De même, à l'intérieur d'un même champ, le site sélectionné pour le test/démonstration devra être représentatif. Les observations faites sur le terrain, associées à la connaissance du lieu par les agriculteurs, pourraient servir à: (i) éviter les zones caillouteuses, mal drainées ou avec de mauvaises herbes, qui donnent de mauvais rendements agricoles; (ii) éviter les champs compactés par le bétail, les machines ou les véhicules; et (iii) éviter des zones atypiques ayant des rendements agricoles plus importants que la moyenne du champ.

Cependant, s'il y a des doutes, on peut prélever un ou plusieurs échantillons de sols (une profondeur de 50 cm est suffisante) pour vérifier si ce sol est représentatif du reste du champ. Dans des zones avec des glissements de terrain, le site expérimental doit être éloigné de ces dangers et doit être clôturé s'il risque d'être abîmé par le bétail.

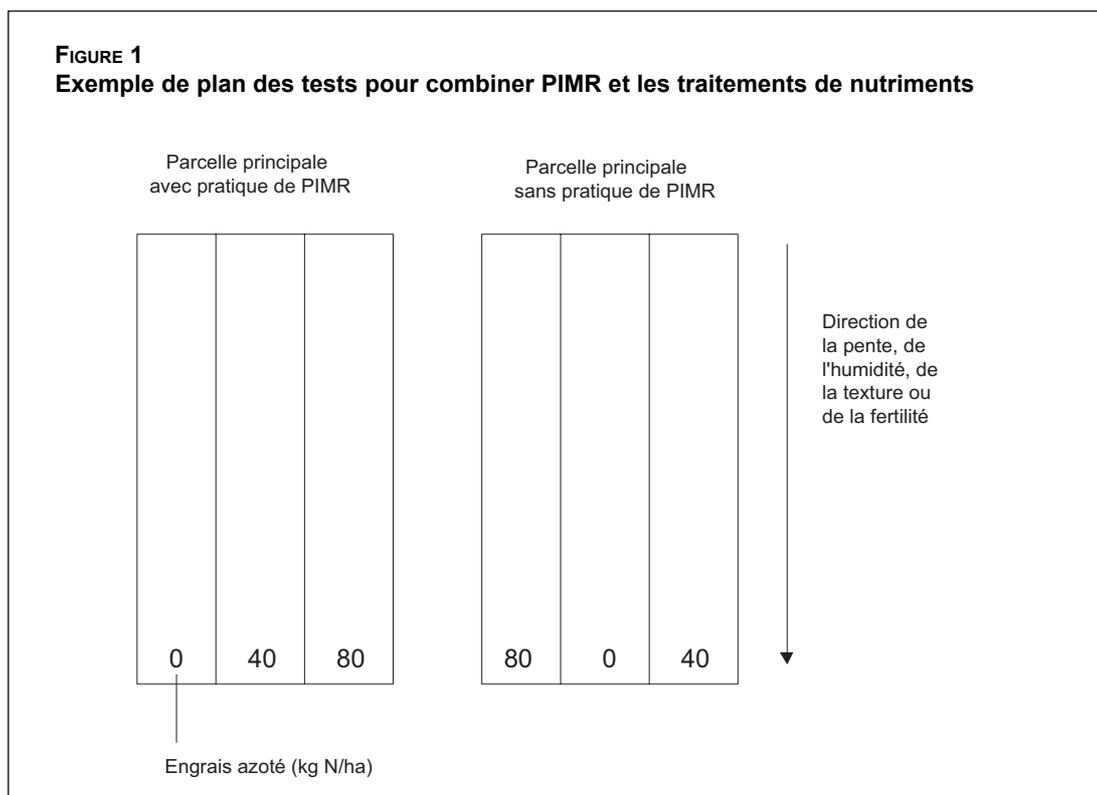
PLAN ET MODÈLES DES TESTS

La taille des parcelles varie avec la nature de la «solution possible» à tester. En général, les solutions aux problèmes d'eau et d'érosion éolienne, de contrôle des ruissellements, de collecte des eaux et les pratiques de drainage ou d'interception de l'eau, nécessitent de larges zones expérimentales. Le test des pratiques de contrôle de l'érosion hydrique, comme les barrières végétatives, les digues le long de la pente ou les résidus étalés à la surface du sol, nécessitent des parcelles d'au moins 20 m de large (perpendiculairement à la pente) et de même longueur que le champ. Ces dimensions permettront de constater l'influence de la longueur de la pente sur l'initiation du ruissellement.

Les «solutions possibles» pour lesquelles le temps, le carburant, le coût de la main-d'œuvre ou les stocks d'eau peuvent limiter l'acceptabilité de la pratique culturale, les parcelles d'essais doivent être suffisamment larges pour permettre d'améliorer la pratique au niveau du champ, ainsi, une évaluation peut être faite sur les conditions de temps, de la main d'œuvre, du carburant et de l'eau (FAO, 2000). En cas de labour mécanisé, les essais doivent se faire sur de larges parcelles pour que le tracteur puisse faire le travail optimal afin de mesurer ses effets sur le sol. Pour des essais de labour, la parcelle peut être de 50 m de long et d'au moins 20 m de large. Quand le temps et le carburant sont des problèmes importants pour un essai cultural, la parcelle doit être de même longueur que le champ et d'au moins 40 m de large pour pouvoir déterminer leurs effets. Pour tester d'autres solutions, les parcelles de 100-200 m² sont nécessaires pour les cultures annuelles et un minimum de 5 arbres par traitement pour les cultures pérennes.

Le plan d'un test est généralement très simple, basé souvent sur deux parcelles, une parcelle «traîtée» (où la solution possible est expérimentée) et une parcelle «témoin» (avec la méthode traditionnelle). Si la solution implique des niveaux différents de traitements, par exemple trois niveaux d'engrais azotés, il doit y avoir trois parcelles «traîtées» et une parcelle «témoin».

Si une solution de gestion intégrée des sols et des nutriments doit être testée en même temps qu'une solution de protection intégrée contre les maladies et les ravageurs, on utilise un plan plus compliqué, appelé fractionnement des parcelles, qui fait correspondre le nombre de sous-parcelles au nombre de traitements à tester. Si les solutions de protection intégrée contre les maladies et les ravageurs constituent les principaux traitements, le nombre de sous-parcelles



traitées (par exemple parcelle avec traitement PIMR, et parcelles sans traitement ou parcelle témoin) doit correspondre au nombre total de traitements à faire. Le nombre de traitements «de gestion intégrée des sols et des nutriments» dans chaque parcelle de traitement «protection intégrée contre les maladies et ravageurs» peut être au hasard, et les sous-parcelles doivent être orientées suivant la direction du changement des caractéristiques du milieu tels que l'humidité et la texture du sol ou la pente du terrain, comme indiqué dans la figure 1.

Le nombre de répétitions ne devrait être qu'un seul, par exemple une parcelle traitée et une parcelle témoin, dans un même champ. Toutefois, si plusieurs agriculteurs font le même essai dans leurs champs respectifs, les différents emplacements peuvent être considérés comme des répétitions de l'essai, et pour vérification, le facilitateur devrait faire appel à un statisticien. Les procédures d'expérimentation dépendent de la nature des solutions possibles, des ressources des agriculteurs et de la mécanisation de l'exploitation.

LE SUIVI DES TESTS

Il existe une variété de sols, de cultures et d'indicateurs (tableau 1) que les agriculteurs peuvent utiliser pour détecter et suivre les changements des conditions des sols et des performances des cultures, ainsi, les effets des solutions possibles testées peuvent être évalués par les participants à la formation. Le rôle du facilitateur serait d'assister les agriculteurs dans le choix des indicateurs des sols ou des nutriments sur lesquels est testée la solution. Ainsi, si la solution vise le contrôle de l'érosion hydrique, l'indicateur sélectionné doit permettre de détecter facilement les différents degrés d'érosion.

TABLEAU 1
Indicateurs possibles pour suivre les changements à court terme dans les sols, les éléments nutritifs, les conditions des sites et les performances des cultures

Problèmes	Indicateurs
Réserves de nutriments / fertilité des sols	Symptômes foliaires de déficience, coloration du feuillage, croissance/rendement des cultures (voir ci-dessous), densité des herbes adventices, espèces d'herbes adventices.
Réserves d'eau	Humidité du sol par toucher et couleur, couverture du sol par les résidus culturaux, durcissement de la surface, porosité, flétrissement des cultures, profondeur des racines.
Réserves d'oxygène	Profondeur de la nappe d'eau, humidité du sol, profondeur des racines, espèces de mauvaises herbes hydrophobes, par exemple <i>Cyperacea</i> .
Toxicités	Symptômes foliaires de déficience, dépôts de sels, déformation des racines, profondeur d'enracinement.
Limitation des racines (sol très dur / présence de couches profondes compactées)	Profondeur des racines, modèle de développement des racines, consistance du sol, résistance du sol à une pioche, densité des pores visibles.
Levée des plants (sol très dur)	Épaisseur et solidité de la croûte du sol.
Activité biologique	Quantité de résidus à la surface, nombre de vers, autres organismes, terriers, galeries de termites, chambres, biospores.
Erosion hydrique (stabilité du site)	Densité et taille des rigoles, piédestaux, exposition des racines, accumulation des particules érodées de sol, dépôts des éclaboussures.
Erosion éolienne (stabilité du site)	Dépôts de sable, petites dunes, exposition des racines, inclinaison des cultures.
Croissance/rendement des plantes	Hauteur des plantes, vigueur, nombre de rejets, feuilles, fleurs femelles, nombre et taille des fruits, épis, longueur des panicules, rendements agricoles, diamètre des arbres, taille de la couverture végétale.

Les indicateurs doivent aussi changer rapidement pour permettre de détecter les changements des conditions du sol et de la performance des cultures après la période de test, qui est généralement d'une seule saison culturale. Par exemple, le nombre et la taille de petits ruisseaux dans les parcelles traitées et dans les parcelles témoin seront des indicateurs très sensibles, tandis que la dureté de l'horizon de surface, qui change très lentement, ne le sera pas.

Les changements des propriétés des sols qui n'apparaissent pas après le labour, se développent lentement pendant une longue période, par exemple plusieurs années, avant qu'ils ne soient apparents. Pour cela, il est souvent difficile de détecter l'effet de certains traitements sur les propriétés des sols en une seule saison culturale. Dans ces situations, il est souvent facile de suivre la croissance et les rendements des plantes qui sont des indicateurs plus délicats. Quelques indicateurs peuvent être facilement quantifiés, par exemple, la hauteur des plantes, tandis que d'autres, comme la mesure de l'humidité du sol par le toucher, peuvent être seulement décrits en termes simples, comme très humide, moyennement ou peu humide.

Les deux formes d'évaluation sont valables, surtout que les agriculteurs seront amenés à comparer en même temps les parcelles traitées et les parcelles témoin. En l'absence d'une parcelle de contrôle servant de référence, l'usage des termes descriptifs pour suivre un indicateur après une certaine période est extrêmement difficile et est même déconseillé.

La fréquence de contrôle de chaque indicateur sera généralement de 2-4 semaines, et sera fait dans le cadre des activités sur le terrain du programme CEA. Si le manque d'eau constitue

le principal problème, l'indicateur de l'humidité du sol est évalué au début de la saison sèche. Pour les indicateurs de l'érosion hydrique, l'évaluation est faite juste après les grandes pluies. La planification d'un CEA doit prévoir des sessions pendant les périodes de l'année où ces conditions se présentent. Alternativement, les participants peuvent demander une autre rencontre spéciale pour observer l'impact d'un phénomène climatique (comme une pluie torrentielle de courte durée, un vent très fort ou une gelée sévère) qui se produit pendant l'intervalle prévu entre les réunions.

Les exemples d'indicateurs présentés dans le Tableau 1 sont utilisables pour des tests de saison culturale et pour des agriculteurs à faibles ressources et sans accès aux laboratoires des sols. Des indicateurs plus sophistiqués peuvent être utilisés quand les facilités d'analyse des sols sont disponibles (par exemple le CEA est situé près d'une station de recherche ou d'une école d'agriculture ayant un laboratoire de pédologie). Après son introduction dans un système cultural, l'effet d'une nouvelle pratique agricole peut être évalué après plusieurs années. Les indicateurs qui changent lentement, tels que la couleur du sol, peuvent être aussi utilisés. Si le Champ-Ecole doit avoir lieu pendant une seule saison culturale, il s'avère nécessaire d'adopter un autre mécanisme pour s'assurer que les participants continueront les observations.

ÉVALUATION DES TESTS

Les résultats des tests des solutions possibles sont évalués sur la base de leur acceptabilité technique, sociale, économique et environnementale au niveau du ménage de l'agriculteur. S'il s'agit des aspects environnementaux, les résultats doivent être acceptables au niveau de toute la région. Si possible, les données seront enregistrées par le facilitateur, car elles peuvent être utiles pour demander des fonds pour d'autres CEA.

Évaluation technique

Les solutions possibles sont évaluées sur la base de leur capacité de réduire les problèmes de sol, d'eau et des nutriments pour lesquelles elles sont mises en place, et sur la base des suppléments de rendements obtenus. Ceci apparaîtra après comparaison des sols et des indicateurs culturaux des parcelles traitées et des parcelles témoins. Si la solution possible «étalement des résidus culturaux au champ» a été testée, et que la présence de rigoles et les rendements agricoles étaient utilisés comme indicateurs, le nombre et la taille des rigoles seront significativement plus faibles sur les parcelles traitées que sur les parcelles témoins. On espère obtenir également des rendements égaux ou supérieurs sur la parcelle traitée.

Évaluation sociale

Les aspects les plus importants de l'évaluation sociale d'une solution possible, comparée à la méthode agricole normale, sont:

- le temps et la main-d'oeuvre nécessaires;
- la programmation saisonnière du travail (comparée à d'autres demandes et d'autres intérêts de l'agriculteur et de sa famille);
- le degré de l'effort physique.

Évaluation économique

Elle peut se faire en comparant le profit (marge brute) obtenu par l'adoption de la solution possible avec le profit obtenu par l'application de la méthode agricole normale, mais il faut que

les données utilisées soient conformes aux conditions de terrain et qu'elles aient été obtenues sur des parcelles suffisamment larges. Le bénéfice (marge brute) est calculé en faisant la différence entre le prix de vente des produits et le coût des facteurs de production, par exemple la main d'oeuvre, les semences, les engrais, les pesticides, les emballages, le transport, etc.

Évaluation environnementale

Les aspects les plus importants à considérer durant le test des solutions possibles sont:

- l'importance de la toxicité ou de la pollution possible;
- les risques d'érosion hydrique et éolienne.

D'autres aspects environnementaux, qui apparaissent normalement après des périodes plus longues qu'une saison culturale, sont:

- les réserves d'eau: les niveaux d'eau dans les rivières et les vallées;
- la qualité de l'eau: le teneur en sédiments et la composition chimique (la couleur, le goût et l'odeur en sont souvent des indicateurs);
- le couvert végétal et les arbres.

procédure peut être suivie par les participants et donne une indication utile du succès de la formation sur la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs. Le facilitateur, assisté par un spécialiste des sols, peut inventorier les facteurs positifs et négatifs utilisables lors d'une telle évaluation et les adapter ensuite aux conditions locales en collaboration avec les participants au champ-école.

ÉVALUATION DU CEA-GISN

L'évaluation de la formation par les apprenants eux-mêmes, à la fin du champ-école, est très utile pour améliorer le contenu technique et le mode d'opération de toute autre formation future à faire dans la zone. Cette auto-évaluation permet de voir si les thèmes de formation et les solutions proposées sont en rapport avec les besoins et les attentes des agriculteurs et adaptés à leur environnement local. Les participants devraient évaluer l'utilité et le degré de compréhension des activités, les principes introduits et les techniques acquises lors de la formation sur la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs, la façon dont celle-ci est organisée ainsi que les interventions du facilitateur.

Ce dernier devrait expliquer que cette appréciation aidera les organisateurs du champ-école des agriculteurs à améliorer la formation sur la gestion intégrée des sols et des éléments nutritifs dans l'intérêt des futurs participants, et qu'ils donnent une contribution bénéfique en exprimant honnêtement leurs opinions. Malgré ce commentaire, beaucoup de participants pourraient ne pas exprimer clairement leurs critiques. Dans une communauté d'agriculteurs au sein de laquelle existe un niveau raisonnable d'instruction, la seule façon d'éviter ce risque est de demander aux participants d'écrire leurs opinions sur des feuilles de papier en fonction des sujets à évaluer, et de placer ces feuilles de papier dans des «caisses de vote» pour préserver la confidentialité. Les opinions peuvent être codées en utilisant des chiffres, par exemple 1 (très bénéfiques), 2 (moyennement bénéfiques), 3 (non bénéfique), 4 (à améliorer), 5 (accorder moins de temps), 6 (accorder plus de temps).

Un exemple de questions utilisées pour évaluer l'utilité, la qualité et le degré de compréhension des modules, des principes et des techniques présentés lors de la formation, est donné dans le tableau 3 de l'annexe 5. Les noms des modules spécifiques, des principes et des connaissances à évaluer pourraient être insérés dans le tableau à la place de 1, 2, 3, etc. Un exemple de questions utilisées pour évaluer l'organisation de la formation et l'aptitude du facilitateur est donné dans le tableau 4 de l'annexe 5, et les types de questions à poser aux participants sur la façon d'améliorer la formation, sont donnés dans le tableau 5 de l'annexe 5.

Les résultats de chaque évaluation doivent être présentés aux participants par le facilitateur pour plus de discussions, de clarifications et d'améliorations. A ce niveau, les participants se limitent probablement moins dans leurs commentaires.

Bibliographie

- Belger, E.U., Fritz, A., Irschick.** *De l'importance des éléments nutritifs secondaires et des oligo-éléments en agriculture.* BASF, Ludwigshafen, RFA.
- Cooke, G.W.** 1982. *Fertilizing for maximum yield.* Third edition. Granada, London.
- Doorenbos, J. et Pruitt, W.O.** 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 24*, revised 1977, Rome, Italy.
- Douglas, M.G.** 1988. *Integrating Conservation into the Farming System, Land Use Planning for Smallholder Farmers. An Outline for a Training Workshop.* Commonwealth Secretariat London.
- Douglas, M.G.** 1996. *Formulation of a Soil Erosion Control Programme - Jamaica.* Technical Report TCP/JAM/4451(A) Technical report, FAO, Rome.
- FAO.** 1980. *Organic recycling in Africa.* Papers presented at the FAO/SIDA workshop on the use of organic materials as fertilizers in Africa, Buea, Cameroon, 5-14 December, 1977. *FAO Soils Bulletin 43.* Rome, Italy.
- FAO.** 1987. Guide sur les engrais et la nutrition des plantes. *Bulletin FAO engrais et nutrition végétale 9.* Rome, Italie.
- FAO.** 1987. Soil management: compost production and use in tropical and subtropical environments. *FAO Soils Bulletin 56.* Rome, Italy.
- FAO.** 1993. *Guide for Organizers and Trainers of Fertilizer and Related Inputs Retailers' Training in Asia.* Prepared by O.S. Pedersen. GCPF/RAS/100/DEN Field Document 4. Bangkok, Thailand.
- FAO.** 1994. *Ecocrop 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database.* FAO, Rome.
- FAO.** 1997. Systèmes intégrés de nutrition des plantes. Rapport d'une consultation d'experts, Rome, Italie, 13-15 décembre, 1993. *Bulletin FAO engrais et nutrition végétale 12.* Rome, Italie.
- FAO.** 1997. *Guide for the conduct of the constraints analysis component.* Handbook Series Volume II, Annex II. Special Programme for Food Security, FAO, Rome, Italy.
- FAO.** 1999. *Guide pour une gestion efficace de la nutrition des plantes.* AGL/FAO, Rome.
- FAO.** 2000. Guidelines for on-farm plant nutrition and soil management trials and demonstrations. *AGL/MISC/26/2000.* AGL/FAO, Rome.
- FAO.** 2002. *Guide diagnostic participatif des contraintes et des potentialités pour la gestion des sols et des éléments nutritifs des plantes.* AGL/MISC/30/2000. AGL/FAO, Rome.
- ISSS.** 1996. *Terminology for soil erosion and conservation.* International Soil Society Vienna, Austria.
- Kayizzi, C.K.** 1998. Study of the potential for improved utilization of alternative locally available materials in soil management. In: *Soils and Soil Fertility Management Programme, Annual Report 1995-96.* Kawanda Agricultural Research Institute, NARO, Uganda.
- Loué, A.** 1993. *Oligo éléments en agriculture.* Éditions Nathan + SCPA.
- Sanchez, P.A.** 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics.* Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York.
- Shaxson, T.F., Hudson, N.W., Sanders, D.W., Roose, E. et Moldenhauer, W.C.** 1989. *Land husbandry - A Framework for Soil and Water Conservation.* Published by the World Association of Soil and Water Conservation. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.

- Soltner, D.** 1978. *Phytotechnie Générale. Les bases de la production végétale*. Tome 1 Le Sol. 7e Édition. Collection sciences et techniques agricoles. Angers.
- Songambele, S.I.** 1982. *The effects of filter mud and factory ash on the physical, dynamic and chemical properties of aggregated sugarcane soils from Kilobero Sugar Estates, Tanzania*. MSc. Thesis, University of Nairobi, Nairobi. 1982.
- Van Keer, K., Comtois, J.D., Ongprasert, S. et Turkelboom, F.** (eds.). 1996. *Options for soil- and farmer-friendly agriculture in the highlands of northern Thailand. Soil Fertility Conservation Project*. Mae Jo University, Thailand, and Katholic University of Leuven, Belgium.
- Vukasin, L., Roos, L., Spicer, N. et Davies, M.** 1995. *Production without destruction*. Natural Farming Network. Harare, Zimbabwe.
- Wade, M.K. et Sanchez, P.A.** 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon basin. *Agronomy J.* 75: 39-45.

Annexe 1

Exemples d'exercices et d'essais à utiliser dans les champs-écoles des agriculteurs sur la gestion intégrée des sols et des nutriments

Les pages suivantes donnent des exemples d'exercices et d'essais que les agriculteurs peuvent faire au cours de leur formation au CEA pour apprendre les principes et les techniques qui leur permettront d'appliquer la gestion intégrée des sols et des nutriments. Etant donné que chaque zone agricole dispose de propres caractéristiques biophysiques, socio-économiques et culturelles, le facilitateur devra prendre ses responsabilités pour identifier les exercices qui sont appropriés à cette région et développer d'autres exercices nécessaires pour promouvoir une approche participative de formation à la gestion intégrée des sols.

Note: D'autres exemples de CEA sur la GISN se trouvent dans :

Programme FARM 1998. *Farmer Field School on Integrated Soil Management*.
FAO-RAP Bangkok.

EXERCICE 1: CARTE HYDROGRAPHIQUE OU CARTE D'UNE RÉGION**Objectif:**

Produire une carte hydrographique ou carte de la région pour localiser les ressources locales, telles que les rivières et les forêts, les différents usages des terres telles que les routes, les maisons, les zones agricoles, les zones communales, etc, et les problèmes environnementaux tels que la dégradation des terres et les zones de pollution. La carte peut être utilisée pour planifier les activités comme les excursions, les tests, les mesures de contrôle de la dégradation des terres, les différentes utilisations des terres ou la gestion améliorée des pâturages communaux ou des zones forestières.

Durée: **2-3 heures**

Matériel nécessaire:

Large feuilles de papier et marqueurs. Si la carte est préparée sur le sol en utilisant des piquets, des pierres et des graines etc, de larges feuilles de papier sont nécessaires pour faire des copies de la carte.

Procédure:

1. Expliquer les objectifs de l'activité et discuter du type d'informations qui doit apparaître sur la carte. En cas de carte hydrographique, expliquer l'importance des lignes de crête (qui indiquent si la pluie entre dans ce bassin ou dans le bassin à côté) et des lignes de drainage (distinguer entre les rivières, les sources et les cours d'eau qui sont saisonniers ou permanents). Localiser d'abord les lignes de crête, les lignes de drainage et les routes pour faire le squelette de la carte, ensuite les détails sur les utilisations des terres, les zones d'habitations et les zones à problèmes.
2. Constituer 2-3 sous-groupes de participants.
3. Faire une liste d'informations à présenter et aider le groupe à localiser les principaux points de référence (les lignes de crêtes, les routes et les lignes de drainage) sur une large feuille de papier ou sur le sol. Ensuite, laisser le groupe dessiner la carte.
4. A la fin de la session, le groupe présente la carte à toute l'assemblée pour commentaires et suggestions.
5. Discuter de l'utilité de la carte en termes d'*objectif* de l'activité.

Résultats attendus:

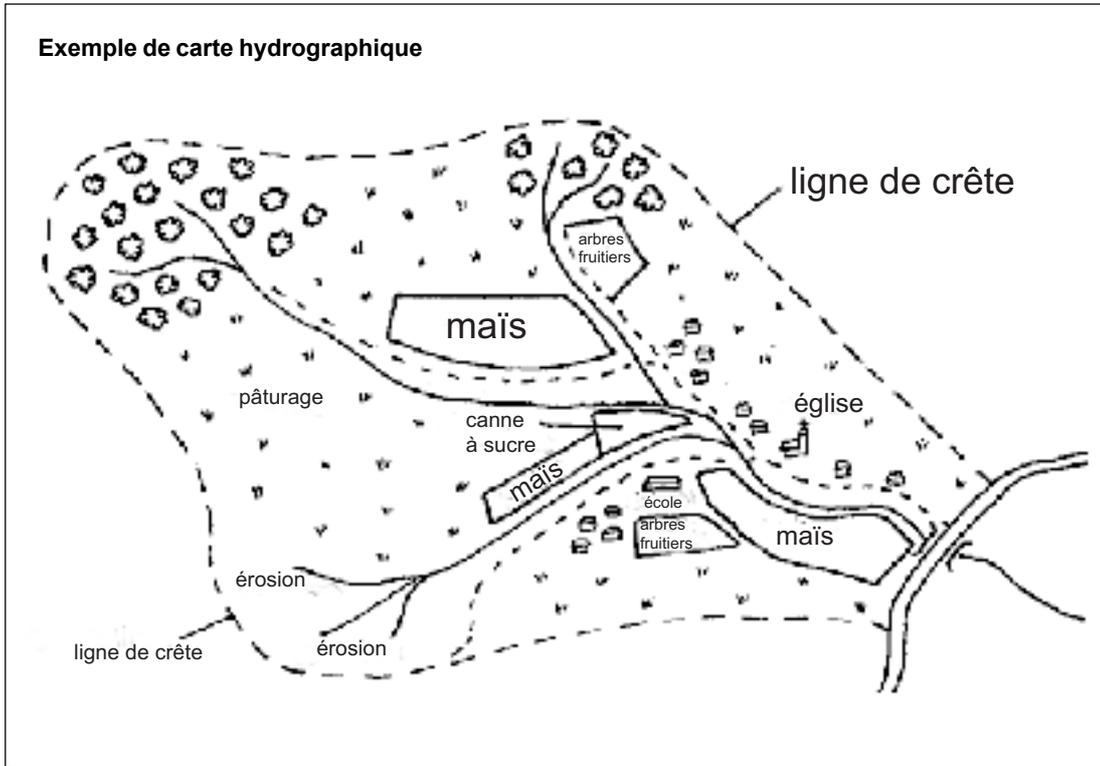
Les participants devraient être capables de produire une carte hydrographique ou de la région pour identifier les problèmes et les possibilités de leur environnement.

Questions pour faciliter la discussion:

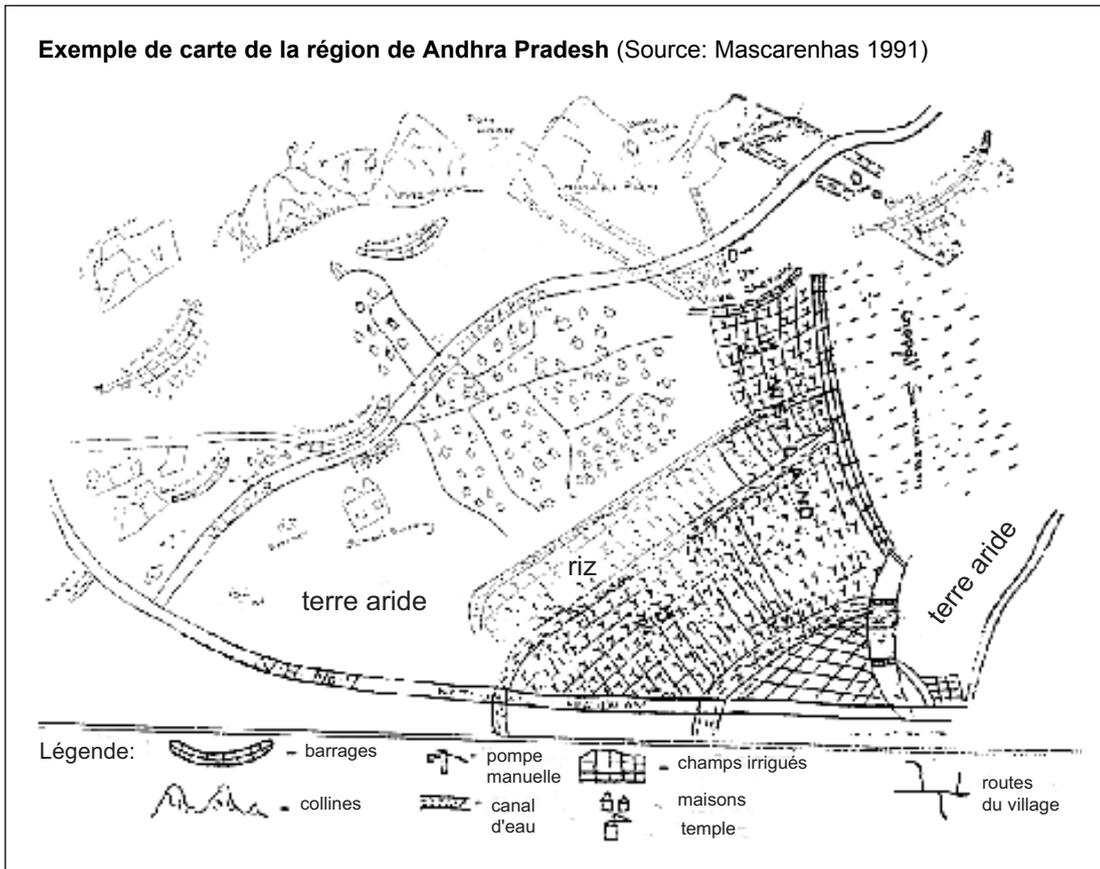
Pourquoi les problèmes se produisent-ils dans certaines zones?

Selon vous, quelle est la cause de ces problèmes?

Exemple de carte hydrographique



Exemple de carte de la région de Andhra Pradesh (Source: Mascarenhas 1991)



EXERCICE 2: ORGANISATION D'UNE VISITE SUR LE TERRAIN (TRANSECT)**Objectif:**

Avoir les informations sur les relations entre le paysage, les formes d'usage des terres, les systèmes agricoles, les sols, l'eau et les problèmes cultureaux. L'exercice sert à stimuler le début de la discussion sur les problèmes de la population, les solutions possibles et les potentialités.

Durée:

L'excursion peut s'effectuer en 3-4 heures dans la matinée et accorder ensuite une heure pour finaliser le schéma de l'excursion sur une large feuille de papier.

Matériel nécessaire:

De larges feuilles de papier, des marqueurs, des morceaux de bois pour fixer le papier.

Procédure:

1. Expliquer qu'avant de considérer les changements possibles des pratiques culturelles, il est important de connaître les problèmes et les méthodes couramment rencontrés et les solutions déjà testées.
2. Donner l'objectif de l'excursion, l'itinéraire qu'on a décidé de suivre et expliquer comment noter l'information.
3. Pendant l'excursion, s'arrêter fréquemment dans les lieux intéressants, et là où il y a des différences d'utilisation des terres ou des types de sols. A chaque arrêt, observer et noter la position de la pente ou la distance qui les sépare de la rivière principale. Consulter les participants et les habitants des environs sur : le type de sol, l'usage des terres, le bétail, les réserves d'eau, les pratiques de gestion, les problèmes et les solutions potentielles. Le facilitateur pourrait poser des questions pour clarifier ou obtenir des informations supplémentaires sur les aspects peu observés.
4. A la fin de la visite, constituer sept groupes de 3-4 participants, demander à chaque groupe de discuter sur un des sept aspects et de noter sur le tableau un bref résumé de la plus importante information qu'ils ont relevée à chaque arrêt.
5. Initier la discussion générale sur l'information présentée sur le schéma, finaliser celui-ci et le conserver pour un usage futur dans le champ-école des agriculteurs.

Résultats attendus:

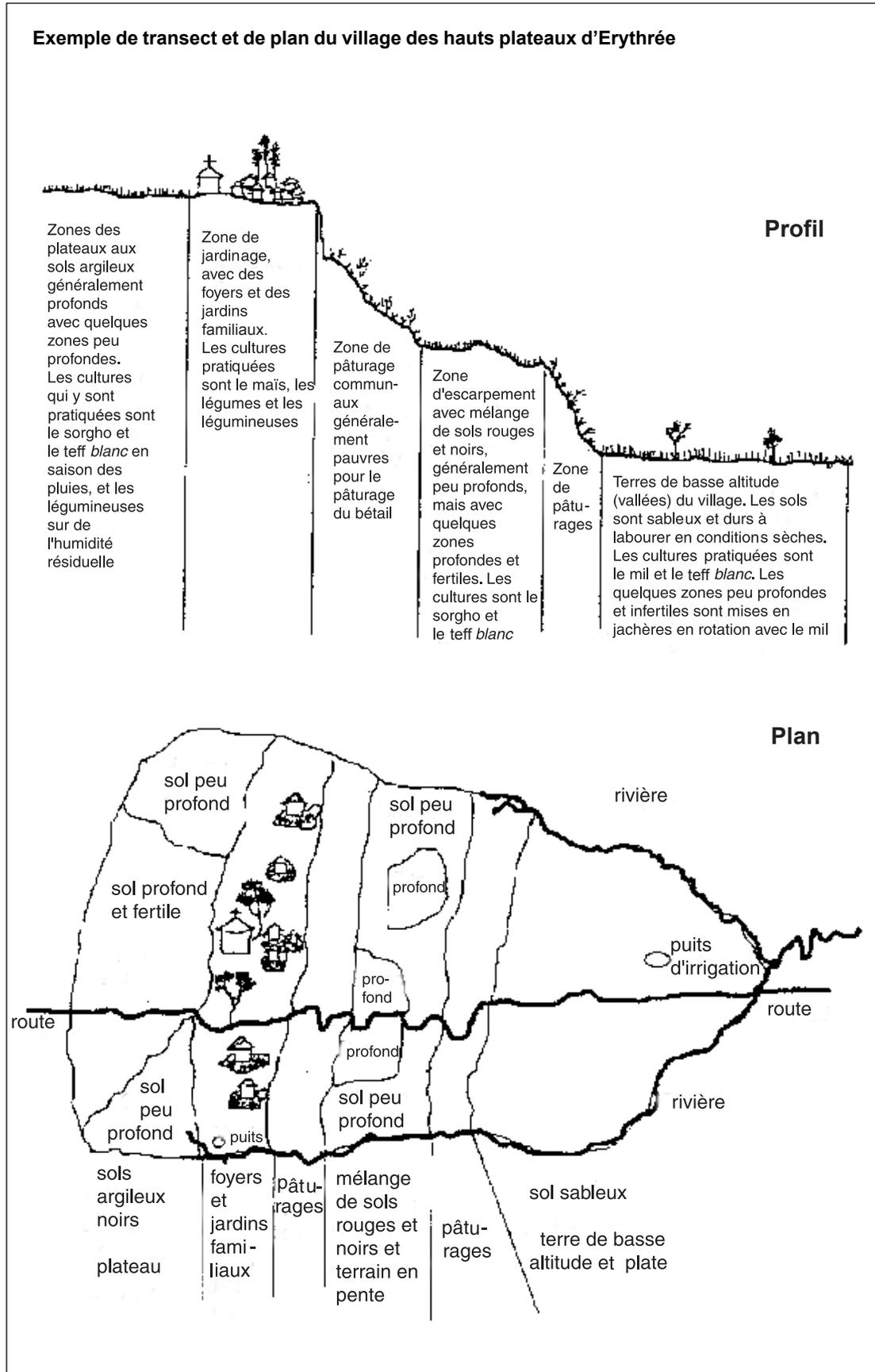
Les participants devraient être capables de produire une coupe de leur région relevant les relations entre le paysage, les différents usages des terres, les systèmes agricoles, le sol, l'eau et les problèmes cultureaux.

Questions pour faciliter la discussion:

Y a-t-il des différences entre les types et les propriétés des sols qu'on peut lier à leur emplacement?

Comment la relation entre le type de sol et l'emplacement peut-elle affecter le choix de l'usage de la terre et la méthode de gestion des sols?

Exemple de transect et de plan du village des hauts plateaux d'Erythrée



EXERCICE 3: LES FONCTIONS DU SOL SELON LE PAYSAGE ET LE TYPE DE SOL**Objectif:**

Comprendre les relations entre le paysage (position topographique, le degré de pente), le type de sol (comme indiqué par la couleur, la texture, la dureté, les pores, les pierres) et les fonctions du sol (réserves d'eau, de nutriments, d'oxygène, la stabilité du site et l'activité biologique) par l'étude de trois profils de sols différents.

Durée: **4 heures**

Matériel nécessaire:

Des houes ou des pelles, des pioches, des machettes ou des couteaux, un niveau à eau, une bouteille d'eau, des formulaires de description des profils de sol, un tableau, des feuilles de papier et des marqueurs.

Procédure:

1. Faire des trous dans le sol d'1 m de profondeur, et de préférence d'1 m de long et 0,7 m de large. En cas de présence des cultures, l'une des faces du trou sera parallèle à la rangée des plantes pour que leurs racines soient observables. Placer chaque horizon de sol en un tas séparé pour remplir facilement le trou après l'opération (à faire à l'avance).
2. Séparer plusieurs horizons de surface ou de profondeur si les différences sont tellement marquées que la croissance des plantes semble être affectée. Délimiter à l'aide d'un couteau les différents horizons colorés dans le profil, la profondeur de pénétration des racines et la profondeur maximale disponible pour l'enracinement.
3. Introduire le concept de texture du sol et expliquer que cette notion se réfère aux proportions de sable et d'argile dans le sol. Si la teneur en argile augmente, la texture change de «très légère» à «légère» et de «moyennement lourde» à «lourde» et le labour devient plus difficile.
4. Montrer aux agriculteurs comment étudier la texture du sol au champ à l'aide des directives de l'encadré 1. Une classification simple de la texture du sol est résumée dans le tableau 4.
5. Faire passer des échantillons des deux horizons à tous les agriculteurs pour constater la couleur et sentir l'humidité, la texture, la dureté ou la mollesse, la porosité et les pierres.
6. Demander aux agriculteurs de décrire, en termes simples, ces caractéristiques pour chaque horizon et demander à l'un d'eux de les noter.
7. Discuter sur la «réserve d'eau» comme fonction du sol, sauf si l'eau n'est pas un facteur limitant. Encourager les agriculteurs à penser et à discuter sur la disponibilité de l'eau dans le sol sur la base de leur propre expérience, et sur la façon dont celle-ci est en relation avec la profondeur, la texture, la matière organique, les pierres et le développement racinaire. Faire la même chose pour les réserves de nutriments et d'oxygène.

Questions pour débiter la discussion:

Quels sont les besoins de base que les cultures requièrent du sol?

Que signifie la couleur noire de l'horizon de surface, la profondeur de cet horizon, la réserve de l'humidité dans les sols?

Comment ces facteurs sont-ils en rapport avec la fertilité du sol et les réserves en nutriments?

La texture du sol est-elle très légère, légère, moyenne ou lourde?

Comment la teneur en argile affecte le taux d'humidité d'un sol?

Est-ce que les sols caillouteux, sableux, argileux ou riches en matières organiques retiennent le plus d'humidité?

Les racines s'enfoncent-elles profondément? Si non, quelles en sont les raisons?

Quels sont les avantages des racines profondes pour les cultures?

Comment les racines pénètrent-elles dans le sol?

Quels sont les types d'horizons qui empêchent l'enracinement profond?

Comment la profondeur d'un sol affecte-t-elle son aptitude à retenir l'eau de pluie?

Que signifie l'activité biologique?

Que signifie l'érosion du sol, du point de vue réserves en nutriments et maintien de la fertilité?

EXERCICE 4: NUTRIMENTS DU SOL: RÉSERVES ET DEMANDES**Objectif:**

Au moyen d'un exercice par lequel N, P, K sont pompés du sol par des récoltes successives de maïs, montrer que la capacité des sols de stocker différents nutriments est limitée, et varie selon les nutriments.

Matériel nécessaire:

Un seau, 8 oranges, 5 limes et 15 noix de palme ou le même nombre d'autres objets semblables. Des feuilles de papier et des marqueurs.

Procédure:

1. Expliquer qu'un seau représente un sol et que les autres objets représentent les différents nutriments. Dans cet exercice, les oranges représentent 10 kg de N, les limes représentent 10 kg de P et les noix de palme représentent 10 kg de K. Tout autre objet comme les cailloux, les différents types de noix ou de fruit peut être aussi utilisé.
2. Placer les 8 oranges, 5 limes et 15 noix de palme dans le seau et demander aux participants combien de N, P et de K il y a dans le sol.
3. Expliquer que le grain récolté dans 2,5 tonnes /ha de maïs contient approximativement 40 kg de N, 10 kg P et 20 kg K. Demander aux participants de retirer du seau 40 kg N (= 4 oranges), 10 kg P (= 1 lime) et 20 kg K (= 2 noix de palme) pour représenter les nutriments majeurs pompés du sol par la première récolte de 2,5 tonnes/ha de maïs.
4. Répéter le processus en retirant la même quantité de N, P, K pour représenter les nutriments majeurs extraits par la seconde récolte de 2,5 tonnes/ha de maïs.
5. Continuer la même procédure en notant le nombre d'années pendant lesquelles le sol sera capable de stocker N, P, K pompés par les récoltes de grains si d'autres nutriments ne sont pas ajoutés au sol.
6. Faire remarquer que cet exercice illustre seulement le principe et que les différents sols seront capables de stocker les nutriments majeurs pour de plus longues ou de plus courtes périodes. Si c'est nécessaire, on peut utiliser deux seaux, l'un représentant un sol sableux contenant 40 kg N/ha, 30 kg P/ha et 100 kg K/ha, et l'autre représentant un sol argileux contenant 120 kg N/ha, 60 kg P/ha et 360 kg K/ha. En répétant la même procédure pour les deux types de sols, il apparaîtra que le sol sableux sera plus rapidement épuisé en nutriments que le sol argileux.

Questions pour faciliter la discussion:

Quel pourrait être l'effet de ne pas restituer la paille de maïs au sol?

EXERCICE 5: LES FLUX DE NUTRIMENTS ET LES SYSTÈMES AGRICOLES**Objectif:**

Identifier et décrire les flux de nutriments du principal système agricole de la région.

Durée: 2-3 heures

Matériel nécessaire:

Du papier et des marqueurs; si le schéma doit être préparé sur le sol, utiliser des piquets pour dessiner les lignes de flux, des cailloux, des graines, des résidus cultureux, du fumier sec etc, du matériel qui peut représenter les mouvements des produits entre les différentes composantes du système agricole.

Procédure:

1. Sélectionner le système agricole à schématiser sur le diagramme.
2. Commencer avec le principal système agricole et mettre ensuite tous les autres systèmes agricoles, les parcelles familiales, les étables de bétail, les pâturages, les forêts.
3. Identifier les produits contenant des nutriments des plantes et qui sont continuellement déplacés dans le système agricole familial (cultures vivrières consommées au niveau du ménage, le fumier, les résidus cultureux, les restes de la cuisine, etc.) et tracer des lignes entre eux pour montrer leurs mouvements.
4. Identifier les produits contenant des nutriments des plantes qui sont exportés hors du système agricole (les produits envoyés au marché) ou qui sont introduits dans le système agricole (fertilisants achetés, les matières organiques collectées au dehors de l'exploitation).
5. Discuter des mouvements de nutriments à l'intérieur comme à l'extérieur du système agricole, et insérer des flèches dans le diagramme pour montrer la direction des flux des nutriments.
6. A la fin de la session, le schéma final des flux des nutriments sera discuté au niveau de toute l'assemblée pour commentaires et suggestions.
7. Discuter sur l'utilité de ce schéma des flux en termes d'objectif de l'activité.

Points pour faciliter la discussion:

Discuter des moyens d'augmenter la disponibilité des nutriments aux plantes et à l'élevage en réduisant leur flux d'exportation, en augmentant leurs transferts bénéfiques dans le système agricole, et en augmentant les flux d'importation. Considérer uniquement des actions qui sont économiquement et socialement acceptables par les agriculteurs.

EXERCICE 6 : CYCLE DES NUTRIMENTS, ACTIVITÉ BIOLOGIQUE ET USAGE DES TERRES (possibilité de le combiner avec l'exercice sur les fonctions du sol).

Objectif:

Apprécier comment les usages des terres et la gestion des sols affectent le cycle des nutriments, l'activité biologique et les caractéristiques du sol.

Durée: 3-4 heures

Matériel nécessaire:

Houes, pelles, pioches, machettes, feuilles en plastique ou de papier, trois seaux de 5 litres, une règle, une source d'eau, une montre, du papier et des marqueurs.

Procédure:

1. Sélectionner deux sites dans lesquels la croissance des racines peut être observée.
2. Pour les deux sites, estimer la profondeur d'enracinement des plantes et des arbres.
3. Pour les deux sites, examiner la litière accumulée, l'activité biologique et la porosité du sol de surface. Collecter des échantillons des deux sites pour les comparer. Observer la couleur, le nombre d'insectes, la présence de vers de terre et d'autre faune.
4. Observer le nombre de pores larges dans les deux sites. Illustrer leur fonction dans le drainage de l'eau de surface jusqu'aux couches plus profondes en utilisant l'exercice de l'encadré 3 du Matériel de Référence.

Questions pour faciliter la discussion:

Pourquoi y a-t-il plus de litière sous la forêt que dans les lieux cultivés?

Pourquoi y a-t-il plus d'activité biologique de la faune et un sol de superficie de couleur plus sombre en forêt que sous les cultures annuelles?

Que deviennent les feuilles quand elles tombent sous une forêt?

Pourquoi y a-t-il plus de pores (larges) dans un sol de forêt que dans un sol cultivé?

Pourquoi les pores larges sont-ils importants?

Quel est leur effet sur l'érosion du sol, sur la perte de l'eau de pluie, sur la perte des nutriments et des fertilisants?

Que deviennent les nutriments absorbés par les racines?

Que deviennent les nutriments contenus dans les feuilles mortes qui sont à la surface du sol?

Quelle est la méthode agricole qui favoriserait le cycle des nutriments?

Que deviennent les nutriments exportés avec le fourrage?

Quel est l'avantage des cultures annuelles entre des arbres dispersés, ou en cultures en couloirs?

EXERCICE 7: IDENTIFICATION AU CHAMP DES PROBLÈMES DE SOLS ET DE NUTRIMENTS**Objectif:**

Reconnaître les problèmes de sols et de nutriments dans le champ par des observations du sol, du site et des conditions culturales.

Durée: 3-4 heures

Matériels:

Pioches, houes, machettes, bidon.

Procédure:

1. Dans le principal système agricole, choisir deux sites représentatifs de la topographie locale et des conditions du sol, qui montrent les problèmes courants et communs des sols et des nutriments.
2. Après cela, creuser dans le sol des trous d'1 m de profondeur, 0,7 m de largeur et d'1 m de long, parallèlement et à côté de la rangée des plantes pour permettre de bien observer les racines.
3. L'agriculteur est invité à expliquer le système agricole, les méthodes utilisées pour la gestion des sols et le rendement attendu. Lui demander de décrire les différentes cultures de son exploitation, les méthodes de labour, l'irrigation, la gestion des cultures, les fertilisants etc..
4. Expliquer comment reconnaître les indicateurs de rendement qui sont observables en une journée, expliquer les problèmes qui en découlent et comment estimer leur sévérité (utiliser les termes «très sévère», «sévère», «modéré» et «léger») et leurs causes.
5. Demander aux participants d'identifier tout symptôme de déficience en nutriments qui apparaît dans le site.
6. En cas de manifestation de toxicité de nutriments dans le site, demander aux participants d'identifier cette toxicité en utilisant les modèles distribués de description des symptômes foliaires, et d'en déduire les causes possibles.
7. Sans tenir compte des signes indicateurs du stress hydrique au moment de cette observation, demander à l'exploitant si le flétrissement a eu lieu précédemment et combien de temps il a duré.
8. Estimer quantitativement la sévérité de l'érosion au moment de cette observation du site, en se basant sur le nombre et la taille de ruisseaux, de piédestaux, de racines exposées, de couches profondes exposées, et en déduire les causes (par exemple manque de résidus culturaux à la surface, surexploitation agricole, faible développement du couvert végétal, pentes trop raides et/ou longues, surpâturage, ruissellement sur les pentes raides, pistes pour bétail ou sentiers en pente pour piétons). Distinguer les ravins comme un cas isolé d'érosion à cause de la stabilité du terrain et les problèmes d'accès qu'elle crée.
9. Si des couches denses sont observées, le facilitateur invitera les participants à enfoncer verticalement une pelle dans le sol pour détecter une augmentation subite de la résistance dans la couche dense.
10. Les participants devraient aussi constater les racines qui peuvent pénétrer dans la couche dense, et ce que deviennent les racines qui l'atteignent mais qui ne peuvent pas la pénétrer: observer si elles s'arrêtent, se tordent, retournent en arrière ou vont dans d'autres directions et quel est l'effet de ces phénomènes sur la croissance des plantes.
11. Si le sol est très caillouteux, demander aux agriculteurs le taux d'occupation du terrain par les cailloux (par ex. 1/2, 1/4, 1/8, ou moins, du volume du sol), et s'ils constituent un facteur limitant.
12. Initier une discussion sur les principales différences dans les problèmes de sol et de nutriments de chaque lieu.

Questions pour faciliter la discussion:

Y a-t-il une relation entre les problèmes observés et la gestion des sols ou d'autres activités de gestion agricole?

Ces problèmes sont-ils réellement des contraintes ou non?

Quel serait l'effet sur les rendements agricoles?

Les problèmes sont-ils liés entre eux, l'un serait-il la cause de l'autre?

EXERCICE 8 : IDENTIFICATION DES CAUSES ET DES EFFETS DES PROBLÈMES DE SOLS ET DE NUTRIMENTS**Objectif:**

Par des observations, des déductions et des discussions dirigées, déterminer les causes et les effets des problèmes identifiés de sols et de nutriments pour le principal système agricole.

Durée: 1 heure 30

Matériel nécessaire:

Un grand tableau, des cartes et des marqueurs, des punaises ou un ruban adhésif.

Procédure:

1. Utiliser des cartes préparées pour donner un exemple simple de production d'un arbre inversé de «problème-cause» (voir annexe 4).
2. Faire une liste des problèmes sur un papier et, en cas de participants illettrés, utiliser des symboles pour représenter chaque problème.
3. Constituer des groupes de participants en fonction des principaux systèmes agricoles de la région et demander à chaque groupe de faire le même exercice pour leur système agricole. On peut aussi former des groupes par type de sol, en colline ou plat.
4. Chaque groupe identifiera les principaux problèmes, et ensuite discutera et identifiera leurs causes et leurs effets, les causes des causes, et ainsi de suite pour chaque problème jusqu'à produire un arbre inversé de «problème-cause».
5. Ecrire, sur une carte, les principaux problèmes de sols et de nutriments identifiés par les participants et fixer ceux-ci sur le tableau au moyen d'aiguilles ou de ruban adhésif.
6. Adjoindre à cette carte d'autres cartes donnant, chacune, les causes du principal problème et faire la liaison entre ces deux facteurs par des flèches.
7. A la fin de l'exercice, les rapporteurs des groupes exposent à l'assemblée leurs arbres de «problème-cause» et une discussion générale est ouverte pour les confirmer ou les modifier.
8. L'on peut aussi montrer aux participants comment préparer un simple diagramme causal sur lequel le principal problème est placé à gauche du diagramme et les différentes relations causales sont montrées de droite vers la gauche (Voir annexe 4).

Questions pour faciliter la discussion:

Toutes les questions commençant par «Pourquoi» et «A cause de quoi»...

EXERCICE 9: IDENTIFICATION ET CHOIX DES SOLUTIONS POSSIBLES AUX PROBLÈMES DE SOLS ET DE NUTRIMENTS**Objectif:**

Identifier et sélectionner les solutions possibles aux problèmes de sols et de nutriments qui ont été identifiés dans les principaux systèmes agricoles.

Durée: 1 heure

Matériel nécessaire:

Des copies des arbres «problème-cause/diagramme causal» déjà produits, un grand tableau, des cartes, des marqueurs, des punaises et des adhésifs.

Procédure:

1. Donner les solutions possibles pour les causes du problème, qui sert à expliquer l'arbre «problème-cause/diagramme causal».
2. Constituer des groupes de participants en fonction des principaux systèmes agricoles.
3. Demander à chaque groupe d'identifier les solutions possibles aux problèmes et les causes qu'ils ont données dans leur arbre de «problème-cause/diagramme causal». Les solutions possibles pourraient se baser sur leurs propres connaissances et expériences, leurs observations faites lors de la visite sur le terrain et de la liste de solutions possibles.
4. Pour faire correspondre les solutions possibles à une cause, chaque membre du groupe note ce qu'il considère comme solution possible à la cause en utilisant une carte séparée pour chaque solution.
5. Le groupe révisé ensemble les «solutions possibles» en éliminant celles qui se répètent ou qui ne conviennent pas, pour arriver à un consensus. Le même processus est ensuite répété pour tout l'arbre «problème-cause/diagramme causal».
6. A la fin de l'exercice, les rapporteurs des groupes présentent à toute l'assemblée les solutions possibles à chacune des causes des arbres «problème-cause/diagramme causal» pour discussions et affinages.
7. Demander aux agriculteurs de choisir les solutions possibles, parmi celles qu'ils ont identifiées, qu'ils voudraient tester dans leurs exploitations et déterminer également les intrants et l'assistance technique dont ils auront besoin.

Questions pour faciliter la discussion:

Quelles solutions possibles a-t-on mentionné, lors des sessions précédentes, pour les problèmes qu'on avait identifiés?

Quelles autres solutions peut-on ajouter?

Ces solutions sont-elles réalistes dans la situation actuelle des agriculteurs et que doit-on faire pour les mettre en application?

EXERCICE 10: MAXIMISER LE COUVERT VÉGÉTAL POUR RÉDUIRE L'ÉROSION**Objectif:**

Démontrer l'influence bénéfique de la couverture du sol pour une meilleure infiltration des précipitations et pour réduire le ruissellement et l'érosion du sol riche en nutriments.

Durée: 1 heure 30

Matériel nécessaire:

Deux boîtes en bois, un sol bien structuré et suffisamment aéré pour remplir les deux boîtes jusqu'à huit cm de profondeur, un arrosoir de cinq litres muni d'une tête d'arrosage, des résidus de cultures pour couvrir complètement une boîte.

Procédure:

1. Construire trois boîtes en bois ouvertes, de 30 cm de large, 40 cm de long et 10 cm de haut, deux d'entre elles sont placées à 1 et 2 cm plus bas que la 3ème pour constituer un passage au ruissellement. S'il est impossible de construire les boîtes en bois, on peut utiliser deux buttes de terres dont les pentes sont ajustées à 25% et des feuilles de journaux sous les buttes pour absorber le ruissellement et recueillir le sol érodé. Si l'arrosoir n'est pas disponible, un peu d'herbe peut être plongée dans l'eau et l'eau est versée sur le sol pour simuler une précipitation.
2. Retirer les cailloux et les racines du sol et remplir les boîtes jusqu'à huit cm de profondeur pour mettre le sol du niveau le plus bas au même niveau que le passage.
3. Placer une couche de résidus cultureux coupés en morceaux de 0,5 cm d'épaisseur sur le sol dans une des boîtes.
4. Disposer les boîtes à un angle de 25 degrés l'une de l'autre avec leurs fonds placés dans la direction du bas des buttes et placer un bassin en dessous de chaque passage d'eau.
5. Attacher l'arrosoir à deux m environ au-dessus de la première boîte et simuler une grande pluie en versant un arrosoir dans la boîte, le plus uniformément possible.
6. Noter le niveau et la couleur de chaque ruissellement qui s'accumule dans le bassin.
7. Dès que les ruissellements cessent, fouiller le sol en bas de la boîte et noter la profondeur de pénétration de l'eau.

Questions pour faciliter la discussion:

Quels changements a-t-on observé à la surface du sol et à la surface des pores?

Quels peuvent être les autres moyens pour détruire les pores?

Dans quel type de sol l'eau a-t-elle plus profondément pénétré? Et pourquoi?

Quels sont les avantages, pour les cultures, de couvrir le sol avec des résidus de plantes?

Quelle est la nature de ruissellement à partir du sol nu?

Qu'est ce qui a été perdu?

Qu'est ce qui indique qu'il y a érosion du sol?

Comment l'érosion affecte-t-elle la fertilité des sols?

Quels sont les usages des terres et de méthodes culturales (annuelles, pérennes, pâturages, cultures arbustives, jachères) qui conduisent à un plus faible ruissellement et à une plus faible érosion?

EXERCICE 11 : MAXIMISER LA COUVERTURE DU SOL POUR RÉDUIRE LES PERTES D'HUMIDITÉ DU SOL**Objectif:**

Apprécier l'importance des résidus culturaux et des pailles dans la réduction des pertes d'eau du sol par évaporation.

Durée:

1 heure le premier jour, 30 minutes deux jours après et 1 heure une semaine plus tard.

Matériel nécessaire:

Piquets pour marquer les deux parcelles, des seaux ou un arrosoir pour appliquer 30 litres d'eau, une source d'eau, de la paille ou des résidus culturaux pour couvrir 1 m².

Procédure:

1. Il est important qu'il n'y ait pas de pluies dans les 10 premiers jours de l'expérience, il faut donc la faire de préférence pendant la saison sèche.
2. Avec des piquets, délimiter deux parcelles de 1m² à une distance de cinq m l'une de l'autre dans un champ non cultivé et près d'une source d'eau. Pour démontrer l'effet du labour sur l'augmentation des pertes d'humidité du sol par évaporation, ajouter une troisième parcelle humidifiée, labourée et laissée nue ensuite.
3. Enlever les mauvaises herbes, les cailloux et les résidus dans les deux parcelles et arroser chacune avec 30 litres d'eau en prenant soin de ne pas endommager la structure du sol.
4. Demander aux participants de noter et de comparer les taux d'humidité des deux parcelles.
5. Couvrir complètement la surface d'une de ces parcelles avec des résidus culturaux ou de la paille et laisser l'autre non couverte.
6. Retourner deux jours après et noter la différence d'humidité à la surface des deux parcelles. Ne pas endommager le sol et bien recouvrir le sol après ce relevé d'humidité.
7. Retourner une semaine plus tard et comparer l'humidité du sol des deux parcelles.

Questions pour faciliter la discussion:

Pour quels types de sols et de cultures de la région ces pratiques sont-elles appropriées et faisables?

EXERCICE 12: MAXIMISER LA COUVERTURE DU SOL POUR AUGMENTER L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE**Objectif:**

Démontrer que les résidus cultureux ou le paillage à la surface du sol peuvent augmenter l'activité biologique.

Durée:

1 heure

Matériel nécessaire:

Houes ou pioches, feuilles de papier ou de plastique.

Procédure:

1. Juste après les pluies, quand les sols sont encore humides, demander aux agriculteurs d'examiner le sol sous paillages ou résidus et de chercher les pores larges visibles, par exemple ceux qui ont été faits par les organismes du sol.
2. Creuser une zone de 30 x 30 x 30 cm avec une houe ou une pioche. Placer chaque couche de sol ou de paille de 5-10 cm d'épaisseur sur une feuille de papier ou de plastique et noter le nombre de différents organismes qui y sont présents, comme vers de terre, fourmis, termites, millepattes, etc.
3. Répéter la même expérience pour une zone environnante non cultivée et non paillée.

Questions pour faciliter la discussion :

Quels sont les organismes que l'on peut observer?

Comment leur activité peut-elle affecter le sol (aération, incorporation de la matière organique, fourniture de nutriments)?

A quoi ressemblerait le sol sans ces organismes?

EXERCICE 13: CALCULS DES BÉNÉFICES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE, DES RESTES CULTURAUX ET DES APPORTS EXTERNES DE RÉSIDUS**Objectif:**

Présenter la procédure de calcul de la valeur des nutriments contenus dans la matière organique.

Durée: 1 heure

Matériel nécessaire:

Prix des fertilisants, les données sur la composition en nutriments du matériel végétal, des déchets culturels et autres (voir Appendice 6 annexe 2), une calculatrice, du papier et des marqueurs.

Procédure:

1. Calculer la valeur de l'azote dans les matériaux locaux disponibles, en terme de prix de l'urée qui pourrait fournir la même quantité d'azote (utiliser les unités familières aux agriculteurs).

Exemple:

1 sac (50 kg) d'urée coûte \$EU10

L'urée contient 46% d'azote (donc, 100 kg d'urée contiennent 46 kg d'azote)

1 sac d'urée contient $0,46 \times 50 \text{ kg} = 23 \text{ kg}$ d'azote

Donc, 23 kg d'azote coûtent \$EU10 et

1 kg d'azote coûte \$EU0,43

6 tonnes de fumier de bétail contiennent l'équivalent de 36 kg d'azote

(voir appendice 6, annexe 2)

Comparé à l'azote contenu dans l'urée (1 kg d'azote coûte \$EU0,43)

36 kg d'azote coûtent $36 \times \$EU 0,43 = \$EU15,5$

Donc, 6 tonnes de fumier coûtent \$EU15,5 ou sont équivalentes à 78 kg d'urée, soit 1,5 sac.

2. Des calculs similaires sont possibles pour le phosphore et le potassium.
3. Présenter aux participants la teneur en nutriments de quelques matériaux végétaux et des résidus externes à l'exploitation. Comparer ces teneurs aux nutriments nécessaires pour les cultures de maïs produisant 2 tonnes/ha de grain.

Questions pour faciliter la discussion:

Quelles sont les matières organiques de la région qu'on pourrait avantageusement appliquer aux sols?

Que se passe-t-il si on brûle les résidus?

Quel sera le coût de leur remplacement?

EXERCICE 14: MAXIMISER LES APPORTS DE MATIÈRES ORGANIQUES**Objectif:**

Discuter des pratiques agricoles qui augmentent les réserves de matières organiques et leurs apports aux systèmes agricoles.

Durée: 2 heures

Matériel nécessaire: Feuilles de papier et des marqueurs.

Procédure:

1. Constituer des groupes de 3-5 participants.
2. Demander à chaque groupe de considérer les différents moyens d'augmenter les quantités de matières organiques à utiliser en agriculture, et en particulier, comment réduire l'usage des résidus agricoles et du fumier comme combustible et fourrage afin de les utiliser dans les champs.
3. Si la pratique locale est de brûler les résidus agricoles lors de la préparation du sol, demander aux agriculteurs de considérer les nutriments qui sont perdus par cette pratique.
4. Accorder une heure de discussion sur le sujet et demander à chaque groupe de désigner un rapporteur pour présenter les observations aux autres pour le débat.
5. Accorder une heure de discussion générale sur les méthodes faisables et pratiques pour augmenter les réserves et la production de matières organiques pour le principal système agricole.

Questions pour faciliter la discussion:

Quels sont les matériaux organiques qu'on peut trouver dans l'exploitation agricole?

Sont-ils couramment utilisés comme combustible, comme fourrage ou autre usage qui ne soit pas comme fertilisants?

Y a-t-il d'autres sources de combustible ou de fourrage qu'on peut utiliser à la place des restes culturaux?

Y a-t-il des matières organiques disponibles dans l'exploitation agricole, non couramment utilisés, mais qui sont des sources de nutriments et de matières organiques?

Y a-t-il des matériaux organiques qu'on peut obtenir à l'extérieur de l'exploitation agricole (herbes, litières de forêt, etc.)?

EXERCICE 15: OBSERVATIONS DES LÉGUMINEUSES ET DE LEURS NODULES

Objectif:

Apprendre à détecter la transformation de l'azote atmosphérique par les légumineuses en azote utilisable par des plantes.

Durée: 1 heure

Matériel nécessaire : Echantillons de légumineuses locales (de préférence en floraison) avec leurs racines et leurs nodules intacts, un petit couteau.

Procédure:

1. Montrer la présence de nodules sur les racines des échantillons récoltés.
2. Insister sur la nécessité de récolter soigneusement les racines pour que les nodules ne tombent pas ou ne restent pas dans le sol. Il est conseillé de creuser tout autour de la plante avant d'extraire les racines. Enlever soigneusement le sol sur les racines et, si nécessaire, les laver à l'eau.
3. Montrer comment ouvrir un nodule avec un petit couteau pour constater si les nodules sont en train de fixer activement l'azote.

Questions pour faciliter la discussion:

Quelles sont les cultures ou légumineuses que l'on peut introduire dans le système agricole pour augmenter les réserves d'azote?

Quels sont les types de systèmes agricoles (par exemple engrais verts, couverture végétale, cultures en bandes, cultures intercalaires) qui peuvent promouvoir la fixation d'azote?

EXERCICE 16: EFFETS BÉNÉFIQUES DES LÉGUMINEUSES SUR UNE CULTURE DE GRAMINÉES**Objectif:**

Démontrer que les graminées ont une meilleure performance si cultivées après les légumineuses dans un sol déficitaire en azote.

Durée: 1 heure

Matériel nécessaire: Guide de détermination, si possible en couleur, des symptômes foliaires de déficience en azote.

Procédure:

1. Sélectionner un sol déficient en N portant une culture de graminées, et dont une partie portait une culture de légumineuse pendant la saison précédente (zone traitée), et l'autre une culture non-légumineuse ou laissée sous jachère (zone témoin). À part cette différence, les 2 parties doivent avoir été gérées de la même façon.
2. Visiter le site sur lequel la graminée est en floraison ou à un stade de croissance avancé.
3. Demander aux participants d'observer la moindre différence dans la couleur du feuillage entre la zone traitée et la zone témoin.
4. Encourager les participants à chercher les signes évidents de déficience en azote dans la zone témoin en utilisant les symptômes foliaires de déficience donnés en annexe 6.
5. Initier une discussion sur les avantages, les inconvénients et la faisabilité de semer les légumineuses avant les graminées dans le système agricole actuel.

Questions pour faciliter la discussion:

Quelles sont les cultures qui montrent des symptômes foliaires de déficiences en N?

Observe-t-on un changement de couleur foliaire quand la culture vient après une culture de légumineuse?

Comment cette couleur change-t-elle, en comparaison à ce qu'on observe lorsqu'on applique un engrais azoté sur la même culture?

EXERCICE 17: CALCUL DES QUANTITÉS NÉCESSAIRES DE NUTRIMENTS FOURNIS À L'AIDE D'UN FERTILISANT MINÉRAL

Objectif:

Comprendre comment calculer les taux de nutriments à appliquer sous forme d'engrais minéraux, pour relever le déficit en nutriments provenant des sources organiques et de la fixation d'azote.

Durée: 1 heure 30

Matériel nécessaire:

Des données sur les nutriments nécessaires aux systèmes culturaux et aux types de sols et les teneurs de nutriments dans les matériaux organiques utilisés dans la région; du papier, des marqueurs et une calculatrice.

Procédure:

1. Expliquer comment calculer les fertilisants minéraux nécessaires à un système cultural de haricot inoculé auquel on a appliqué 2 tonnes/ha de fumier de bétail, suivi d'une culture de riz à laquelle on a appliqué 4 tonnes/ha de fumier de bétail.
2. Les nutriments recommandés pour le haricot inoculé sont 20kg N/ha+13 kg/ha P+0kg K/ha, et pour le riz: 120kg N/ha+13kg P/ha+50kg K/ha.
3. Insérer dans la table les besoins recommandés en nutriments pour le haricot et le riz.
4. Calculer les nutriments contenus dans 2 tonnes/ha de fumier de bétail appliqués aux haricots et dans 4 tonnes appliqués au riz en utilisant la composition donnée dans l'appendice 6, annexe 2 et les insérer dans le tableau.
5. Inclure la contribution de l'azote résiduel de 20kg/ha provenant du haricot et consommé par la culture suivante de riz, grâce à la fixation d'azote par le haricot inoculé.

Exemple						
	Haricot			Riz		
	N	P	K	N	P	K
Quantités recommandées						
Nutriments appliqués avec le fumier						
Azote fixé par le haricot						
Nutriments* à appliquer sous forme d'engrais						

* Les nutriments dans le fertilisant sont habituellement exprimés en % de N, P2O5 et K2O

6. Calculer les déficits de nutriments pour chaque culture en soustrayant les quantités de nutriments contenus dans le fumier de bétail + la contribution de l'azote résiduel venant du haricot, à partir des besoins recommandés en nutriments. Le reste représente les quantités de nutriments à appliquer comme fertilisants minéraux.

Questions pour faciliter la discussion:

Quels sont les types de matériaux disponibles dans la région qui peuvent être des sources externes de nutriments pour les plantes?

EXERCICE 18: MÉTHODE AGRICOLE ADÉQUATE**Objectif:**

Discuter comment les différentes propriétés du sol, de pentes, et les différentes positions du paysage déterminent la convenance d'une parcelle à des systèmes agricoles particuliers et des cultures particulières.

Durée: 2 heures

Matériel: Feuilles de papier et marqueurs.

Procédure:

1. Constituer des groupes de 3-5 participants au maximum.
2. Demander à chaque groupe d'expliquer pourquoi certaines cultures poussent mieux que d'autres sur certains sols. Leur demander d'identifier les besoins de ces cultures pour une bonne croissance et comment ces besoins varient d'un champ à l'autre.
3. Accorder une heure aux groupes pour discuter du sujet et désigner un rapporteur pour présenter les conclusions du groupe aux autres pour commentaires.
4. Accorder une heure pour une discussion générale sur les besoins optimum du sol pour des cultures particulières et comment appliquer les méthodes agricoles les plus appropriées à une pente ou un type de sol.

Questions pour faciliter la discussion:

Pourquoi des cultures différentes poussent mieux sur des types différents de sol?

Quelles sont les cultures qui poussent mieux sur de nombreux types de sols différents et quelles sont celles qui exigent des besoins spécifiques?

Quel effet la pente a-t-elle sur le choix d'une pratique culturale?

Quels sont les autres facteurs à tenir en compte pour planifier une pratique agricole?

EXERCICE 19: MAÎTRISER LES FACTEURS LIMITANTS

Objectif: Apprécier si les rendements sont déterminés par le facteur de production le plus limitant.

Durée: 1-2 heures

Matériel: Schémas de fûts cassés, du papier et des marqueurs.

Procédure:

1. Demander aux agriculteurs d'énumérer les 10 facteurs les plus importants qui limitent le rendement d'une culture ou d'un système cultural.
2. Demander aux participants de classer ces facteurs par ordre d'importance.
3. Faire entrer ces facteurs dans le fût cassé, un facteur par planche, comme montré dans la figure ci-dessous. Faire correspondre le facteur le plus limitant à la planche la plus courte, le 2ème facteur le plus limitant à la deuxième planche la plus courte, etc.
4. Discuter sur l'influence de ces facteurs sur le rendement agricole.
5. Sur base de ces facteurs limitants rangés par ordre de priorité, discuter sur la séquence des activités à mener pour améliorer les rendements du principal système agricole.

Questions pour faciliter la discussion:

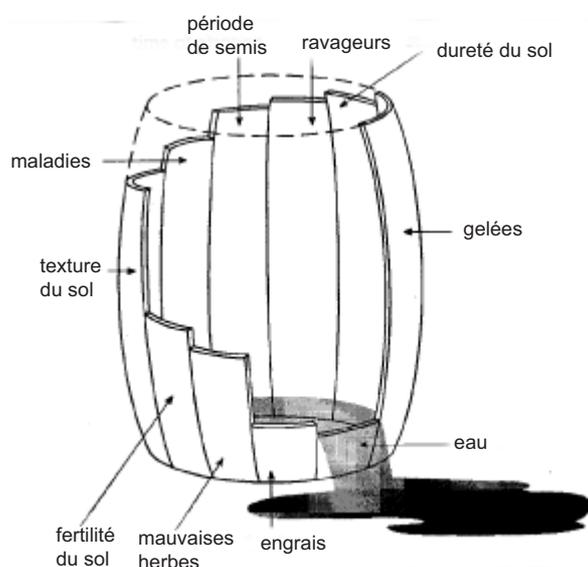
Quels sont les facteurs qui limitent les rendements?

Quel est le facteur le plus limitant?

Si ce facteur doit être maîtrisé (par exemple irrigation pour maîtriser le manque d'eau), quels sont les autres facteurs à combattre et dans quel ordre?

Quel pourrait être l'effet de la maîtrise d'un facteur limitant sur les rendements (par exemple application de fertilisants pour maîtriser la déficience en nutriments) si le facteur le plus limitant (par exemple insuffisance de l'humidité du sol) n'est pas maîtrisé?

Schéma d'un fût cassé pouvant servir aux participants au champs-école lors de la discussion sur les facteurs limitants. Chaque facteur est introduit dans une planche du fût tel que montré par les flèches. Le facteur le plus limitant est introduit dans la planche la plus courte, le deuxième facteur le plus limitant dans la deuxième planche la plus courte, et ainsi de suite pour tous les autres facteurs suivant leur degré de limitation.



EXERCICE 20: RÉALISER LES TRAVAUX AGRICOLES PARALLÈLEMENT AUX COURBES DE NIVEAUX**Objectif :**

Apprécier la nécessité de mener toutes les opérations, sur un terrain en pente, suivant les courbes de niveau.

Durée: 1 heure 30

Matériel nécessaire : Des pierres ou des piquets, un arrosoir, des houes, des machettes, une source d'eau.

Procédure:

1. Choisir un terrain d'une pente de 10-15% récemment cultivé, mais qui est actuellement sans cultures ni résidus culturaux.
2. Avec des piquets, délimiter deux parcelles (A et B) de (3 x 3) m séparées de 3 m l'une de l'autre.
3. Enlever toutes les pierres ou les résidus végétaux sur les deux parcelles et aplatir le sol de surface avec une planche pour en éliminer les irrégularités.
4. Placer les pierres ou des piquets sur les côtés supérieur et inférieur de la parcelle A pour marquer la délimitation de 7 rangées imaginaires de maïs, espacées de 50 cm les unes des autres dans la direction de la pente. Faire la même chose pour la parcelle B, mais dans la direction perpendiculaire à la pente.
5. Demander aux participants d'imaginer 7 rangées de maïs dans la direction de la pente le long des lignes indiquées par les piquets dans la parcelle A, et à chacun des 7 participants, de passer en bas de la parcelle comme s'il semait une des 7 rangées avec du maïs. Trois ou 4 passages devront être faits pour simuler l'application d'un fertilisant ou d'un herbicide.
6. Demander aux participants d'imaginer 7 rangées de maïs en direction perpendiculaire à la pente le long des lignes indiquées par les piquets dans la parcelle B et de répéter les mêmes mouvements que dans la parcelle A.
7. Observer l'orientation, la taille et la capacité de stockage des rigoles et les dépressions dans la parcelle A et B, et discuter des effets probables sur le ruissellement.
8. Avec l'arrosoir, verser de l'eau en haut de chaque parcelle et observer l'influence des dépressions et des rigoles formées par le labour sur le degré et la vitesse du ruissellement. Noter aussi toute la turbidité du ruissellement qui indique la quantité de sol érodée.

EXERCICE 21: GUIDE DE TERRAIN POUR UNE ÉTUDE SIMPLIFIÉE DE LA TEXTURE DU SOL**Matériel nécessaire:**

Un bidon d'eau, une surface plate et dure, comme un métal ou une planche en bois, et une règle graduée.

Procédure:

Mettre de l'eau dans un volume de sol d'environ 2,5 x 2,5 x 2,5 cm jusqu'à le rendre suffisamment humide et déformable. Presser le sol entre les doigts pour casser les particules dures, enlever les cailloux, les racines jusqu'à obtenir une masse molle et déformable.

1. Si le sol semble graveleux et sans cohésion (par exemple ne tient pas ensemble), la texture du sol est **très légère**.
2. Former une boule avec le sol, dans laquelle on enfonce le pouce pour la transformer en une sorte de coupe.
S'il est impossible de former la boule de sol, la texture est **très légère**.
Si une boule peut être formée et que la coupe garde sa forme, passer à 3.
3. Rouler la boule de terre humidifiée entre les mains, ensuite sur une surface dure et plane pour former un ruban, épais comme un crayon et long de 20-23 cm.
S'il est impossible de former un ruban court, la texture du sol est **légère**.
Si un long ruban est formé, passer à 4.
4. Former un cercle avec le ruban.
Si le cercle formé présente des fissures, la texture est **moyenne**.
Si ce cercle formé n'est pas fissuré et que le sol est très collant, la texture est **lourde**.

EXERCICE 22: COMPARAISON DE LA CAPACITÉ DE RÉTENTION D'EAU DE L'ARGILE, DU SABLE ET DE LA MATIÈRE ORGANIQUE**Préparation préliminaire:**

Collecter des quantités d'au moins 0,5 kg des matériaux suivants et les laisser sécher au soleil pendant au moins 2 jours:

- I. Argile du sous-sol pauvre en matières organiques, c.à.d. n'a pas de couleur sombre.
- II. Du sable pur, provenant par exemple du lit d'une rivière.
- III. Du compost ou du fumier bien décomposé.

Durée : 1-2 heures

Matériel nécessaire: Une balance d'une précision d'au moins 50 g, 4 chiffons secs ou 4 sacs en jute d'une capacité de 1-3 kg, un tonneau ou un réservoir rempli d'eau.

Procédure:

1. Peser séparément 0,5 kg de chaque matériel et le placer séparément dans des sacs en jute ou en chiffons.
2. Immerger en même temps les 4 sacs dans le réservoir d'eau pendant 10 minutes.
3. Retirer ces sacs de l'eau, les étaler sur une surface sèche bien nettoyée et attendre l'écoulement de l'eau excédentaire.
4. Peser chacun de ces sacs et noter leurs poids.
5. Calculer la différence entre le poids initial et le poids final de chaque matériel, cette différence de poids est égale à la quantité d'eau absorbée.
6. Comparer les poids d'eau retenue par les 4 matériaux et discuter le comportement des sols sableux, argileux, caillouteux ou riches en matières organiques sur la croissance des plantes, surtout dans les zones où des périodes sèches sont fréquentes.

EXERCICE 23: COMPARAISON DES DEGRÉS D'INFILTRATION DE L'EAU SOUS UNE FÔRET ET SOUS UNE CULTURE ANNUELLE**Objectif:**

Démontrer la différence d'infiltration de l'eau qu'il y a entre un sol de forêt et un sol annuellement cultivé depuis des années.

Matériel nécessaire:

Des houes, 3 seaux de 5 litres, une source d'eau, une montre, du papier, des marqueurs et une machette.

Procédure:

1. Dans chaque site, prélever une petite quantité de sous-sol et préparer une petite digue circulaire compactée, de 30 cm de diamètre, 15 cm de haut et 15 cm de base sans perturber le sol de surface. Maintenir une bonne jonction sans rupture, entre la terre de la digue et la surface du sol.
2. Verser doucement 5 litres d'eau dans la petite digue et noter le temps d'infiltration complète. Verser tous les 5 litres d'eau au fur et à mesure que l'eau s'infiltré.
3. Noter le temps quand le dernier litre d'eau est infiltré dans le sol. L'infiltration sera probablement beaucoup plus rapide dans le sol de forêt.
4. Enlever les résidus et la litière dans le sol de surface et examiner attentivement les biopores (créés par les vers de terres et les autres insectes). Creuser la surface du sol pour observer sa porosité.
5. Initier une discussion sur les raisons de cette différence de temps nécessaire pour une infiltration complète de l'eau dans le sol de forêt et dans le sol annuellement cultivé et son impact sur l'érosion, la perte de précipitations, de nutriments et de fertilisants par le ruissellement et le drainage.

ESSAI 1. LE SEMIS DIRECT ET LES RÉSIDUS CULTURAUX: TECHNIQUES UTILISÉES POUR RÉDUIRE L'ÉROSION ET AUGMENTER L'HUMIDITÉ DU SOL, L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE ET LES RENDEMENTS AGRICOLES SUR LES SOLS EN PENTES

Matériel nécessaire : Les machines agricoles et les intrants nécessaires pour la préparation du sol, le semis, le désherbage, la récolte et l'application des fertilisants, du fumier, des herbicides et pesticides. Des piquets, des résidus culturaux, une balance, un carnet.

Procédure:

1. Sélectionner un champ de maïs prêt pour la récolte, dont le sol est représentatif de la région et exposé aux risques de perte de nutriments et d'humidité par ruissellement et évaporation, et qui connaît une faible activité biologique et une faible productivité agricole.
2. Avec des piquets, délimiter deux parcelles de 20 m de large dans la direction de la plus grande pente du terrain.
3. Récolter le maïs suivant la méthode normale. Si cela se fait par enlèvement de tous les résidus, suivre cette pratique pour la parcelle témoin, mais laisser tous les résidus sur la parcelle traitée.
4. Préparer la terre de la parcelle témoin selon la méthode habituelle. Bien couvrir la parcelle traitée avec des résidus culturaux et appliquer un herbicide pour contrôler les mauvaises herbes.
5. Semer tout le champ avec du haricot.
6. Contrôler les mauvaises herbes selon la pratique habituelle sur la parcelle témoin et appliquer des herbicides sur la parcelle traitée. Toute autre pratique de gestion, telle que la fertilisation, le fumage et l'application des pesticides, peuvent être les mêmes sur la parcelle témoin et sur la parcelle traitée.
7. A des intervalles de 2–4 semaines pendant la croissance du maïs et spécialement pendant les périodes sèches, comparer la zone traitée et la zone non traitée en utilisant les indicateurs suivants:
 - aspect des cultures (couleur du feuillage et flétrissement des plantes);
 - évidence de l'érosion du sol et du ruissellement (rigoles, piédestaux, racines exposées);
 - activité biologique (présence d'organismes du sol, vers de terre);
 - humidité du sol (toucher et couleur du sol).
8. Récolter séparément les deux parcelles et noter les rendements agricoles.
9. Evaluer la solution possible en comparant les indicateurs d'érosion, d'humidité du sol, de l'activité biologique, des rendements et des profits agricoles (marge brute) pour les deux parcelles.

ESSAI 2: COUVERTURE DU SOL AVEC UNE LÉGUMINEUSE POUR AUGMENTER L'AZOTE DU SOL ET LES RENDEMENTS AGRICOLES

On suppose deux saisons culturales par année: la légumineuse est semée pendant la 1ère saison, ensuite elle est enlevée en tant que culture de couverture au stade du remplissage des gousses pour semer une graminée au début de la deuxième saison.

Matériel nécessaire:

Machines, instruments et intrants agricoles nécessaires pour préparer le sol, pour semer, fertiliser, fumer, désherber et contrôler les maladies et les ravageurs des graines et des légumineuses; des machettes ou un herbicide de contact, des piquets et une balance.

Procédure:

1. Sélectionner un champ qui soit représentatif des sols, des cultures et des systèmes de gestion agricole de la région, et qui est connu pour ses problèmes de déficience en azote.
2. Préparer le sol selon la pratique normale et délimiter 2 parcelles voisines, une traitée et une autre témoin de 200 m² (10x20m) chacune, dans une partie représentative du champ.
3. Semer la légumineuse dans la parcelle traitée suivant les écartements recommandés et la parcelle témoin est semée avec une non légumineuse comme pendant la saison précédente.
4. Si le sol est déficient en P, ajouter un fertilisant phosphaté à la dose recommandée au moment du semis pour ne pas gêner la fixation d'azote. Appliquer la fertilisation habituelle, le fumage, le désherbage, les pratiques de contrôle des maladies et des ravageurs.
5. Au début du remplissage des gousses, observer le degré de nodulation. Eliminer ensuite la culture par un herbicide de contact ou avec une machette ou par fauchage.
6. Récolter la parcelle témoin et le reste du champ selon les pratiques locales.
7. Préparer la parcelle témoin et le reste du champ pour la culture suivante de graminée par les méthodes locales. Laisser les résidus culturaux sur la parcelle traitée.
8. Semer les deux parcelles et le reste du champ avec une graminée qui répond bien à l'Azote. Un semoir sans labour sera probablement nécessaire pour la parcelle traitée.
9. Appliquer les méthodes habituelles de fertilisation, de fumure, de contrôle des maladies et des ravageurs sur tout le champ. Le désherbage de la parcelle traitée sera fait uniquement avec un herbicide alors que d'autres méthodes sont possibles sur la parcelle témoin et le reste du champ.
10. Durant la croissance de la culture, visiter le site toutes les 2-4 semaines et noter les indicateurs suivants sur les deux parcelles:
 - aspect des cultures (couleur du feuillage, symptômes de déficience en N);
 - croissance de la culture (hauteur, vigueur).
11. Récolter et noter les rendements sur les deux parcelles.
12. Evaluer la couverture végétale de la légumineuse en terme de rendement, de profit (marge brute) et de réserves en N. Discuter des avantages et des inconvénients de cette pratique et sur quels types de sols et de cultures elle est faisable.

Note 1: On suppose qu'on applique de faibles quantités d'engrais azotés; si le niveau optimum d'azote est atteint dans la parcelle traitée, l'engrais azoté n'est appliqué qu'à 40 kg N/ha en fonction de la quantité d'azote que la légumineuse peut fixer et libérer pour la culture suivante.

Note 2: Une coloration vert-sombre du feuillage dans la parcelle traitée peut être un indicateur d'un excès d'azote dans le sol. Il faut alors encourager les participants à identifier les symptômes de déficience en N dans la parcelle témoin en utilisant le guide de détermination de ces symptômes donné en annexe 6.

ESSAI 3: ASSOCIATION COMPOST-FERTILISANT MINÉRAL POUR MAÎTRISER LES DÉFICIENCES EN NUTRIMENTS ET AUGMENTER LES RENDEMENTS AGRICOLES**Matériel:**

Machines, matériel et intrants agricoles pour préparer le sol, le semis, la fertilisation, la fumure, le désherbage, le contrôle de maladies et des ravageurs, un compost pour 200 m², des piquets, une balance, du papier et des marqueurs, un tableau et des craies.

Les traitements à tester sont :

- le niveau recommandé d'azote à appliquer sous forme de fertilisants minéraux (parcelle A);
- le niveau recommandé d'azote dont une partie est fournie par le fertilisant minéral et une autre partie est fournie par le compost (parcelle B);
- la non-application de fertilisant ou de compost (parcelle témoin C).

Les fertilisants potassiques et phosphatés sont appliqués comme fertilisants de fond et aux doses recommandées.

Procédure:

1. Sélectionner un champ qui est représentatif des sols, des méthodes culturales et de la gestion agricole de la région et qui est utilisé pour l'horticulture. Décider le genre de culture à semer pour l'essai.
2. Préparer la terre selon les méthodes habituelles; avec des piquets, délimiter trois parcelles, A, B, C, de 100-200 m² chacune et qui sont représentatives du sol, du système cultural et de la gestion agricole traditionnelle du champ.
3. Appliquer des fertilisants et du compost selon les doses recommandées et selon les traitements donnés ci-dessus. Suivre le calendrier agricole habituel de la région, par exemple combien d'engrais azotés minéraux on applique comme fertilisant de fond, et quelles méthodes d'application on suit, comme l'incorporation en bandes à côté des rangées de cultures.
4. Semer le champ et les trois parcelles avec la culture décidée en commun.
5. Appliquer les méthodes habituelles de contrôle de mauvaises herbes, de maladies et des ravageurs.
6. Pendant la croissance des plantes, visiter le site toutes les 2-4 semaines et noter les indicateurs suivants pour chaque parcelle:
 - l'aspect de la culture (couleur du feuillage, symptômes foliaires de déficience, hauteur de la culture, vigueur, nombre et taille des fruits).
7. Récolter séparément les parcelles et noter les rendements.
8. Evaluer les deux traitements de fertilisants/compost en comparant les rendements, l'évidence de déficience en N et les profits (marges brutes) avec ceux de la parcelle témoin.

ESSAI 4: UN LABOUR PROFOND POUR FAVORISER L'ENRACINEMENT, UNE MEILLEURE DISPONIBILITÉ DE L'EAU ET DE MEILLEURS RENDEMENTS

Matériel: Des pioches, des pelles ou des houes, des punaises, une sous-soleuse, des machines, un équipement et des intrants agricoles pour la préparation du sol, le semis, le désherbage, la récolte ainsi que pour l'application des fertilisants, du compost, des herbicides et pesticides, une balance, du papier et des marqueurs.

Procédure:

1. Sélectionner un champ avec des problèmes de disponibilité d'eau causés par un sous-sol compacté qui bloque la pénétration des racines. La morphologie, le système cultural et la gestion des sols doivent être représentatifs de la région.
2. Confirmer la présence de ce sous-sol dense en creusant une fosse pédologique dans le champ. Examiner les profils du sol et déterminer la profondeur de la couche cultivable et de la couche compactée.
3. Décider la culture à semer, elle pourrait être une culture qui est sensible au stress hydrique et qui répond bien à un labour profond du sol.
4. Avec des piquets, sélectionner et délimiter deux parcelles semblables, une traitée et une autre non traitée (témoin), d'au moins 50x20 m chacune, représentatives de tout le champ du point de vue caractéristiques du sol, système agricole et mode de gestion.
5. Si le sol de la parcelle traitée est sec ou faiblement humide, utiliser une sous-soleuse ou un matériel de labour profond pour ameublir le sous-sol; la profondeur peut aller jusqu'à 10 cm au-dessous de la couche compactée et l'espacement entre les dents peut être égal à la profondeur ou correspondre à l'espacement entre les lignes de culture.
6. Préparer tout le champ selon les méthodes agricoles habituelles et éviter des passages excessifs de tracteurs pour éviter le compactage; les meilleurs bénéfices sont probablement obtenus avec un labour minimum.
7. Semer tout le champ avec la culture choisie et appliquer les mêmes pratiques culturales: la fertilisation, la fumure, le désherbage, la gestion des maladies et des ravageurs, dans les deux parcelles.
8. Visiter le site à 2-4 semaines d'intervalle pendant la période de croissance des plantes et noter les indicateurs suivants :
 - l'aspect de la culture (degré de flétrissement pendant les périodes sèches, la hauteur et la vigueur);
 - la profondeur d'enracinement * (déterminant pendant la floraison et les périodes sèches);
 - l'humidité du sol dans et en dessous de la rizosphère (déterminant pendant la floraison et les périodes sèches).
9. Récolter séparément les deux zones et noter les rendements.
10. Évaluer le labour profond du sol en comparant la profondeur d'enracinement, l'humidité pendant les périodes sèches, les rendements et les profits (marges brutes) avec ceux de la parcelle témoin.

* Pour observer la profondeur d'enracinement, creuser un trou de 50 cm de profondeur et 1 m de long, en parallèle et près des rangées de cultures dans les deux parcelles. Comparer les profondeurs d'enracinement et l'humidité du sol au-dessus et en dessous de la couche limitante des racines dans les deux parcelles.

ESSAI 5: CHAULAGE DES SOLS ACIDES POUR RÉDUIRE LA TOXICITÉ ALUMINIQUE, AUGMENTER LA DISPONIBILITÉ DU PHOSPHORE ET DE L'EAU, FAVORISER L'ENRACINEMENT PROFOND ET AUGMENTER LES RENDEMENTS AGRICOLES

Matériel nécessaire: Des pelles, des pioches ou des houes, la chaux, des machines et des intrants agricoles pour labourer, semer, désherber, récolter, appliquer la chaux, les fertilisants, le fumier, les herbicides et les pesticides. Piquets, une balance et un carnet.

Procédure:

1. Sélectionner un champ dont le sol et les méthodes de gestion agricole sont représentatifs de la région et dans lequel la toxicité aluminique limite le développement des racines et diminue les rendements. Des analyses chimiques détaillées du sol et des recommandations sur la lutte contre la toxicité aluminique sont disponibles.
2. Consensus sur la culture à semer qui devrait être sensible à la toxicité aluminique.
3. Sélectionner et délimiter deux parcelles de 100-200 m² chacune, représentatives de tout le champ.
4. Appliquer la chaux à des doses et à la profondeur recommandées sur la parcelle traitée. La parcelle témoin n'est pas chaulée.
5. Préparer le sol suivant les méthodes habituelles et semer tout le champ, y compris les deux parcelles et y appliquer les mêmes pratiques agricoles: fertilisation, désherbage, gestion des maladies et ravageurs.
6. Visiter le site à 2-4 semaines d'intervalle et noter les indicateurs cultureux suivants:
 - le degré de flétrissement, en particulier durant la saison sèche;
 - hauteur et vigueur des plantes.
7. S'il y a des différences dans le stress hydrique des plantes entre les deux parcelles, creuser deux trous de 60 cm de profondeur et 100 cm de long, parallèlement et tout près des rangées des cultures dans les deux parcelles. Examiner les indicateurs suivants:
 - profondeur d'enracinement ;
 - santé des racines;
 - humidité du sol sous la rhizosphère.
8. Récolter séparément les deux parcelles et noter les rendements.
9. Evaluer la parcelle traitée à la chaux en comparant les caractéristiques de l'enracinement, du rendement et du profit (marge brute) avec celles de la parcelle témoin.

Note : En raison du temps, souvent long, nécessaire à la réaction complète de la chaux, il est conseillé de continuer l'enregistrement et l'évaluation pendant au moins les deux années suivantes.

ESSAI 6: DES BANDES D'HERBES ENTRE LES COURBES DE NIVEAU POUR DIMINUER LE RUISSELLEMENT ET LES PERTES DE SOL

Matériel nécessaire: Des machines, un équipement et des intrants agricoles pour labourer, semer, désherber, récolter et pour appliquer les fertilisants, le fumier, les herbicides et les pesticides. Des piquets, un appareil pour délimiter les courbes de niveau, des semences d'herbes et une balance.

Procédure:

1. Sélectionner un champ dont le degré et la longueur de la pente, l'historique du système cultural et de gestion agricole sont représentatifs de la région et où les problèmes d'érosion par ruissellement sont fréquents.
2. Avant le début des pluies, sélectionner et délimiter deux parcelles d'au moins 20 m de large dans la direction de la pente, du haut vers le bas du champ.
3. Délimiter les courbes de niveau dans la parcelle traitée. Planter des herbes sur des bandes et suivant des intervalles recommandés en fonction de la pente. En absence de normes locales, respecter les écartements de 20 m entre les rangées d'herbes.
4. Planter trois rangées d'herbes parallèlement à la courbe de niveau et respecter les écartements locaux, sinon planter les herbes à 25 cm entre les rangées et 5-10 cm dans les rangées. L'herbe peut être plantée au début de la saison des pluies ou après la récolte d'une culture associée si l'humidité est encore suffisante.
5. Sarcler les bandes d'herbes 21-30 jours après le semis et une deuxième fois après le même intervalle si c'est nécessaire, en même temps que le désherbage.
6. Semer une culture annuelle dans les deux parcelles et appliquer les mêmes méthodes de fertilisation, de fumage, de sarclage, de gestion des maladies et des ravageurs dans tout le champ.
7. Après le bon établissement des herbes (ce qui peut durer toute une saison culturale), observer les parcelles à intervalles de 2-4 semaines durant la saison pluvieuse, et spécialement après de grandes pluies.
8. Noter les indicateurs suivants:
 - les rigoles de ruissellement;
 - les piédestaux à la surface du sol;
 - les dépôts de sédiments, spécialement en haut de la pente;
 - les rendements agricoles.
9. Récolter séparément les deux parcelles après chaque saison et noter les rendements.
10. Evaluer l'effet des bandes d'herbes en comparant les pertes de terres (en termes descriptifs) et les rendements entre les deux parcelles après chaque saison. Evaluer les avantages, les inconvénients et la faisabilité des bandes d'herbes sur le contrôle des pertes de terres et déterminer les pentes, les types de sols et les systèmes agricoles pour lesquels cette pratique pourrait être la mieux adaptée.

Note : Pour la fiabilité des données, il est nécessaire de poursuivre les observations pendant deux saisons après l'installation des barrières herbeuses.

ESSAI 7: BILLONNAGE POUR RÉDUIRE L'ENGORGEMENT ET AUGMENTER LES RÉSERVES D'OXYGÈNE DANS LE SOL ET LES RENDEMENTS AGRICOLES

Matériaux nécessaires: Machines, équipements et les intrants agricoles pour la préparation du sol, l'aménagement des billons, le semis, la récolte, la fumure, la fertilisation, le sarclage, le contrôle des maladies et des ravageurs; des piquets, une balance à suspension et un carnet.

Procédure:

1. Sélectionner un champ faiblement drainé qui est représentatif des champs mal drainés de la région, du point de vue type de sol, degré d'engorgement, historique de la gestion et systèmes agricoles et où le billonnage est faisable.
2. Préparer le terrain selon les méthodes locales et choisir la culture appropriée.
3. Délimiter 3 parcelles A, B, C, d'au moins (3x2) m de dimensions. Préciser que ces dimensions dépendent de la hauteur du billon qui dépend, à son tour, de la culture à y mettre, de l'écartement et du type de sol.
4. Aménager des billons de même largeur et séparés par des sillons, mais dont la hauteur au-dessus de la surface du sol est de 60 cm dans la parcelle A, 40 cm dans B et 20 cm dans C.
5. Semer les trois parcelles au même moment et appliquer les mêmes pratiques de fertilisation, fumage, sarclage, gestion des maladies et des ravageurs.
6. Observer la performance de la culture, le degré d'engorgement et le développement racinaire, et, à 2-4 semaines d'intervalle, noter les indicateurs ci-dessous:
 - profondeur du niveau de l'eau à partir du sommet du billon;
 - zone d'enracinement maximum;
 - profondeur maximum d'enracinement;
 - vigueur des plantes.
7. Récolter séparément les trois parcelles et noter les rendements.
8. Évaluer l'influence de la hauteur des billons sur la profondeur du niveau de l'eau, sur le développement des racines, la vigueur des plantes et les rendements. Déterminer les raisons de ces différences, les avantages, les inconvénients et la faisabilité du billonnage pour diminuer l'étendue et la durée de l'engorgement dans ce sol. Considérer des méthodes alternatives (par exemple drainage) pouvant créer une zone d'enracinement profond et non gorgée d'eau.

Annexe 2

Matériel de référence sur la gestion intégrée des sols et des nutriments dans le cadre des champs-écoles des agriculteurs

LES FONCTIONS DU SOL RELATIVES AU PAYSAGE ET AU TYPE DE SOL

Une tranche de sol est appelée profil du sol et chaque couche du profil est appelée horizon. Les changements de couleur et d'apparence générale du sol peuvent être utilisés pour déterminer les différents horizons du sol. Beaucoup de sols ont 3 horizons majeurs: le sol de surface, le sous-sol et le matériau parental.

Horizon A: Sol de surface: couleur noire, taux élevé de matière organique, grande activité biologique, racines abondantes.

Horizon B: Sous-sol: sous la profondeur de labour, couleur rougeâtre ou brune, plus d'argile, quantité moyenne de racines. Plus profondément, couleur jaunâtre, moins d'argile.

Horizon C: Matériau parental: une masse légèrement rocheuse à partir de laquelle se développe le sol, pas d'activité biologique, peu de racines.

L'objectif de l'approche champ-école des agriculteurs pour la gestion intégrée des sols et des nutriments, n'est pas d'enseigner aux agriculteurs comment décrire les profils des sols de manière précise et systématique en utilisant une terminologie standard, mais c'est de pouvoir constater facilement les grandes caractéristiques de la méthode culturale favorable à la croissance des plantes. Les descriptions serviront à différencier les sites et les horizons. Pour l'horizon de surface et le sous-sol, les points suivants peuvent être discutés :

- **la profondeur d'enracinement:** c'est la profondeur au-delà de laquelle les racines des cultures et des arbres sont fortement stoppées. Si le sol est peu profond, les racines ne peuvent pas l'explorer et leur développement n'est pas optimal, donc, les réserves d'eau et de nutriments seront limitées. La profondeur du sol est déterminée par les couches compactées, la roche dure ou le niveau de la nappe d'eau. Si le niveau de la nappe est haut, les racines ne peuvent pas s'enfoncer profondément par manque d'oxygène dans les couches profondes. L'on peut demander aux agriculteurs de citer les cultures qui ont besoin de sols profonds et celles qui peuvent bien pousser sur des sols peu profonds;
- **la couleur:** elle donne l'information sur la matière organique, l'activité biologique et la fertilité. Le drainage est aussi indiqué par la couleur, mais d'habitude par la couleur du sous-sol (voir tableaux 1 et 2);
- **l'humidité du sol:** elle varie avec les types de sol, le climat et le taux d'humus. Les sols avec des pores larges peuvent retenir moins d'eau que ceux avec de plus petits pores. Des termes comme «très mouillé, mouillé, humide, sec ou très sec» peuvent décrire l'humidité du sol;
- **la texture:** elle se réfère au mélange de sable, d'argile et de limon dans le sol. Si le mélange contient plus de sable, le sol est léger et s'il contient plus d'argile, il devient plus lourd. Le

tableau 3 (et la section sur l'évaluation simplifiée de la texture du sol en annexe I) donnent des observations simples pour l'étude de la texture;

- **la dureté:** elle s'observe en creusant un trou dans le sol. Elle détermine les conditions de labour et de germination des semences ainsi que la facilité de pénétration des racines dans le sol;
- **les pores et les fissures:** elles traduisent la présence de vers de terre ou d'autres organismes dans le sol ou sont le résultat des processus naturels. Les agriculteurs devraient être amenés à déterminer l'espace du sol nécessaire pour un enracinement profond. Les pores et les fissures sont aussi importants pour drainer l'eau et les fertilisants solubles de l'horizon de surface aux couches profondes. Une discussion peut se faire sur les horizons sans ou avec très peu de pores;
- **les cailloux:** ils occupent des espaces du sol qui ne sont plus accessibles aux racines. Ils ne permettent pas non plus un échange de nutriments et d'eau au niveau des racines et rendent difficiles les conditions de labour;
- **les racines:** elles indiquent clairement si le sol est convenable aux cultures ou pas. Les termes comme «abondant, beaucoup, peu et très peu» sont à utiliser pour décrire la présence des racines dans le sol.

Les agriculteurs ne sont probablement pas conscients de la signification des colorations ou des taches légèrement grises, gris-verdâtres ou gris-bleuâtres du sol. On devra donc leur expliquer qu'elles indiquent la saturation d'eau et donc l'insuffisance d'oxygène dans le sol. Cette saturation peut être due à la petite taille des pores qui bloque la circulation de l'eau et de l'air dans le sol. Elles peuvent indiquer également la présence d'une nappe d'eau dans les environs.

On peut demander aux agriculteurs de trouver les origines de cette saturation d'eau dans le sol pour voir si elle est due à la nappe qui coule latéralement et lentement vers une rivière ou un fleuve, ou à de grandes quantités d'eau qui coulent des couches plus hautes et s'accumulent dans les couches plus basses, ou encore aux horizons plus argileux ou cimentés qui retiennent l'eau de pluie et l'empêche d'entrer dans les pores ou dans d'autres canaux larges. Cette discussion sera particulièrement utile là où des sols plats saturés d'eau, manquent d'oxygène dans leur couche supérieur (1 m), ce qui affecte la croissance des cultures

TABLEAU 1

La couleur du sol en relation avec les fonctions du sol

	Sombre (gris-sombre, brun à noir)	Moyennement sombre (brun à jaune-brun)	Clair (brun-pâle, jaune)
Matière organique	Elevée	Moyenne	Faible
Facteur d'érosion	Faible	Moyen	Elevé
Aération	Elevée	Moyenne	Faible
Azote disponible	Elevé	Moyen	Faible
Fertilité	Elevée	Moyenne	Faible

TABLEAU 2

La couleur du sol en relation avec le drainage

Condition de drainage	Couleur du sous-sol
Sols gorgés d'eau, faible aération.	Gris-terne (dans les zones de faibles précipitations).
Sols bien drainés.	Jaune, rouge-brun, noir (sols de forêt).
Sols faiblement drainés.	Taches grises (en zones humides).

TABLEAU 3
Détermination de la texture du sol par des tests de terrain*

Tests de terrain	Très légère (sableux à sablo-limoneux)	Légère (sablo-limoneux à limoneux)	Moyenne** (limoneux à sablo-argileux)	Lourde (argileux)
Manque de cohésion	X			
Sensation de gravillons	X	X		
Façonné en coupe		X	X	X
Ne forme pas de ruban, ou forme un ruban court		X		
Forme un long ruban			X	X
Le ruban forme de petits cercles avec des cassures			X	
Le ruban forme de petits cercles sans cassures				X
Le sol est collant			X	
Le sol est très collant				X

* Les textures conventionnelles sont indiquées entre parenthèses.

** Le limon peut parfois être classé comme à texture légère et parfois comme moyenne, selon son contenu en argile

On attirera l'attention des agriculteurs sur la présence de différents profils dans le sol. Pour des terres en pentes, le sol du bas de la pente peut être plus profond avec un horizon de surface plus noir, ou peut avoir un horizon plus caillouteux que le haut de la pente. Initier une discussion sur les causes de ces différences. Cette discussion pourrait porter sur l'érosion du sol, les moyens du transport du sol du haut jusqu'au bas de la pente.

LES NUTRIMENTS, LES FLUX DE NUTRIMENTS ET LES SYSTÈMES AGRICOLES

C'est un des thèmes abordés par les CEA sur lequel on doit insister largement lors de la formation et des discussions à cause de la difficulté de percevoir la notion de nutriments et leur existence. Le degré de détail dans ces sessions de CEA doit être fonction du niveau de formation des agriculteurs et de leurs connaissances sur les nutriments. L'accent sera mis sur les nutriments qui sont déficitaires ou qui existent en quantités non équilibrées, et sur toute substance toxique comme l'aluminium, le sodium ou les sels, qui se trouvent dans la région. La présentation suivante est suggérée:

Que sont les nutriments?

A l'image des humains, les plantes ont besoin de différents types de nourriture, appelés nutriments. Le sol contient 13 nutriments qui sont essentiels à la croissance des plantes. L'insuffisance de l'un des ces nutriments dans le sol peut affecter sévèrement la croissance des plantes. Trois d'entre eux: l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) sont nécessaires en grandes quantités pour les plantes et sont donc considérés comme nutriments majeurs. Ils sont souvent déficitaires dans le sol.

Note : On pourrait également mentionner l'importance et la nécessité des nutriments secondaires et des micro-nutriments déficients localement, pour la bonne croissance des cultures.

Comment se présentent les nutriments dans le sol?

Les sols sont formés de petites particules provenant de l'altération des roches, les unes ayant la taille de grains de sable et d'autres sont tellement petites qu'elles sont invisibles à l'œil nu. Les déchets des plantes et d'animaux sont aussi incorporés dans le sol et sont rapidement transformés en matières organiques qui donnent aux sols leur couleur noire. Tous les restes des roches, des plantes et des animaux contiennent des nutriments et quand le sol est formé, beaucoup de ces nutriments sont retenus par l'argile et la matière organique. La matière organique du sol est particulièrement importante pour fournir l'azote aux plantes.

La disponibilité des nutriments dans les sols acides et dans les sols alcalins

Dans les zones pluvieuses, beaucoup de nutriments (spécialement Ca et Mg) sont lessivés et les sols sont alors appelés «acides». Les sols très sableux sont particulièrement enclins au lessivage. Les cultures successives, pendant des années, sans approvisionnement du sol en nutriments, sous forme de fumier ou d'engrais, causent des pertes de grandes quantités de nutriments avec les récoltes et accélèrent ainsi l'acidification. Les sols acides peuvent également se développer en cas d'application de certains engrais azotés à des taux élevés pendant des longues périodes. Dans les zones où les bases (comme le calcium et le magnésium) sont très lessivées, l'aluminium peut s'accumuler en grandes quantités et causer la toxicité des plantes et les sols sont alors dits «très acides». L'aluminium bloque effectivement l'aptitude des plantes à absorber le Phosphore qui en deviennent déficientes.

Dans les régions moins pluvieuses avec une importante évaporation, les nutriments ne sont pas lessivés, mais certains sont dissous dans l'eau du sol ou dans l'eau d'irrigation (cas du sodium) où ils s'accumulent sous forme de sels. Les sels se reconnaissent souvent comme des dépôts blancs à la surface ou dans le sol. De tels sols sont dits «salins/alcalins», le phosphore et les micro-nutriments y sont transformés en formes non mobilisables par les plantes et y sont donc déficients. Dans ces sols, le micro-nutriment bore peut être en quantités relativement grandes et y causer des problèmes de toxicité.

Quelles sont les quantités de nutriments exportées par les récoltes?

Les cultures ont besoin des nutriments pour produire des feuilles, des graines et des racines. Ces nutriments s'accumulent dans les graines, ce qui signifie que chaque récolte entraîne une perte ou une exportation de ces nutriments. En cas d'appauvrissement du sol en nutriments par des récoltes successives, il faut en approvisionner au sol pour éviter les déficiences. Par contre, ces apports ne sont pas nécessaires pour des nutriments qui peuvent être suffisamment stockés par le sol. La plupart des sols ont cependant besoin d'un ou plusieurs nutriments à ajouter.

Le tableau de l'appendice 1 donne une vue générale des quantités de nutriments exportés par les plantes au cours de leur croissance. Les observations suivantes, relatives aux nutriments exportés dans les récoltes, peuvent être faites:

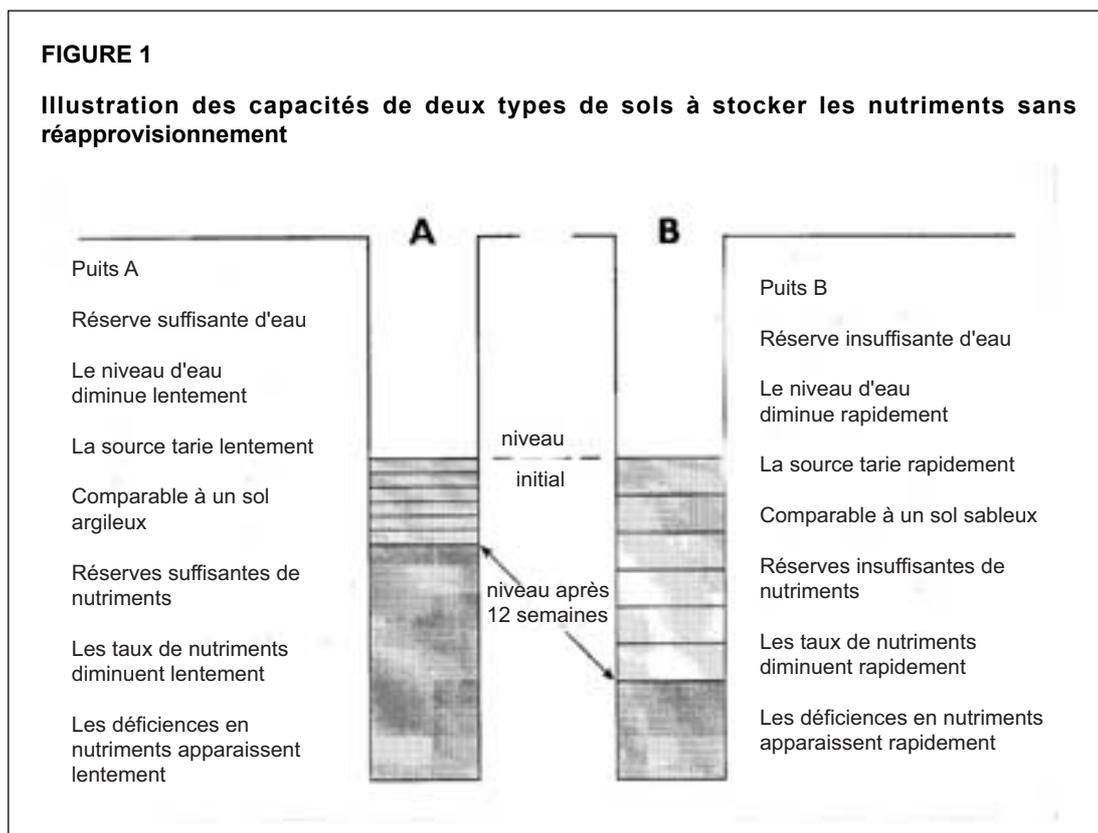
- les plus grandes quantités de nutriments exportées sont N, K, P, suivis du Ca et Mg;
- les quantités de nutriments exportées avec les récoltes varient avec le type de culture et la variété culturale et augmentent si les rendements augmentent;
- de très grandes quantités de nutriments sont exportées par le manioc, la canne à sucre, les bananiers et les herbes;
- de grandes quantités d'azote partent avec les graminées, la canne à sucre et les herbes;
- de grandes quantités de K partent avec les fruits, les cultures racinaires, le tabac, la canne à sucre et l'herbe.

Note: Beaucoup d'agriculteurs ne comprennent pas la signification des symboles utilisés pour les nutriments (indiqués sur les sacs d'engrais), il faudra alors les expliquer : N = azote; P = phosphore; K = potassium; Ca = calcium; Mg = magnésium; etc.

Différentes capacités des sols à stocker les nutriments des plantes

La capacité de stockage des nutriments varie avec les caractéristiques du sol. Certains sols peuvent être cultivés pendant de longues périodes sans être approvisionnés en nutriments. La figure I peut servir à comparer les chutes des niveaux d'eau par drainage dans deux sources et la capacité des sols différents à stocker les nutriments indispensables à la croissance des plantes. Le niveau d'eau dans la source A diminue très lentement, par conséquent, l'eau peut être drainée pendant une longue période avant le tarissement de la source; ceci est équivalent à un sol qui peut continuer à stocker les nutriments pendant des années sans diminution des rendements agricoles. Au contraire, le niveau d'eau dans la source B diminue rapidement au fur et à mesure que l'eau est drainée, et la source se dessèche après une courte période; c'est ce qui se passe avec un sol qui peut seulement stocker des nutriments pour une ou deux années avant que les rendements ne soient trop faibles.

Les participants pourraient être invités à discuter, de par leur expérience, sur les types de sols qui peuvent être cultivés pendant des années sans apports de nutriments (par exemple les sols argileux à quantité importante de matières organiques) et sur les types de sols qui ne peuvent pas passer une ou deux années sans apport de fertilisants ou de fumier (par exemple sols sableux avec faible quantité de matières organiques).



Les flux de nutriments et les systèmes agricoles

Tous les matériaux biologiques et minéraux contiennent des nutriments et lorsqu'ils sont appliqués aux cultures (par exemple comme fertilisants) ou donnés au bétail ou aux poissons (comme concentrés), ils apportent un flux (ou mouvement) de nutriments au système agricole. Les défécations du bétail dans le champ ou en dehors de celui-ci constituent également des flux de nutriments.

La vente des produits agricoles (par exemple le bétail, les graines, les oeufs, les végétaux), le transport des déchets hors de l'exploitation agricole (par exemple les résidus, le fumier, le son de riz) et les processus naturels comme le lessivage et l'érosion constituent des pertes de nutriments hors de l'exploitation agricole.

Le transfert des matériaux végétaux d'un système de production à un autre dans une même exploitation (par exemple application du fumier et du compost, le pâturage des animaux dans les exploitations et l'application du fumier sur une terre cultivable) constituent également des transferts de nutriments dans le système cultural.

A la seule exception des légumineuses qui apportent de l'azote, les nutriments recyclés dans un sol y deviennent déficients, bien qu'ils soient transférés dans les horizons de surface. Les sols pauvres contiennent peu d'éléments recyclés et nécessitent un apport exogène de nutriments sous forme de fertilisants organiques ou minéraux.

L'apport de biomasse dans un champ signifie qu'il y a un transfert de nutriments. C'est le cas du transfert de biomasse des pâturages vers les terres cultivées par application de fumier de bétail.

Si la teneur des matériaux en nutriments est connue, il est possible d'enregistrer les variations des stocks de nutriments dans l'exploitation. Le sol se dégrade en cas de déséquilibre entre les apports et les exportations de nutriments dans un même site.

Les cartes de flux de nutriments peuvent être utilisées pour en faciliter la compréhension. Les mouvements de nutriments à l'intérieur et à l'extérieur du système agricole peuvent être introduits et discutés afin d'insérer des flèches correspondantes dans une carte représentative.

LE CYCLE DES NUTRIMENTS, L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE ET L'UTILISATION DU SOL

Les processus des sols sont importants pour maintenir le cycle normal des nutriments dans tous les écosystèmes. Les agents décomposeurs du sol (bactéries, champignons et certains arthropodes) accomplissent un des principaux processus du cycle des nutriments: la rétention des nutriments dans le sol. Pour que les nutriments soient à nouveau disponibles aux plantes et aux animaux, ils doivent être minéralisés par l'interaction des décomposeurs et de leurs prédateurs (protozoaires, nématodes, micro-arthropodes et vers de terre).

Dans des écosystèmes équilibrés, les pertes de nutriments sont faibles si leur recyclage et leur production augmentent. L'accroissement de la productivité totale de l'écosystème provoque l'augmentation de la biodiversité dans le sol. Plus l'interaction est grande entre les décomposeurs, leurs prédateurs et les prédateurs de ceux-ci, qui sont responsables du recyclage et de la rétention des nutriments dans le sol, plus les pertes de nutriments sont faibles. Sans intervention des organismes du sol, les plantes ne peuvent pas obtenir les nutriments dont elles ont besoin pour la croissance.

Que se passe-t-il dans le sol?

Les bactéries décomposent facilement les matériaux organiques et retiennent les nutriments, comme l'azote, le phosphore et le soufre, dans le sol. Dans les matériaux organiques, environ 60 pour cent de carbone sont respirés comme dioxyde de carbone, mais 40 pour cent est retenu sous forme de biomasse bactérienne. Les déchets des bactéries deviennent des matières organiques. Ces déchets sont moins décomposables que le matériel végétal original, mais peuvent être utilisés par un grand nombre de ces organismes.

Les champignons décomposent la matière la plus difficile à décomposer, c'est-à-dire la matière organique, et la retiennent sous forme de biomasse dans le sol. Comme pour les bactéries, les déchets des champignons deviennent matière organique du sol et sont utilisés par les autres organismes du sol.

Les protozoaires sont des organismes monocellulaires très mobiles qui se nourrissent des bactéries et peuvent aussi se manger entre eux. Comme ils ont besoin de 5 à 10 fois moins d'azote que les bactéries, l'azote est produit quand un protozoaire mange une bactérie. Cet azote ainsi formé est utilisable par les plantes. (Entre 40 pour cent et 80 pour cent d'azote dans les plantes proviennent des interactions alimentaires entre les protozoaires et les bactéries.)

Les nématodes utiles mangent les bactéries, les champignons et les autres nématodes. Ils ont besoin d'encore moins d'azote que les protozoaires, de 10 à 100 fois moins d'azote que les bactéries, ou de 5 à 50 fois moins que les champignons. Ainsi, si un nématode mange une bactérie ou un champignon, l'azote qui en résulte devient utilisable par les plantes.

Les micro-arthropodes (insectes) ont plusieurs fonctions. Ils broient les feuilles des plantes, les racines et les troncs d'arbres en petits morceaux, procurant ainsi des aliments aux bactéries et aux champignons. Les arthropodes peuvent augmenter de 2 à 100 fois les degrés de décomposition, mais s'il n'y a pas de bactéries ni de champignons, la décomposition n'augmentera pas. Cependant, dans beaucoup de cas, les arthropodes inoculent dans leurs alentours des bactéries et des champignons, ainsi, la nourriture dont ils auront besoin est disponible dans ces surfaces inoculées. Les arthropodes se nourrissent de bactéries et de champignons, et comme le rapport C/N des arthropodes est 100 fois plus que les bactéries et les champignons, ils fabriquent l'azote qui devient mobilisable par les plantes.

Toute une série de micro-organismes du sol, comme les vers de terres et les fourmis, mélangent le matériel végétal dans le sol. Les vers de terre se nourrissent de micro-organismes qui décomposent le sol et qui ont une grande importance pour la diffusion d'oxygène et le drainage de l'eau dans la rhizosphère. Leur activité dans le sol donne des canaux où circulent l'air et l'eau. Les dépôts de déjections à la surface du sol peuvent générer une nouvelle couche de sol très concentrée en carbone organique et en nutriments. Les déjections sèches ont une grande résistance à la désintégration mécanique par les gouttes de pluies.

La production importante de feuillage sous une forêt, comparée à celle des cultures annuelles, engendre une grande population de vers de terre, d'insectes et de micro-organismes, ce qui donne une grande activité biologique, une formation plus significative d'humus et une couleur noire à la surface du sol. La grande couverture foliaire sur le sol de forêt crée un environnement humide qui est plus favorable à l'activité des organismes du sol. Le sol est plus riche en pores larges grâce à la présence d'un nombre élevé de vers, de fourmis, de termites, d'insectes, de mille-pattes, etc. dans la litière de forêt.

Par contre, sous les cultures annuelles, la production du feuillage est moindre, les feuilles sont fréquemment enlevées, le sol est souvent labouré et il est plus sec. En conséquence, moins de «nourriture» et d'humidité sont disponibles aux vers de terre et aux autres insectes et leur habitat est constamment perturbé.

Un simple exercice (voir annexe 1) peut être utilisé pour démontrer la différence des degrés d'infiltration de l'eau pour un sol de forêt et un sol cultivé annuellement pendant des années. De larges pores conduisent rapidement de grandes quantités d'eau dans le sol après de grandes pluies et permettent aux racines de pénétrer facilement.

Le facilitateur du champ-école des agriculteurs peut introduire une discussion sur le concept de cycle des nutriments. Il pourrait orienter la discussion en demandant aux agriculteurs ce qu'ils entendent par l'accumulation des nutriments dans les feuilles d'un arbre pendant la croissance, ce que deviennent les feuilles mortes et étalées sur le sol. Les nutriments sont pompés du sol profond et sont transférés dans les couches superficielles où ils sont accessibles aux racines. Ce transfert est appelé recyclage des nutriments. Il faut attirer l'attention sur les différentes profondeurs auxquelles les nutriments peuvent être recyclés avec ou sans arbres.

Une discussion peut être menée sur les méthodes de gestion qui favorisent et celles qui ne favorisent pas le recyclage des nutriments. L'on peut demander aux agriculteurs de mentionner ce que deviennent les nutriments des résidus culturaux si ceux-ci sont donnés comme fourrage ou comme pâturage au bétail, s'ils sont brûlés au champ (perte d'azote et de soufre) ou s'ils sont laissés à la surface du sol.

Les profondeurs d'enracinement, l'accumulation de la litière, l'activité biologique, la teneur en humus et en humidité du sol ainsi que la porosité sont de bons indicateurs d'un bon ou d'un mauvais sol. Il faut accorder une attention particulière à la porosité du sol avec la présence de pores larges ou de canaux formés par les vers de terre, les termites et les insectes. De façon similaire, il faut chercher des champignons à la surface de feuilles enterrées, en décomposition.

IDENTIFICATION AU CHAMP DES PROBLÈMES DE SOLS ET DE NUTRIMENTS

Cette section donne une liste d'indicateurs des problèmes de sol et de nutriments et discute de leurs modalités d'utilisation afin d'identifier ces problèmes. Une liste résumée se trouve dans l'appendice 2.

Indicateurs culturaux

Chute ou diminution des rendements: Cette information est donnée par l'exploitant lui-même. Les faibles rendements apparaissent souvent par la différence des rendements agricoles entre les champs qui sont proches les uns des autres. Une bonne croissance des plantes se retrouve dans des champs ayant connu une accumulation de fumier, de résidus culturaux ou de sédiments d'érosion. Les problèmes de nutriments sont les plus probables, mais les mauvaises herbes, les maladies et les ravageurs sont aussi des causes de faibles rendements.

Faible taux de germination: Une faible densité culturale peut être causée par une faible densité de semis, une faible germination ou une faible levée, une texture très lourde du sol et un terrain mal préparé pour les semis. Elle peut être aussi causée par une saison exceptionnellement pluvieuse, des températures exceptionnellement élevées, une mauvaise préparation du sol ou des semences de mauvaise qualité (de l'exploitant ou achetées).

Une croissance rabougrie: La croissance inhibée des plantes peut être due à de longues périodes de froid, des maladies et des ravageurs, une faible fertilité des sols, un manque de rotation culturale, une inondation récente, une nappe d'eau assez haute.

La croissance non uniforme des plantes: Elle peut être due à des sols très différents dans un même champ. Cela peut s'identifier en creusant des trous de 50 cm de profondeur dans les sites montrant une bonne croissance et dans d'autres avec une mauvaise croissance des plantes et comparer les sols. La différence de croissance des plantes entre les deux sites peut être due à une humidité du sol ou à une salinité élevée associée à une topographie non favorable, à des profondeurs différentes de sol dues à la variabilité du matériel parental, aux différences de texture et de teneur en nutriments, spécialement dans des sols alluvionnaires, qui varient fréquemment sur de courtes distances. Elle peut parfois être due à la variabilité de la semence, par exemple, les semences de maïs achetées au marché local peuvent être constituées d'un mélange de semences hybrides ou d'un mélange de variétés locales.

Les symptômes de déficience en nutriments: Dans le champ-école des agriculteurs, seuls les symptômes foliaires de déficience en nutriments apparaissant souvent dans la région peuvent faire objet de discussion. Le facilitateur peut orienter la discussion sur l'identification des déficiences en fournissant des descriptions et des couleurs des symptômes (voir la description et les exemples illustrés en annexe 6). Les fortes déficiences en nutriments peuvent souvent s'identifier par les colorations foliaires des plantes, par la partie de la plante qui est la première à être affectée (les vieilles ou les jeunes feuilles, le bourgeon terminal) et par l'aspect général de la croissance des plantes.

Il faut aussi faire remarquer que des symptômes semblables peuvent être également causés par les machines agricoles ou par l'action du vent, et qu'un symptôme peut masquer d'autres symptômes.

Les causes possibles des déficiences peuvent être:

- un système agricole long et/ou intensif associé à une fertilisation insuffisante;
- des applications non équilibrées de fertilisants minéraux, sans application de fumier;
- des applications de grandes quantités d'engrais azotés acidifiants (par exemple le sulfate d'ammonium);
- des applications excessives d'oligo-éléments causant des déficiences d'autres oligo-éléments (Note: même des petites quantités d'engrais à base d'oligo-éléments peuvent causer des déficiences d'autres oligo-éléments dans des sols sableux);
- un chaulage excessif qui augmente l'alcalinité des sols provoquant une déficience en nutriments.

Si une carence est suspectée, elle peut être confirmée par des analyses d'échantillons de sol au laboratoire. On peut aussi utiliser un équipement de terrain pour ces tests. L'exemple d'échantillonnage des sols est donné dans l'appendice 4.

L'échantillonnage foliaire des plantes pour des analyses est très utile pour détecter les déficiences en oligo-éléments, mais des détails précis sur les feuilles à échantillonner, et quand, dépendront des cultures. Un expert en la matière est toujours nécessaire pour l'échantillonnage et l'interprétation correcte des résultats d'analyses.

Les symptômes de toxicité des nutriments: Dans le champ-école, la discussion porte sur les nutriments connus pour leur toxicité dans la région. Le facilitateur peut guider la discussion et l'identification de toxicité des nutriments en procurant aux participants une description des

symptômes foliaires. Des informations sur les symptômes foliaires de toxicité des nutriments sont données dans l'Appendice 3. La toxicité des nutriments se retrouve principalement dans les sols très acides, les sols gorgés d'eau, comme les rizières irriguées, et les sols très salins. Les symptômes peuvent se reconnaître par une décoloration foliaire sur les vieilles ou les jeunes feuilles. La toxicité aluminique se manifeste le plus souvent par une déformation des racines.

Le flétrissement: Une texture légère ou un profil très caillouteux ou peu profond indique que le sous-sol peut seulement retenir de petites quantités d'eau et le sol est donc susceptible de sécheresse. On doit examiner les racines pour estimer la profondeur d'enracinement ainsi que les signes de dureté excessive du sol. L'enracinement et la rétention de l'eau peuvent être limités par des conditions très acides ou alcalines du sol, mais des analyses chimiques du sol sont nécessaires pour identification et confirmation.

Les indicateurs du site

Les petites tache: Elles indiquent souvent une présence de salinité élevée qui se manifeste par des dépôts blancs à la surface du sol et par la concentration du bétail léchant le sol. Les taches peuvent résulter de l'accumulation due à une évaporation élevée et à des eaux de sol salines, à la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation ou au drainage inadéquat.

Les mauvaises herbes: Elles peuvent être des indicateurs très utiles de la qualité du sol et parfois, des problèmes spécifiques du sol. En général, à mesure que les sols deviennent plus dégradés, c'est-à-dire plus carencés en nutriments avec un faible degré d'infiltration et une faible activité biologique, le nombre et la taille des espèces de mauvaises herbes augmentent. Certaines espèces indiquent des problèmes particuliers de sol, par exemple *Imperata cylindrica* qui indique souvent la pauvreté du sol en nutriments, *Striga* (une herbe parasite des racines de maïs) devient plus abondant avec la diminution de la fertilité du sol, beaucoup de fougères (*Filicineae*) indiquent les sols acides, *Juncaceae* et *Cyperaceae* (figure 2) indiquent de faibles degrés d'infiltration ou une insuffisance des réserves d'oxygène dans un sol gorgé d'eau.

Les étangs à la surface: les étangs à la surface du sol sont dus à une infiltration



insuffisante résultant de la saturation des sols et au manque d'oxygène pendant les périodes humides. La cause est souvent un compactage du sous-sol provoqué par les machines agricoles ou les surpâturages en périodes humides.

Les inondations: les signes évidents d'inondation, comme le dépôt des débris dans les cultures et des sédiments non humiques sur la surface du sol, peuvent rapidement disparaître avec la mise en culture d'un sol. Les inondations peuvent résulter de ruissellements dus à une déforestation ou un surpâturage.

Note: Les indicateurs de site relatifs à l'érosion hydrique ou éolienne et au glissement des terres sont détaillés en annexe 3.

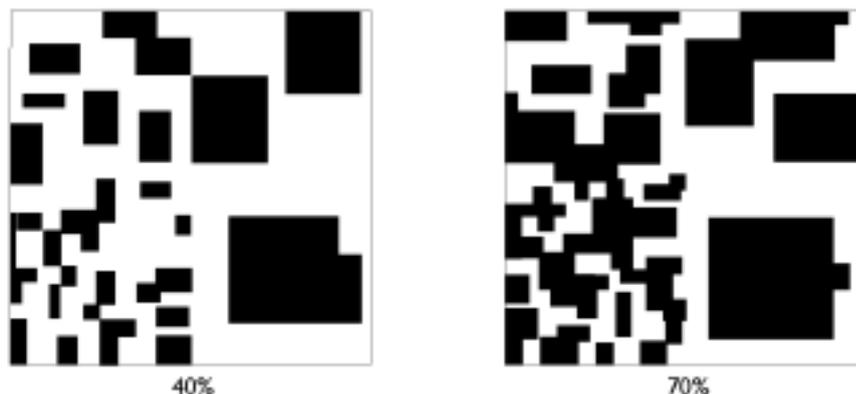
Les indicateurs de la morphologie du sol.

Insuffisance des résidus à la surface: Une bonne couverture du sol par des résidus est importante dans la production agricole, non seulement pour protéger les sols contre l'érosion et contre l'évaporation, mais aussi pour favoriser l'infiltration de l'eau de pluie et l'activité biologique. Ainsi, si l'érosion constitue le principal problème, une grande couverture est nécessaire en cas de pluies intenses ou érosives. Inversement, si l'évaporation constitue le principal problème, une bonne couverture par des résidus est nécessaire pendant la croissance des plantes si l'eau fait défaut. Pour contrôler efficacement l'érosion sur des pentes de moins de 10 pour cent, environ 40 pour cent de la surface doivent être couverts, tandis que sur des pentes de 50 pour cent, environ 70 pour cent doivent être couverts (figure 3). La figure 4 peut aider à reconnaître une couverture de 40 pour cent et 70 pour cent du sol par des résidus à l'aide de la proportion colorée en noir dans chacun des carrés. L'insuffisance de couverture peut être due au manque d'eau, de nutriments ou d'activité biologique. Cependant, l'amélioration de la couverture sur des sols cultivés peut être difficile si les résidus sont habituellement utilisés comme pâturage ou comme combustible après les cultures, si le feuillage fournit une faible couverture et/ou s'il est délibérément enlevé pendant la période de croissance (par exemple récolte des feuilles de tabac), et/ou s'il est abîmé par les termites ou par une décomposition naturelle excessive (notamment dans des climats tropicaux humides).

FIGURE 3
Une couverture suffisante de la surface sur une pente de 45 pour cent contrôle l'érosion sur un sol volcanique



FIGURE 4
Estimation visuelle du pourcentage de couverture d'une surface donnée, indiquée par les surfaces colorées en noir



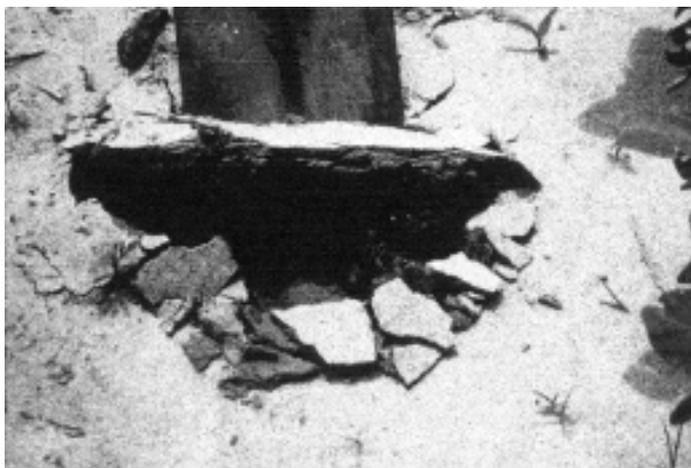
Les sels à la surface: Les sels se reconnaissent par des couches blanches ou des dépôts poudreux dispersés à la surface du sol. En cas de salinité élevée, de nombreuses plantes éprouvent des difficultés à absorber l'eau et souffrent ainsi du stress hydrique même s'il y a de l'eau dans le sol. Il peut aussi y avoir des concentrations toxiques d'éléments comme le sodium, le bore ou le chlore. Dans la mesure du possible, des échantillons de sols devraient être prélevés pour des analyses chimiques afin d'estimer la nature et le degré de sévérité du problème de salinité. La cause peut provenir de l'eau du sous-sol ou de l'eau d'irrigation associée à un drainage inadéquat.

Des surfaces noires et glissantes qui se fissurent en périodes sèches: Les surfaces noires et glissantes en conditions humides qui craquent en périodes sèches indiquent souvent des sols très sodiques. Les sols sodiques se caractérisent par des structures pauvres, imperméables à l'eau, causant une insuffisance d'oxygène au niveau des racines des plantes. Les teneurs élevées en sodium provoquent une toxicité sodique qui entraîne un déséquilibre et une carence d'autres nutriments comme le calcium. Comme pour les sols salins, il est conseillé d'envoyer des échantillons de sols au laboratoire pour une identification précise de la nature et de la sévérité de ce problème. Les causes possibles des sols sodiques peuvent être l'eau souterraine riche en sodium ou l'irrigation avec une eau de mauvaise qualité.

Des surfaces d'eau tachetées de rouille et de films d'huile: Les taches de couleur rouge ou rouillée à la surface du sol et des films d'huile sur les eaux stagnantes indiquent souvent une toxicité ferrique dans les sols très acides. Des échantillons des sols doivent être prélevés pour des analyses de laboratoire afin d'estimer la sévérité du problème.

Des couches superficielles dures: Elles se reconnaissent difficilement en périodes humides, mais facilement en périodes sèches parce qu'elles deviennent très dures et très difficiles à casser. Le labour sous ces conditions est très difficile, voire impossible, jusqu'à ce que le sol soit mouillé. Cet état retarde les semis, peut gêner la levée des plantes et peut aboutir aux rendements faibles. Sous des conditions humides, la structure pauvre peut faire que la surface du sol soit saturée en eau, causant ainsi une insuffisance d'oxygène, une faible infiltration, un ruissellement et de l'érosion. La cause est le plus souvent naturelle mais peut être accentuée par une surexploitation des terres et par la perte de la matière organique du sol.

FIGURE 5
Croûtes à la surface d'un sol de texture légère, empêchant l'infiltration des eaux de pluie et la levée



Des couches superficielles caillouteuses ou graveleuses: Elles se reconnaissent par la difficulté ou l'impossibilité du labour, par l'inhibition possible de la levée ou de la croissance précoce. Le problème est généralement dû aux processus naturels de formation des sols.

Une surface imperméable: Elle se reconnaît par la présence d'une mince couche argileuse à la surface du sol qui est imperméable et qui bloque l'infiltration des précipitations. Les surfaces cireuses provoquent des ruissellements qui peuvent accentuer le stress hydrique et l'érosion hydrique, entraînant des pertes de nutriments. Elles peuvent résulter aussi de l'insuffisance de couverture ou de la surexploitation des terres.

Le durcissement de la surface: Les croûtes dures sont de fines couches sableuses ou vaseuses, qui se développent à la surface du sol en formant une couche dure de quelques mm à 1 cm d'épaisseur (voir figure 5). Ces couches résultent de l'énergie cinétique des gouttes de pluie qui désagrège le sol en particules qui bouchent les pores et forment une série de fines couches de sédiments à la surface du sol. L'imperméabilité de ces couches réduit fortement l'infiltration des précipitations et favorisent donc les ruissellements avec des pertes d'eau et de nutriments nécessaires aux plantes. Elles peuvent également résulter de l'absence des résidus culturaux à la surface, d'une surexploitation des terres ou des pluies intenses.

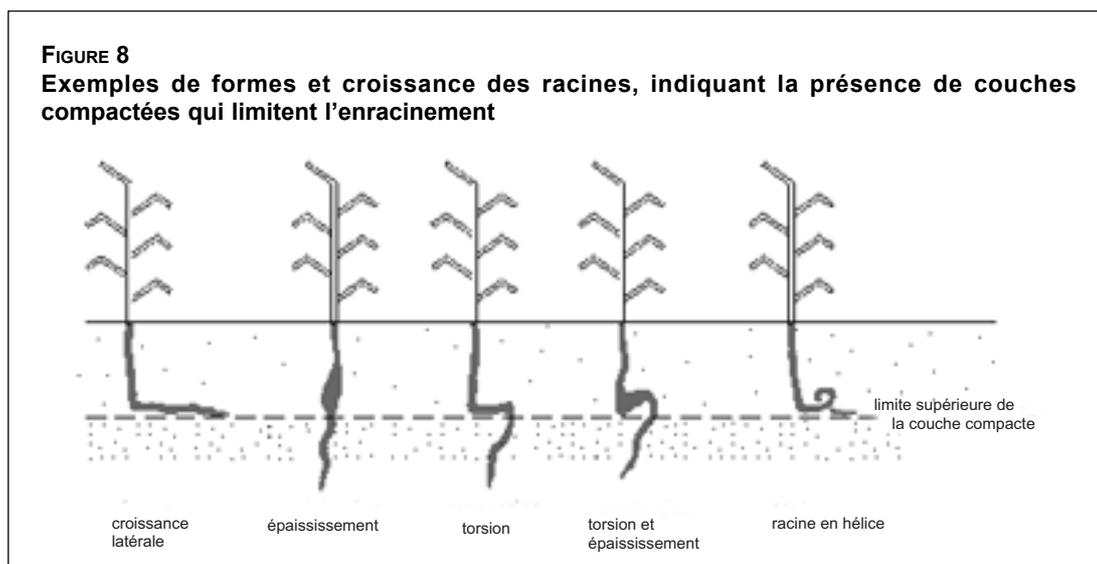
Les mottes à la surface du sol: Elles se présentent sous forme d'agrégats larges, argileux, difficiles à casser, même à l'état humide. La difficulté de réduire la taille de ces agrégats rend difficile le labour et réduit les taux de germination. La cause en est généralement la texture très lourde du sol lui-même.

Faible teneur de matières organiques dans le sol: Elle se reconnaît souvent par la couleur pâle de l'horizon de surface ou, dans les cas extrêmes, par des couleurs rougeâtres ou jaunâtres si les couches profondes sont ramenées à la surface par l'érosion. Les teneurs en matières organiques peuvent diminuer rapidement si un sol de forêt est cultivé annuellement (voir figure 6).

FIGURE 6**Différence de coloration entre un sol de forêt et ce même sol après 4 ans de culture****FIGURE 7****Reconnaissance des couches compactées qui limitent la pénétration des racines**

Note: Les fissures de couleurs sombres de la surface des sols argileux («vertisols») n'indiquent pas des teneurs élevées de matières organiques dans le sol.

La faible teneur en matières organiques peut réduire la stabilité structurale, provoquer une fissuration et une imperméabilisation de la surface, une faible activité biologique et une faible disponibilité des nutriments, surtout d'azote. Par conséquent, la faible teneur en matières organiques peut indiquer des problèmes d'insuffisance d'eau, de nutriments et d'activité biologique. Les teneurs en matière organique de moins de 2 pour cent indiquent généralement des sols pauvres dans les régions humides. Une agriculture longue ou intensive, un non réapprovisionnement de résidus culturaux, une non application de fumier, des cultures excessives



ou des périodes sans jachères, peuvent être à la base des faibles teneurs en matière organique du sol.

L'enracinement limité: L'enracinement limité se reconnaît facilement à la floraison ou au stade avancé de la croissance, par rapport à la profondeur de pénétration des racines d'une culture normale.

L'enracinement peut être physiquement inhibé par des couches de sol compactées avec de petits pores qui bloquent la pénétration des racines. Les couches compactées se forment suite à la mécanisation agricole ou même au labour à la houe. Ces couches se forment immédiatement au-dessous de la profondeur du labour «semelle de labour».

La restriction des racines peut être également causée par la toxicité de l'aluminium ou du manganèse dans les sols acides, par des carences sévères en nutriments et par des salinités élevées. Dans ces cas, l'enracinement dans le sol se limite au dessus de la couche compactée. Le labour s'arrête à 12–30 cm de profondeur, selon la profondeur de labour (voir figure 7). Il faut noter que ces couches peuvent se retrouver à toutes les profondeurs dans le sol. Si de telles couches bloquent l'enracinement, les racines changent de direction. Les racines gênées dans leur croissance deviennent très courtes et très minces. La figure 8 illustre les formes de limitations de l'enracinement par les couches de sol compactées.

Un enracinement peu profond diminue les réserves d'humidité et de nutriments indispensables aux plantes, avec un effet plus alarmant là où le manque d'humidité nuit déjà à la production. Comparativement aux cultures pérennes, les cultures annuelles sont les plus touchées à cause de leur courte durée d'enracinement et d'absorption des nutriments et d'eau.

Les horizons compactés de grande résistance et de faible porosité: En l'absence de culture, une couche compacte («semelle de labour», couche naturellement compacte ou couche cimentée) se reconnaît suite à l'augmentation subite de la résistance du sol quand on enfonce une pelle dans un sol humide.

Pour voir si la couche compacte est susceptible de limiter la pénétration des racines, on examine la densité des pores visibles à l'œil nu, c'est-à-dire >0,3 mm de diamètre. Comme

guide de terrain, si un horizon contient moins de 6 pores visibles/100 cm², on doit s'attendre à des problèmes d'enracinement.

La salinité dans le sous-sol: La présence de sels apparaît parfois comme des dépôts de poudres blanches dans le sous-sol. Les sels inhibent le développement racinaire qui se manifeste par les signes de restriction associés aux dépôts de sels. On évaluera la sévérité de cette restriction racinaire et les causes de la salinité. S'il y a des doutes sur la limitation de la croissance des racines par la salinité, il est conseillé de prélever des échantillons de sous-sol pour des analyses chimiques.

Un sous-sol sableux ou très sableux: Les sous-sols de texture légère ou très légère se déterminent par des tests de terrain donnés dans l'annexe 1. Ces sols sont exposés aux risques de sécheresse à cause de leur faible capacité de rétention d'eau. Ils sont également pauvres en nutriments ou risquent un déséquilibre en nutriments en cas d'application de nutriments minéraux.

Un sous-sol très caillouteux: Les cailloux dans le sol gênent la croissance des plantes et réduisent les quantités d'eau et de nutriments retenus dans le sol ce qui affecte le développement des racines.

Des drainages incorrects, des taches et des décolorations du sol: Si le drainage est insuffisant, des colorations grises, gris-bleuâtres ou gris-verdâtres apparaissent comme couleurs principales ou comme des couleurs secondaires ou taches à la surface du sol. Ces couleurs indiquent une aération insuffisante (oxygène du sol) due à l'excès d'eau dans le sol pendant des mois.

Les racines des plantes et les micro-organismes (bactéries et champignons) ont besoin d'oxygène dont l'insuffisance dans le sol se manifeste par l'accentuation des colorations grisâtres devenant rouge-oranges dans les horizons très humiques.

Ces colorations peuvent être dues à:

- Une très faible perméabilité du sol, comme dans les sols de texture lourde, qui fait que le sol se gorge d'eau pendant de longues périodes, ce qui est fréquent dans les zones basses où le ruissellement s'accumule.
- Une eau souterraine saturant le sol. La présence d'une nappe d'eau se distingue par une faible perméabilité du sol et par des colorations grises dans la partie occupée par cette nappe.

QUELQUES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE GESTION INTÉGRÉE DES SOLS ET DES NUTRIMENTS (GISN)

Les principes de la gestion intégrée des sols et des nutriments sont des idées fondamentales ou des «lois» sur la meilleure gestion des sols, des nutriments, de l'eau, des cultures et de la végétation pour améliorer et maintenir la fertilité et la productivité. Ils sont dérivés des fonctions essentielles et nécessaires du sol pour la croissance des plantes. Il y a 6 principes qui ont une applicabilité générale et 17 autres qui ont une applicabilité plus spécifique. Ces deux catégories seront discutées dans la partie ci-dessous.

Maximiser la couverture du sol pour réduire l'érosion et améliorer l'infiltration et l'activité biologique.

Le sol est comme une maison d'habitation avec des murs et des chambres. Le sable, l'argile et les particules de matière organique du sol représentent les murs, les étages et les toits de la

maison et les espaces dans le sol représentent les pièces, qui sont des lieux d'exécution des activités les plus importantes: manger, boire, dormir, respirer, etc. De même, les espaces dans le sol constituent les lieux d'exécution des fonctions les plus importantes telles que la croissance des racines, la circulation de l'eau et de l'oxygène, les activités des vers de terre et d'autres micro-organismes du sol, les résidus organiques y sont jetés, le drainage de l'eau excédentaire et le stockage de l'humidité indispensable à la bonne croissance des plantes.

Les pores à la surface du sol par lesquels entrent l'eau, l'air, les fertilisants et les résidus organiques dans le sol sont comparables à des portes et des fenêtres de la maison par lesquelles passent les personnes. Ils doivent donc rester ouverts et ne pas être ni détruits ni bloqués.

L'importance de la couverture du sol pour le maintien des espaces ouverts, peut se démontrer en simulant les précipitations en versant l'eau d'un arrosoir sur deux boîtes inclinées de sol dont l'une est non couverte et l'autre couverte de résidus culturaux (voir exercice 10, Annexe 1 pour détails). Le bouchage et la destruction prononcés des pores peuvent avoir lieu sur le sol non couvert à cause de l'action destructrice des gouttes d'eau sur la structure du sol, mais cela change sensiblement avec la protection du sol par des résidus culturaux. Les cultures et les pierres peuvent aussi jouer le même rôle que les résidus culturaux. On aura plus d'infiltration de l'eau parce que les pores sont protégés de la désintégration par la force cinétique des gouttes de pluie, et les cultures souffriront moins de sécheresse. Une plus grande infiltration dans les sols volcaniques peut toutefois augmenter les risques d'éboulement de terrains.

L'obturation des pores de surfaces réduit l'infiltration et cause plus de ruissellements avec risques d'érosion. Dans ce cas, la couleur de l'eau de ruissellement est un bon indicateur de ce qui est érodé pendant une averse, comme le sol, les nutriments, les fertilisants, les semences et les pesticides. L'érosion lessive sélectivement le sol noir plus fertile. Le taux de croissance des plantes sur des sols noirs, moins érodés ou avec une accumulation des sédiments d'érosion, peut être comparé à celui des plantes installées sur un sous-sol de couleur claire qui a perdu la couche superficielle. Si des effets plus évidents de l'érosion sur les cultures sont nécessaires, une expérimentation peut être faite pour comparer le rendement d'une parcelle sans couche arable et celui d'une parcelle avec couche arable intacte.

Laisser, à la surface du sol, les résidus végétaux, la paille, les branches d'arbres, les mauvaises herbes et les pierres, pratiquer les semis directs, les cultures intercalaires, la rotation culturale, les couvertures végétales et de plus grandes densités culturales, sont toutes des pratiques qui augmentent la couverture du sol et l'infiltration. Au contraire, le brûlis, le transfert des résidus végétaux, les cultures trop intensives, les prairies larges et pauvres, sont toutes des pratiques qui favorisent le ruissellement. L'expérience de la boîte (exercice 10, annexe 1) peut être modifiée pour démontrer les effets de la pulvérisation du sol (simulant un travail excessif du sol), les effets des différents gradients de pente, des lignes de traction animale, des buttes et d'autres mesures de protection et de conservation, sur l'érosion et le ruissellement.

L'évaporation signifie la perte d'humidité sous forme de vapeur due à la chaleur solaire. Cette forme de perte d'humidité est comparable à la sueur d'une personne sous le soleil et le paillage à la surface du sol est comparable à une personne portant un chapeau pour se protéger de la chaleur. Le paillage permet de lutter contre les effets de la sécheresse et d'augmenter les rendements, mais nécessite main-d'œuvre, disponibilité de résidus et coût du semis direct.

De simples démonstrations au champ peuvent aider, dans un champ-école des agriculteurs, à montrer les effets de la couverture sur la perte d'humidité (voir exercice 11, annexe 1), ainsi que les effets du paillage sur l'activité biologique (voir exercice 12, annexe 1). Ceci peut être

démonstré dans une zone où le paillage a été appliqué pendant 2 ans ou plus (la zone traitée), à côté d'une autre zone sur le même type de sol, mais sans paillage (zone témoin).

L'activité des macro- et micro-organismes (bactéries, champignons, etc.) est stimulée par les résidus de culture ou le paillage et aide donc à maintenir le sol en bon état. En effet, ces organismes du sol: (i) augmentent la porosité et améliorent donc l'infiltration de l'eau de pluie; (ii) incorporent les résidus organiques dans le sol; (iii) accélèrent leur décomposition pour libérer les nutriments; et (iv) contribuent à la formation de la matière organique du sol/humus.

Maximiser les apports de matériaux organiques et le recyclage des restes agricoles

Les matériaux organiques contiennent plusieurs nutriments (primaires, secondaires et les oligo-éléments) en proportions souvent variées et petites, tandis que les fertilisants minéraux en contiennent 1, 2 ou 3 seulement. Ces teneurs en nutriments varient considérablement dans un même matériau organique. Par exemple, la composition du fumier d'étable varie avec la nutrition du bétail et la qualité de l'étable. De même, la composition du maïs varie avec la fertilité du sol et les conditions climatiques du lieu, la qualité du compost dépend de la qualité des restes culturaux utilisés.

Pendant un champ-école des agriculteurs sur la gestion intégrée des sols et des nutriments, le facilitateur peut relever les valeurs fertilisantes en azote de différents matériaux organiques et insister sur les intérêts économiques que présentent le recyclage des restes agricoles. Le tableau de l'appendice 6 montre les teneurs en nutriments des restes culturaux présents ou externes à l'exploitation agricole et pouvant être disponibles aux agriculteurs.

Les restes culturaux peuvent aussi augmenter la disponibilité de l'eau, stimuler l'activité biologique, maintenir la stabilité de la structure du sol pour ainsi améliorer l'infiltration et l'aération du sol.

Des méthodes culturales pour augmenter les réserves de matières organiques et leurs avantages peuvent être discutées lors des visites sur le terrain. Les points suivants peuvent être pris en considération comme sources de matière organique:

- sur des terrains non cultivés: les forêts, les pâturages, les jachères et les restes des champs, la paille de riz, les herbes sur les bordures des champs et des courbes de niveau; les arbres et les arbustes plantés pour le chauffage, les fruits, les noix, la paille, les céréales et les légumineuses;
- dans des champs cultivés: semer des légumineuses de couverture et des engrais verts comme cultures intercalaires et d'autres cultures séquentielles comme cultures annuelles ou pérennes dans un même champ;
- introduction de nouvelles cultures qui produisent de grandes quantités de feuillage ou qui sont adaptées à la sécheresse, à l'acidité ou à la salinité;
- amélioration de la production de la biomasse dans les jachères, par exemple, par enrichissement naturel des jachères avec des légumineuses ou d'autres cultures de couverture;
- production de l'algue *Azolla* ou des algues bleu-vertes dans des rizières;
- par des sources externes, moins chères, comme les restes des huileries, des restes des sucreries, des graminées, des caféiers, des exploitations de poulets et cochons, l'herbe des bordures de route et la litière des forêts;

- compostage des restes ménagers et agricoles;
- amélioration de la collecte et du stockage du fumier d'étable.

Introduction des légumineuses dans un système cultural

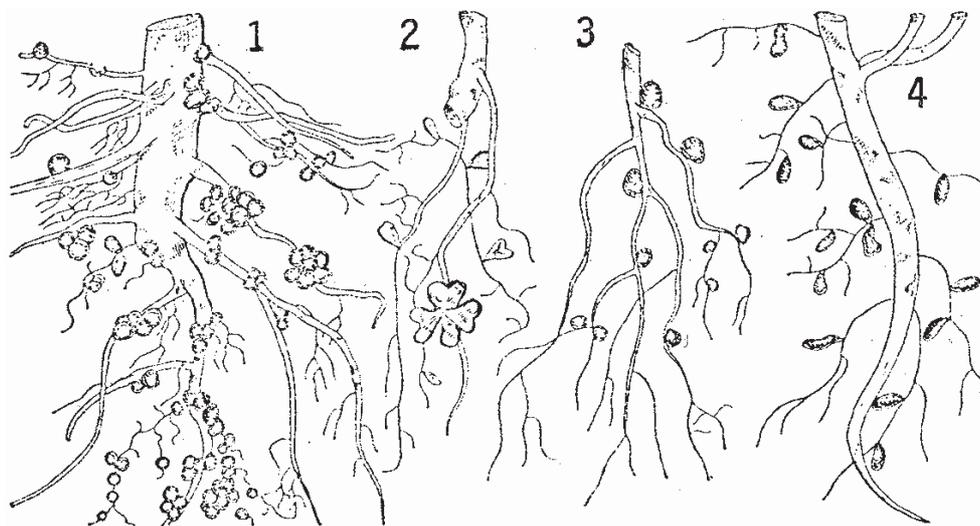
Environ 80 pour cent de l'air est constitué d'azote, qui est souvent l'élément le plus limitant de la croissance des plantes. Les engrais azotés coûtent très cher alors que l'azote libre de l'air peut être fixé par les légumineuses. Celles-ci se caractérisent par des bourgeons et des fleurs à cinq pétales. Des exemples des principales légumineuses de la région (par exemple haricot, arachide, soja, etc.) peuvent être discutés pendant la formation.

Certaines bactéries (organismes microscopiques) dans les nodules des racines de légumineuses fixent l'azote, surtout à la floraison. Tous les nodules ne sont pas actifs. Si l'intérieur du nodule est de couleur rose, le nodule est actif et fixe l'azote, mais s'il est brun, le nodule est inactif. Ainsi, en découpant les nodules, on peut déterminer s'ils sont actifs ou pas.

La fixation de l'azote par les légumineuses dépend de la spécificité des espèces de bactéries par rapport à ces plantes, parce que les bactéries ne forment des nodules que sur des plantes qui leur sont spécifiques. Pour les plantes locales, les espèces appropriées de bactéries sont constamment présentes dans le sol, mais pour des plantes nouvellement introduites, les espèces correspondantes sont souvent absentes. Dans ce cas, les inoculations des semences de ces légumineuses avec des souches appropriées de *Rhizobia bacteria* augmentent les taux de fixation d'azote. L'appendice 7 donne des détails sur les taux d'azote fixés par des variétés différentes de légumineuses. Cette fixation nécessite des teneurs suffisantes de phosphore dont les déficiences dans le sol exige une fertilisation phosphatée.

La couverture du sol par des légumineuses, associée au semis direct, protège le sol contre l'érosion, réduit les mauvaises herbes et l'évaporation et stabilise les températures du sol. La culture qui vient après une légumineuse bénéficie d'un surplus de 20–40 kg d'azote/ha. Le

Figure 9
Différents types de nodules sur les racines des légumineuses: (1) Soja; (2) Luzerne; (3) Pois; (4) Trèfle blanc (Solmer 1978)



rendement élevé et le feuillage vert foncé d'une graminée cultivée sur un sol précédemment occupé par une légumineuse résultent de la fixation bénéfique d'azote.

Cependant, pour certaines légumineuses, comme le soja, la quantité d'azote transférée avec la récolte peut excéder la quantité d'azote fixée, et ainsi, les cultures successives de soja peuvent réduire la teneur en azote du sol.

L'enfouissement d'une légumineuse est plus enrichissant en azote du sol et il est plus profitable à la culture suivante s'il est fait au stade de pleine floraison ou au moment du remplissage des gousses de la culture. Un minimum de 2-3 semaines après l'enfouissement de l'engrais vert est conseillé avant de semer la graminée afin de permettre la décomposition complète de la légumineuse.

La méthode adéquate pour introduire une légumineuse dans un système cultural ou pour modifier un système cultural à cette fin, exige toujours des essais agricoles préalables faits par les agriculteurs et les chercheurs. Dans les régions où deux cultures par an sont possibles, il est préférable de semer la légumineuse dans la parcelle traitée au début de la première saison culturale, et l'enfouir à la mi-floraison ou au remplissage des grains, et semer alors la graminée dans les deux parcelles au début de la deuxième saison culturale. La parcelle témoin peut être mise en jachère ou semée avec une non légumineuse traditionnelle pendant la première saison culturale. Pour des zones où une seule culture par an est possible, la légumineuse est semée la première année et la graminée l'année suivante.

Le choix de la légumineuse dépend de son cycle végétatif et du climat (précipitations, température et gelées probables). Il est important que la légumineuse pousse bien, produise de grandes quantités de biomasse et fixe des quantités importantes d'azote pour qu'elle soit bénéfique à la culture suivante. Sous certains climats, de grandes quantités de biomasse sont obtenues avec des légumineuses ayant des cycles végétatifs de 4–6 semaines seulement. Des essais agricoles sont nécessaires (faits par des chercheurs) pour identifier les légumineuses les plus adaptées au sol et au climat des régions spécifiques.

Les agriculteurs décideront eux-mêmes, selon leur expérience locale, s'il est préférable de laisser la légumineuse comme couverture du sol ou bien de l'incorporer à l'engrais vert. En général, il vaut mieux la laisser sur le sol et pratiquer le semis direct (sur des sols spécifiques) à cause de ses avantages additionnels de protéger le sol contre l'érosion, de réduire les herbes compétitives, de stabiliser les températures du sol et de réduire l'évaporation.

Approvisionnements de nutriments supplémentaires par des sources organiques et des fertilisants minéraux

Il est souvent difficile, et par conséquent déconseillé, d'estimer le bilan des nutriments en comparant seulement les apports, sous forme organique ou minérale, et les pertes sous diverses formes (pertes avec les récoltes ou par lessivage, quantité restante dans le sol après les récoltes, etc.), par manque de données fiables sur ces facteurs ainsi que sur les quantités d'azote fixée par la légumineuse.

Il serait préférable de maximiser l'usage des matériaux organiques comme sources de nutriments parce qu'ils apportent plusieurs nutriments à la fois et sont physiquement plus bénéfiques aux sols. Néanmoins, les quantités de nutriments apportées par le fumier organique et les légumineuses sont souvent insuffisantes pour obtenir des rendements satisfaisants.

L'on doit considérer tout le système agricole dans son ensemble, parce que certains nutriments apportés à une culture ne sont disponibles qu'après plusieurs saisons à cause de leur diffusion lente, surtout pour les fumiers organiques. Les nutriments ne devraient être appliqués à une culture que si le système agricole facilite leur usage, la culture suivante bénéficiera des effets résiduels.

Sur des sols pauvres, le fumier d'étable, les résidus et les composts qu'on y produit deviennent également carencés en nutriments. Une légumineuse ne pourra même pas fixer l'azote à cause de l'insuffisance du phosphore. La solution serait donc d'y introduire ces nutriments par des sources extérieures sous forme organique ou minérale. Le calcul des coûts des nutriments et de leurs quantités nécessaires, à partir des fertilisants minéraux, doit être fait comme exercice lors des sessions de formation du champ-école des agriculteurs sur la gestion intégrée des sols et des nutriments, au cas où les agriculteurs sont assez nombreux et que des recommandations pour l'usage des engrais existent, sur la base d'analyses du sol et de réponses des cultures (voir exercice 17, Annexe 1).

Utilisation de la terre en fonction de la nature du sol

Lors de la planification de l'usage optimum des terres agricoles, il est important de tenir compte des besoins des cultures, des pâturages, des arbres mais aussi de la nature des sols. Ainsi, le type de méthode agricole sur un terrain donné doit tenir compte de la pente et du type de sol. Pour avoir une bonne concordance entre la méthode agricole, la pente et le type de sol, il est nécessaire de connaître les besoins des cultures à y faire pousser. L'appendice 8 donne des informations sur les besoins optimums de toute une série de cultures.

Différentes cultures poussent bien sur des sols différents parce que les nutriments, l'eau, l'oxygène, la température et la lumière, sont différents. Les pâturages et les forêts poussent bien sur une large gamme de sols, tandis que les légumes et les caféiers ne poussent que sur des sols fertiles et riches en matières organiques. Certaines méthodes culturales nécessitent une source d'eau très proche pour des besoins d'irrigation ou d'eau potable, une route pour faciliter le transport et le travail des machines, ou une maison d'habitation pour la sécurité et la gestion quotidienne convenable.

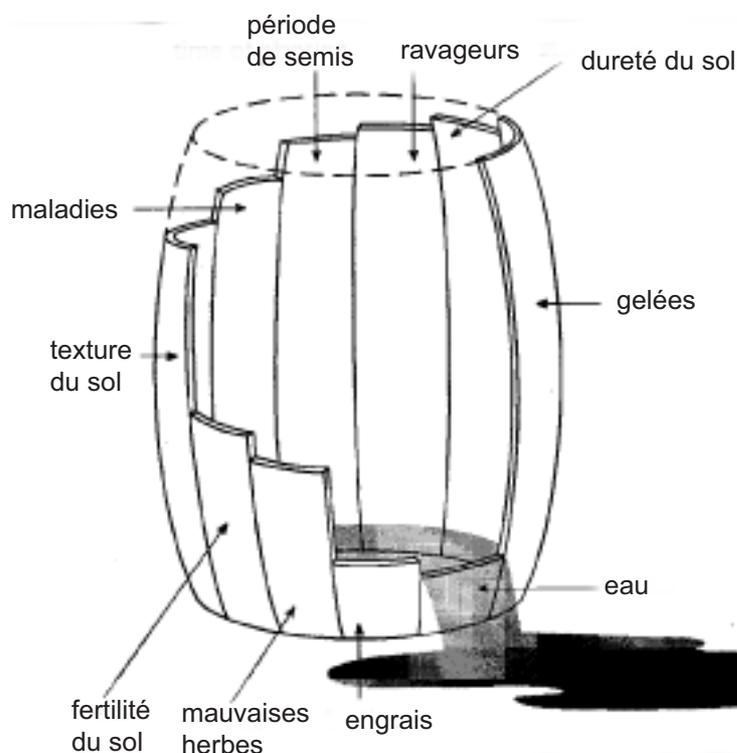
Il est parfois impossible de satisfaire tous les besoins des cultures et certains d'entre eux sont établis sur place. Dans ces cas, il faut qu'une gestion adéquate et des pratiques de protection et de conservation soient entreprises pour conserver et améliorer les sols afin de les rendre moins dégradables et plus convenables à la méthode proposée. Un exemple de pratiques recommandées de conservation des sols et de gestion des graminées, des cultures horticoles et des arbres fruitiers sur différents degrés de pente, est donné dans l'appendice 10.

Améliorer les rendements en maîtrisant les facteurs limitants en ordre décroissant

Les rendements sont déterminés par le facteur le plus limitant, et si celui-ci est maîtrisé, les rendements augmentent jusqu'à ce qu'un deuxième facteur limitant intervienne, et ainsi de suite. Il est très difficile de déterminer les principes des facteurs limitants, mais c'est un concept qui peut être présenté en faisant une analogie avec un fût cassé rempli d'eau.

Dans ce fût d'eau, la longueur des planches varie (figure 10) et la quantité d'eau retenue dépend de la hauteur (longueur) de la planche la plus courte. La quantité d'eau dans le fût peut

FIGURE 10
Schéma d'un fût cassé pouvant illustrer le principe des facteurs limitants



Facteurs limitant les rendements agricoles.

Précipitations	fertilité du sol	ravageurs	texture du sol	gelées
Mauvaises herbes	fertilisants	maladies	dureté du sol	période de semis

être comparée au rendement d'une culture, et ce rendement dépend du facteur agricole le plus limitant, à l'image de la relation entre la quantité d'eau dans le fût et la planche la plus courte.

Si la pluie constitue le facteur limitant, référence faite à la plus petite planche, le rendement sera alors limité par la quantité de pluie. Si l'eau devient suffisante par irrigation, ce qui est simulé par le remplacement de la planche la plus courte par une planche plus longue, le rendement sera déterminé par le second facteur le plus limitant, c'est-à-dire la deuxième planche la plus courte, qui, dans la figure 10, est le taux d'application d'engrais.

Le même concept s'applique aux nutriments présents dans le sol. Ainsi, le premier facteur le plus limitant doit être maîtrisé pour augmenter les rendements jusqu'à ce que le deuxième facteur limitant intervienne et soit maîtrisé à son tour et ainsi de suite.

Les autres principes

Il y a plusieurs autres principes de gestion intégrée des sols et des nutriments, moins applicables, mais qui peuvent parfois être de même importance, ou même plus importants, que les principes généraux. Ceux qui sont énumérés ci-dessous ont été classés suivant leurs apports de nutriments

et d'eau ou d'oxygène, ou selon leur capacité à stimuler l'activité biologique, la stabilité du sol ou à réduire la toxicité.

Les spécialistes des sols et les vulgarisateurs/facilitateurs qui préparent les programmes et les manuels des champs-écoles des agriculteurs pour la gestion intégrée des sols et des nutriments, doivent sélectionner les principes qui sont relatifs à l'environnement agricole, aux systèmes agricoles et à la situation socio-économique des agriculteurs dans la région. Ainsi, le nombre de sessions nécessaires à un champ-école particulier varie avec le nombre de principes à présenter aux participants.

Les principes ci-dessous sont présentés pendant la principale saison agricole ou pendant la saison sèche précédente. Le temps nécessaire par session dépendra du nombre de principes sélectionnés, mais la plupart requièrent une heure et il est donc peu probable que plus de deux ou trois sessions soient nécessaires pour un champ école des agricultures particulier.

Les principes de gestion intégrée des sols et des nutriments relatifs aux apports de nutriments

Les applications fractionnées des fertilisants

L'avantage de la fertilisation fractionnée dans le temps est de faire coïncider les périodes d'apports aux périodes de grandes demandes de nutriments par les plantes. La discussion sur ce sujet peut être introduite en faisant une analogie pour en faciliter la compréhension. L'illustration de ce principe par une démonstration de terrain nécessite toute une saison culturale. Elle peut aussi se faire comme partie d'un essai de fertilisation lors du CEA.

Une culture est comparable à un bébé. Celui-ci doit être seulement nourri quand il en exprime la grande nécessité, c'est-à-dire quand il crie pour exprimer sa faim. De même, les plantes ont des périodes de grandes nécessités pour l'alimentation (nutriments) et d'autres périodes de besoins moindres. Il est donc important d'alimenter les plantes pendant ces périodes de grandes nécessités.

L'azote constitue le nutriment du sol le plus facilement perdu parce qu'il est le plus lessivé par les pluies. Une partie de cette quantité perdue se transforme en gaz et se volatilise quand les engrais azotés sont appliqués sur des sols alcalins. D'où l'importance de la fertilisation fractionnée, surtout pour des engrais azotés, pour assurer des apports azotés réguliers en fonction de ces différentes formes de pertes.

Les demandes en N du maïs sont faibles au début du semis et augmentent rapidement à partir de la troisième semaine pour être maximales entre 10 jours avant l'épiaison et 25–35 jours après l'épiaison. Toutefois, on doit mettre au champ environ 1/3 d'azote et tout le P et le K dès le semis pour une bonne croissance de la plante. Les 2/3 restant sont appliqués quand le maïs atteint la hauteur du genou, ce qui correspond au début de la période de grandes demandes en N, atteignant son sommet juste avant l'épiaison.

Dans les régions pluvieuses, les risques de perte de nutriments par lessivage sont très grands, surtout sur les sols de structure légère. Pour le maïs cultivé dans ces conditions, il est préférable d'appliquer uniformément l'azote pendant les périodes de grandes demandes (c'est-à-dire entre 10 jours avant et 35 jours après l'épiaison) en 3 périodes: 1/3 au semis, 1/3 à la hauteur du genou et 1/3 à l'épiaison.

Pour le riz, les grandes demandes en N correspondent à la période de tallage et à la formation des panicules. Par conséquent, l'azote doit être appliqué en 3 périodes: 1/3 au semis, 1/3 environ 15-20 jours après le semis (correspondant au tallage précoce) et 1/3 à l'initiation des panicules.

La fertilisation fractionnée est très importante surtout pour les cultures ayant des cycles végétatifs longs à cause de la manifestation longue et lente des signes de grandes demandes et des signes de carence en nutriments. Elle est également très importante pour diminuer le risque de lessivage en cas d'application de grandes quantités d'azote.

Le phosphatage des sols acides (fixation du phosphate)

Si des engrais phosphatés sont appliqués dans des sols acides de texture moyenne ou lourde, le phosphore est fortement retenu et devient non mobilisable ou difficilement mobilisable par les plantes. Dans de telles situations, on dit que les sols fixent le P. Pour résoudre ce problème, l'engrais phosphaté doit être placé près et sous la semence pour qu'il soit facilement absorbé par les racines. De plus, si l'engrais phosphaté est concentré, la surface de contact avec le sol est réduite, le P est moins bloqué et devient plus mobilisable par les plantes. Ceci est comparable au fait de donner des graines à un poussin entouré de grands poulets. Si les graines sont éparpillées, le petit poussin en reçoit peu, mais si elles sont concentrées autour de lui, il en reçoit plus.

Au moment de l'application de l'engrais phosphaté comme fertilisant de fond, il est conseillé de le mettre à 5-10 cm à côté et 5 cm en dessous de la semence pour que les racines puissent l'absorber. Grâce à cet emplacement, une faible quantité de phosphore sera bloquée par le sol, comparativement à une application uniformément éparpillée.

Si le phosphore d'un engrais est faiblement mobilisable, comme le phosphore contenu dans le phosphate naturel, il est conseillé de broyer l'engrais avant de l'incorporer au sol. Pour le cas des pâturages et des cultures très serrées, il faut l'appliquer à la volée.

Application des engrais minéraux associés au compost ou au fumier organique.

La fertilisation minérale produit plus de rendement agricole si elle est combinée au compost ou au fumier organique. C'est une pratique très importante et considérée comme une solution possible à plusieurs problèmes de carence en nutriments. Le principe peut être présenté pour discussion ou au cours d'un des essais pendant le CEA GISN.

L'application d'un engrais minéral, en particulier un engrais phosphaté, associé au fumier organique ou au compost, est plus rentable qu'une application simple et isolée. Les avantages de cette association sont généralement dus à:

- la teneur en extra-nutriments, spécialement les oligo-éléments contenus dans le matériel organique;
- une grande humidité du sol, grâce au matériel organique, qui augmente la disponibilité des nutriments de l'engrais;
- une diffusion immédiate des nutriments de l'engrais minéral, associée à une disponibilité faible et diluée dans le temps de nutriments du matériel organique pour approvisionner les nutriments uniformément et pendant toute la période de croissance des plantes;
- une activité importante des organismes du sol, grâce au matériel organique qui crée un sol de meilleure porosité, de meilleure rétention en eau et en nutriments et, par conséquent, crée de bonnes conditions culturales.

Le compost/le fumier doit être bien décomposé et bien conservé pour éviter des pertes de nutriments. Les bons rendements agricoles sont normalement obtenus avec un engrais minéral associé au compost/fumier contenant au moins 30 pour cent du total d'azote à appliquer. Dans certains sols acides, le rendement optimal est obtenu avec une application combinée de fumiers + fertilisant + chaux. L'association fumier organique ou compost + fertilisant minéral convient mieux pour l'horticulture, car il n'y a généralement pas assez de fumier organique disponible pour des cultures de graminées.

Ce sujet peut être introduit au cours de la formation à la gestion intégrée des sols et des nutriments, pour discuter des avantages, des inconvénients et de la faisabilité de la combinaison du fumier ou compost organique et d'un engrais minéral, des systèmes agricoles appropriés à cette pratique et de ce qu'il faut changer dans le système agricole pour produire, stocker et utiliser de plus grandes quantités de matériel organique.

Maximiser l'usage des fertilisants naturels et moins chers

Divers minéraux contiennent des nutriments des plantes, bien que ceux-ci ne se diffusent que très lentement. Les phosphates naturels sont les fertilisants les plus communément utilisés. Ils contiennent généralement 12–16 pour cent de phosphore et 35-38 pour cent de calcium. Ils sont toujours efficaces sur les sols acides (pH < 5,5). La combinaison du soufre ou du fumier organique et du phosphate naturel augmente l'acidité du sol, aide le phosphate naturel à se dissoudre lentement et le rend plus réactif. La valeur fertilisante du phosphate naturel varie avec le type de culture, mais la meilleure réponse est généralement obtenue avec des cultures pérennes à cause de la libération lente du phosphore.

La roche calcaire, le calcaire dolomitique, le gypse, le sulfure et les dépôts des lacs, des rivières et des rigoles, contiennent tous des nutriments des plantes et peuvent, donc, être utilisés comme fertilisants.

La formation d'un champ-école des agriculteurs sur la gestion intégrée des sols et des nutriments peut inclure une démonstration de la valeur fertilisante du matériel minéral naturel, tel que le phosphate naturel, l'application du calcaire et du gypse comme sources moins coûteuses de nutriments: cela dépend des besoins locaux (déficiences en nutriments), de la disponibilité des minéraux adaptés (à bon prix) et de leur valeur fertilisante sur les cultures de la région. Si une telle démonstration a été faite dans les environs du lieu de formation, il faut la visiter pour que les participants à la formation puissent observer et discuter des coûts et des bénéfices agricoles de cette pratique.

Recyclage des nutriments par les cultures à racines profondes

Les nutriments absorbés en profondeur par les plantes à racines profondes peuvent provenir de l'altération du matériel parental ou du lessivage des nutriments provenant de la décomposition des cultures annuelles. Si un sol avec une culture annuelle est carencé en un nutriment, le recyclage des nutriments par les racines profondes peut les ramener dans les couches superficielles.

Il est difficile de démontrer que les cultures profondément enracinées absorbent des nutriments lessivés et diffusés par la décomposition de la roche-mère au delà de la rhizosphère des cultures annuelles et que ces nutriments soient recyclés à la surface du sol par accumulation des feuilles et des résidus. Cependant, la compréhension de ce concept de recyclage des nutriments par les arbres et les cultures de racines profondes peut être facilitée par l'exercice 6 de l'annexe 1 sur le recyclage des nutriments, l'activité biologique et les pratiques culturales.

Au cours d'un champ-école des agriculteurs sur la gestion intégrée des sols et des nutriments, la discussion peut se focaliser sur les changements à faire dans l'actuel système agricole pour améliorer le recyclage des nutriments, sur les avantages, les inconvénients et la faisabilité de l'introduction des cultures à racines profondes en association avec les cultures annuelles et les pâturages, (par exemple les arbres dispersés, les cultures intercalées avec des arbres ou des cultures de couverture à racines profondes comme le manioc, ou des rotations avec les arbres ou les cultures de couverture), la possibilité d'introduire des espèces d'arbres fruitiers, fixateurs d'azote ou fournissant du bois de chauffe.

Modification de l'acidité du sol par les amendements pour augmenter la disponibilité des nutriments et réduire les toxicités

L'incorporation des amendements capables de changer l'acidité du sol réduit les problèmes de toxicité et augmente la disponibilité des nutriments. La compréhension de la nature précise du problème est essentielle, c'est-à-dire, si la faible croissance des plantes est due à :

- une déficience en phosphore ou en oligo-éléments (fer, manganèse, zinc, bore) due à l'alcalinité (pH élevé) qui réduit la disponibilité des nutriments;
- une déficience en phosphore ou en molybdène causée par une acidité élevée (pH faible) réduisant la disponibilité des nutriments;
- une toxicité de l'aluminium ou du manganèse causée par une acidité élevée (pH faible).

La nature exacte du problème sera connue après les analyses chimiques du sol. Les analyses, correctes et faites au bon moment, des échantillons de feuilles des cultures renseignent aussi sur les déficiences en nutriments.

Le type d'amendement nécessaire pour les problèmes indiqués ci-dessus est :

- un matériel acidifiant, comme le soufre;
- un alcalinisant comme la chaux ou le calcaire dolomitique;
- un matériel neutre, comme le gypse, de teneur élevée en calcium pour éliminer la toxicité aluminique;
- un alcalinisant, comme la chaux ou le calcaire dolomitique, pour neutraliser l'excès d'aluminium ou de manganèse;
- un mélange de gypse + chaux ou une grande quantité de matériaux organiques pour complexer l'aluminium ou le manganèse en excès.

Il est conseillé de consulter l'institut de recherche le plus proche pour les amendements appropriés aux problèmes des sols de la région et, si nécessaire, installer des essais pour démontrer l'effet des ces amendements sur la croissance des cultures et sur les rendements.

Les principes de gestion intégrée des sols et des nutriments relatifs aux réserves d'eau

Ameublir le sol des couches profondes compactées qui limitent l'enracinement

La disponibilité de l'eau pour les plantes peut être améliorée en ameublissant les couches du sol profond compactées qui empêchent les racines de pénétrer en profondeur et d'absorber l'eau du sous-sol. L'origine de ces couches compactées du sous-sol peut être naturelle ou due à la mécanisation, à la traction animale et même au labour à la houe. Si ces couches sont

imperméables et limitent à la fois la percolation de l'eau et la pénétration des racines, l'ameublissement favorisera une profonde percolation de la pluie qui permet à l'oxygène d'entrer dans la rhizosphère en produisant un enracinement plus profond.

La démonstration de ce principe au cours de la formation sur la gestion intégrée des sols et des nutriments exige que le facilitateur prépare à l'avance une zone cultivée mais dont le sous-sol précédemment compacté a été retourné avant le semis. Cette zone correspond à la zone «traitée» et la zone voisine, non ameublie, sera la «zone témoin». La zone ameublie peut être très petite, par exemple la fosse qui a servi à la démonstration de l'effet des couches compactées du sous-sol sur la profondeur d'enracinement.

Les zones dans lesquelles les couches compactées du sous-sol constituent un problème majeur, les pratiques de «labour profond» avec un tracteur, une charrue à bœuf ou à la houe, peuvent être testées dans une exploitation. Si la culture est en floraison ou à un stade plus avancé de croissance, creuser une fosse (50 cm de profond et 1 m de large), parallèlement et près des rangées de cultures dans la zone traitée et dans la zone non traitée. Ceci permet la comparaison de la profondeur d'enracinement et de l'humidité du sol dans les deux parcelles. Par rapport à la zone témoin, la profondeur d'enracinement peut être importante dans la zone traitée grâce à un labour profond. Au contraire, dans la zone témoin, l'humidité du sol sera probablement plus importante sous la couche compactée limitant l'enracinement, comparativement à la parcelle traitée, à cause de l'absence des racines. Les rendements sont comparés après la récolte des deux parcelles.

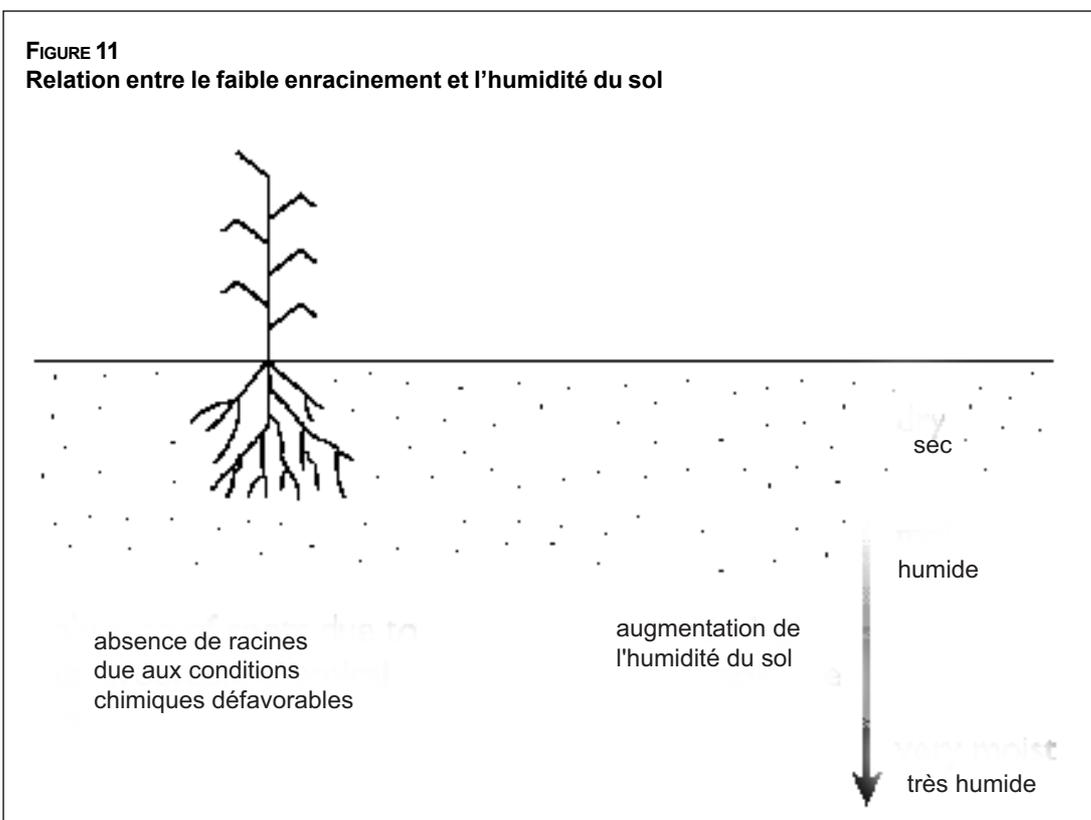
Un tel essai peut initier la discussion sur les avantages, les inconvénients et la faisabilité d'un labour profond des sols compactés qui limitent la pénétration des racines. On peut également discuter sur l'usage du labour biologique avec des cultures de racines très vigoureuses, comme le pois cajan, qui peuvent percer les couches compactées.

Maîtriser les limitations chimiques à la pénétration des racines

L'application d'un amendement approprié augmente le volume de sol nécessaire à un bon enracinement. Il existe plusieurs types de limitations chimiques à l'enracinement, telle que l'aluminium, le sodium, le molybdène, le bore, la salinité élevée, les déficiences en P et Ca. Des connaissances plus détaillées sur le sol et l'eau seront nécessaires pour identifier la nature précise du problème et pour donner des recommandations sur la méthode agricole appropriée pour la récupération et la gestion de la fertilisation, pour le résoudre. D'où la nécessité d'une aide technique aux agriculteurs à cet effet. Voici quelques exemples de pratiques recommandées :

- la chaux ou le gypse, ou le mélange des deux contre la toxicité aluminique;
- le gypse (dans les sols non calcaires) ou le mélange gypse + soufre ou engrais vert (dans les sols calcaires) contre la toxicité sodique;
- le lessivage, drainage et gypse contre les problèmes de salinité et d'alcalinité;
- engrais phosphatés et calcium contre les déficiences en phosphore et calcium.

Si l'état chimique du sous-sol limite la pénétration des racines et la disponibilité de l'humidité dans la région, la pratique culturale appropriée peut être testée (voir Essai 5, Annexe 1). Il faut, pour cet essai, sélectionner un champ avec des cultures annuelles dont les racines sont limitées en profondeur par des facteurs chimiques. Il faut envoyer un échantillon de sol (de surface et de profondeur) au laboratoire de pédologie pour des analyses détaillées afin de confirmer les facteurs chimiques non favorables. S'informer sur les amendements appropriés, sur la méthode de gestion des pratiques de fertilisation et sur le type, la quantité, la forme et le calendrier de leur application. Choisir une période de croissance végétale qui présente des signes de carence



d'eau dans la zone de limitation des racines et des signes de présence de l'eau en profondeur (voir figure 11). Ceci se fera quand :

- il y a eu une pluie suffisante pendant la saison culturale pour humidifier tout le profil du sol;
- les racines ont eu le temps de pénétrer dans le sol en l'absence de conditions chimiques défavorables du sol (ce qui peut correspondre au stade de floraison);
- les racines ont eu le temps d'assécher la rhizosphère (10–15 jours) après les dernières pluies significatives.

Une discussion peut alors se faire sur les problèmes de limitation des racines et s'ils risquent d'affecter la croissance des plantes. Si de tels problèmes surviennent, il est nécessaire d'envoyer des échantillons de sol au laboratoire et de demander l'avis d'experts sur la nature des problèmes et sur la méthode de fertilisation/récupération/gestion adéquate pour les résoudre.

Aménager des terrasses de sol pour faciliter l'infiltration, réduire le ruissellement et les pertes de sol

La modification de la surface du sol pour former des terrasses favorise l'infiltration et réduit les pertes d'eau par ruissellement et l'érosion. Le test qui a servi pour illustrer les avantages de la couverture du sol pour réduire le ruissellement peut être modifié pour démontrer l'utilité des terrasses. Si nécessaire, une discussion peut être initiée sur les avantages, les inconvénients et la faisabilité d'aménager des terrasses pour favoriser l'infiltration et pour réduire le ruissellement et l'érosion, et sur les cultures, les degrés de pente, les types de sols et de terrasses qui conviennent pour la région.

Irrigation supplémentaire pendant les périodes critiques

L'irrigation est d'une grande importance pour augmenter l'humidité du sol dans les régions où celle-ci constitue le facteur limitant des rendements agricoles.

L'eau d'irrigation est plus nécessaire pendant les périodes critiques au cours du cycle végétatif. Tout stress hydrique pendant cette période peut affecter les rendements agricoles. Les périodes critiques pour différentes cultures sont présentées dans l'appendice 9. Une assistance d'un expert est parfois nécessaire pour aider les participants à sélectionner et appliquer le système d'irrigation approprié aux systèmes culturaux faisant l'objet de la formation.

Mener les travaux agricoles parallèlement aux courbes de niveau

Si le labour se fait de haut en bas de la pente, les dépressions formées par les machines agricoles seront orientées vers le bas de la pente et augmentent ainsi les pertes par ruissellement et les risques d'éboulements de sol. Au contraire, si toutes les opérations dans les exploitations en pente sont faites parallèlement aux courbes de niveau, les surfaces irrégulières qui en résultent constituent des zones de rétention et de stockage d'eau de ruissellement, permettant plus d'infiltration et moins de pertes d'eau.

Les travaux agricoles parallèles aux courbes de niveau ne sont pas suffisants à eux seuls pour empêcher les ruissellements (ou l'érosion), ils doivent être appuyés par d'autres pratiques telles que la disposition des élagages d'arbres et de cultures parallèlement aux courbes de niveau pour constituer des barrières perpendiculaires à la pente. L'illustration de ce principe est montrée dans l'exercice 20, annexe 1.

Aménagement des barrières perméables intermittentes et perpendiculaires à la pente

Les barrières perméables perpendiculaires à la pente, telles qu'une bande de végétation ou de résidus végétaux, distantes les unes des autres sur toute la pente, dispersent et diminuent la vitesse de ruissellement et favorisent plus d'infiltration. Elles sont plus efficaces sur des terrains à faible pente avec un faible ruissellement et elles peuvent être associées à d'autres pratiques de conservation des précipitations.

L'effet des barrières perméables sur la diminution de la vitesse de ruissellement et sur l'amélioration de l'infiltration, est plus remarquable sur les cultures avoisinantes qui bénéficient du surplus d'infiltration et de moins de menaces du ruissellement.

Les barrières perméables ont plus d'effets sur la rétention des particules de sol emportées par le ruissellement que sur l'augmentation de l'infiltration. Les particules ainsi retenues contribuent, à long terme, à la formation des terrasses.

L'usage des bandes d'herbes connaît des succès si les agriculteurs ont besoin de l'herbe pour leur bétail ou si le coût de l'herbe dans la région est suffisamment élevé. Il faut sélectionner les espèces d'herbes adaptées à l'environnement agro-écologique, qui peuvent servir comme fourrage du bétail et non concurrentes aux cultures avoisinantes et qui peuvent constituer une barrière filtrante du sol emporté par ruissellement. Il faut éviter les herbes stolonifères ou rhizomateuses à cause de leur tendance à envahir les cultures voisines. Les bandes d'herbes qui s'alternent avec les courbes de niveaux doivent être accompagnées par d'autres pratiques, telles que les résidus culturaux à la surface du sol, pour mieux contrôler les pertes de sol, surtout sur des pentes de plus de 10 pour cent. On peut également utiliser d'autres types de cultures,

comme la canne à sucre, capables de former une barrière perméable et ayant un certain intérêt économique.

Les barrières imperméables, comme les bords des caniveaux, favorisent aussi une infiltration importante d'eau et peuvent limiter l'érosion par ruissellement.

La démonstration de l'importance des barrières perméables sur l'infiltration peut se faire en utilisant des boîtes inclinées de sol comme décrit dans l'exercice 10, annexe 1 et disposer au milieu d'une des boîtes, des lignes de résidus cultureux de 5 cm de large et perpendiculaires à la pente, ou procéder par un essai de terrain. Voir l'essai 6, annexe 1 pour plus d'informations.

La discussion sur ce thème peut se focaliser sur les types de barrières perméables (les résidus cultureux et les mauvaises herbes, les cailloux, les élagages, les bandes d'herbes) et sur leurs avantages, leurs inconvénients, leurs limitations, sur leur influence sur l'érosion et l'éboulement de terrain.

Semis direct ou labour minimum

Le labour est considéré depuis des années comme un moyen d'augmenter la fertilité du sol. Ceci peut être vrai à cause de la minéralisation des nutriments qui en résulte. Cependant le labour continu et intensif conduit, à long terme, à la réduction de la matière organique qui est une source de nutriments et de stabilisation de la structure du sol, et aboutit à la dégradation physique du sol. Il en résulte un durcissement et un compactage du sol et l'érosion elle-même. Le problème est plus accentué sous les tropiques.

Sur un sol non labouré depuis des années, les résidus cultureux restent sur place et forment une couche de paille qui protège le sol, non seulement contre l'impact physique de la pluie et du vent, mais aussi stabilise l'humidité et la température du sol. De telles conditions font de la zone un habitat préféré pour de nombreux organismes, de grands insectes aux bactéries et aux champignons. Cette faune broie la paille, l'incorpore et la mélange avec le sol, la décompose en humus et contribue, ainsi, à la stabilisation physique du sol. Une large partie de cette faune, comme les vers de terre, produit un sol bien structuré avec des agrégats stables et des macropores, répartis de la surface du sol aux couches profondes, permettant une meilleure infiltration de l'eau en cas de pluies suffisantes. Ce processus est appelé «labour biologique» et il est incompatible avec le labour mécanisé.

La non mécanisation agricole est seulement conseillée dans les systèmes agricoles où les organismes du sol font eux-mêmes ce travail. Néanmoins elle doit s'accompagner de l'application d'intrants tels que les pesticides et les engrais minéraux. Ceux-ci ne doivent pas endommager la vie du sol. Comme l'objectif de l'agriculture est la production de cultures, il est nécessaire de modifier la gestion de la lutte contre les ravageurs et les mauvaises herbes.

Le brûlis des résidus cultureux est considéré comme nécessaire principalement pour des raisons phytosanitaires, comme le contrôle des ravageurs, des maladies et des mauvaises herbes. Dans un système agricole faiblement mécanisé basé sur le paillage et le labour biologique, d'autres méthodes alternatives sont nécessaires pour contrôler les maladies et les mauvaises herbes. C'est le cas de la rotation culturale, la rupture de la contamination enchaînée des cultures successives. Les pesticides synthétiques, en particulier les herbicides, sont inévitables les premières années dans quelques systèmes sans labour ou avec un labour minimum, mais ils doivent être prudemment utilisés pour minimiser leurs impacts négatifs sur la vie du sol.

Assurer un bon contrôle des mauvaises herbes

Toutes les plantes pompent l'eau du sol par leurs racines et cette eau sera perdue dans l'air par des petits trous dans les feuilles. Cette perte d'eau par les feuilles est appelée «transpiration» et constitue un phénomène très important dans la vie des plantes.

Ceci peut être démontré durant les sessions de champ-école des agriculteurs GISN en sélectionnant une grande herbe ou une touffe d'herbes sur un sol humide, envelopper cette touffe dans un sac en plastique jusqu'aux tiges pour que l'eau transpirée n'échappe pas. Mais avant de mettre le sac, il est important de montrer aux participants qu'il est bien sec. Retirer le sac après 5-10 minutes et le montrer aux participants pour qu'ils observent la quantité d'eau qu'il contient.

Aménagement des brise-vents pour réduire les pertes d'eau du sol

L'installation des coupe-vents permet de lutter contre les pertes d'humidité du sol par érosion éolienne. Si la vitesse du vent augmente, les cultures transpirent plus et perdent plus d'eau et, par conséquent, les sols sèchent plus vite et les cultures souffrent de stress hydrique.

Durant le champ-école GISN, une discussion peut se faire sur l'effet d'un brise-vent sur l'eau contenue dans les plantes et sur l'assèchement des sols (comparer avec les degrés d'assèchement des habits en position protégée et en position exposée aux vents: ils sèchent plus vite en position exposée). Il est possible de discuter des avantages, des inconvénients et de la faisabilité de l'installation des brise-vents (en particulier sur des sols secs) et des cultures et des périodes pendant lesquelles ils sont plus bénéfiques.

Dans les zones où l'érosion éolienne constitue un problème, il est possible d'observer, pendant une visite sur le terrain (exercice 2, annexe 1) les dommages de l'érosion éolienne entre les terrains protégés et les terrains exposés aux vents. Une visite sur le terrain organisée lors d'un vent violent permettrait de visualiser encore plus les effets du vent sur les cultures et le sol. Toute discussion à ce sujet porterait sur l'importance du semis direct et sur le fait d'étaler les résidus culturaux à la surface des sols à risques, en plus de l'installation de brise-vent.

Les principes de gestion intégrée des sols et des nutriments relatifs aux apports d'oxygène

Aménagement de billons pour réduire l'engorgement

Les hommes et les plantes ont besoin d'oxygène, et si les hommes respirent par leur nez et leur bouche, les plantes le font par les racines, bien que certaines (notamment le riz irrigué et quelques herbes) prennent l'oxygène par leurs feuilles et le transportent jusqu'aux racines par les tiges. Pour éviter la confusion, ces exceptions sont mentionnées seulement dans un champ-école pour la gestion intégrée des sols et des nutriments si la question est soulevée par l'assistance. Etant donné qu'une personne doit respirer de l'oxygène, sa bouche et son nez ne peuvent pas rester longtemps sous l'eau; de même, la plupart des plantes ne peuvent pas survivre avec des racines immergées dans l'eau, sauf quelques exceptions comme le riz irrigué.

L'engorgement de la rhizosphère réduit fortement le développement des racines à cause de l'insuffisance d'oxygène. La profondeur et la durée de cet engorgement peuvent être réduites par l'aménagement de billons, l'installation des drains ou par la dispersion des sources de ruissellement. Le semis sur des billons permet l'enracinement au-dessus du niveau d'eau, le captage de l'oxygène par les racines et permet, par conséquent, un bon développement des

racines. La comparaison peut être faite entre les racines développées dans un sol gorgé et celles développées dans un sol drainé.

Si le billonnage est considéré comme une solution possible au problème de l'insuffisance des réserves d'oxygène dans la région, la pratique peut être testée lors de la formation à la GISN. Les autres solutions possibles doivent être discutées et prises en considération. L'assistance d'un spécialiste est nécessaire lors du choix du système de drainage adéquat.

Application des amendements sur des sols sodiques

Dans les sols avec de grandes teneurs en sodium (sols sodiques), le sodium produit une structure imperméable qui est immergée pendant les périodes humides, il en résulte une insuffisance d'oxygène. L'application des amendements chimiques sur des sols sodiques, suivie d'un lessivage, améliore la structure du sol qui conduit à l'augmentation de la perméabilité, à une grande réserve d'oxygène pour les racines et à de meilleurs rendements. Le type et la quantité d'amendements à appliquer dépendront du degré de saturation en sodium du sol, de la texture du sol, de la présence ou l'absence des carbonates de calcium et du coût des amendements localement disponibles.

Les procédures les plus utilisées pour récupérer les sols sodiques sont:

- application du gypse suivie d'un lessivage;
- application du soufre (en cas de présence du carbonate de Ca) suivie d'un lessivage;
- planter des cultures tolérantes au sodium, comme le riz irrigué, suivi d'une application d'engrais vert et de fumier organique (en cas de présence du carbonate de Ca), qui est une pratique peu coûteuse et lentement active.

Des analyses chimiques et des conseils d'un expert seront nécessaires pour déterminer la pratique la plus appropriée pour les sols sodiques.

Si le problème sodique apparaît dans une région où se tient une session de champ-école des agriculteurs, il faut effectuer des visites dans une exploitation où une pratique de récupération des sols sodiques a bien réussi. On demandera aux agriculteurs qui l'appliquent d'en expliquer la procédure, les coûts, le temps nécessaire (en terme de nombre de saisons culturales), les bénéfices obtenus. Les participants en examineront la faisabilité sur leur propre terrain.

Labour profond pour ameublir les couches imperméables du sol (voir aussi la section précédente sur l'ameublissement des couches compactes limitant l'enracinement).

Les couches compactes du sol bloquent la percolation de l'eau et limitent l'accessibilité de l'oxygène aux racines des plantes. Après l'ameublissement de cette couche, l'eau de pluie peut percoler jusqu'aux horizons plus profonds, l'oxygène peut alors parvenir dans la rhizosphère et ainsi l'enracinement plus profond est possible.

Les effets de l'ameublissement des couches imperméables par un labour profond peuvent s'évaluer en observant le comportement des terrains présentant des problèmes connus de couches compactes du sous-sol. Au cours des essais de terrain, quelques observations peuvent être faites juste après les grandes pluies, au moment où la couche compacte est engorgée dans la zone témoin (non traitée), alors qu'elle est mieux drainée dans la parcelle traitée grâce à la percolation de l'excès de l'eau jusque dans les couches profondes, permettant l'entrée de l'oxygène dans le sol. La profondeur d'enracinement devrait également être plus importante dans la parcelle traitée que dans la non traitée.

Après la récolte, les participants à la formation comparent les rendements des deux parcelles. Les effets du labour profond s'évaluent en comparant les données sur les deux parcelles en tenant compte du degré de saturation en eau dans la couche compacte, de la profondeur des racines et des rendements agricoles.

Les principes de gestion intégrée des sols et des nutriments relatifs à la stabilité du site

Maximiser la couverture du sol par les plantes et les résidus culturaux

L'érosion éolienne est généralement plus importante dans les exploitations mécanisées, et plus particulièrement en cas de sol sec, de vents forts et fréquents et s'il n'y a que peu de résidus culturaux étalés sur le sol après la récolte. Une bonne couverture du sol par les plantes ou les résidus culturaux réduit la vitesse du vent à la surface du sol et réduit, ainsi, l'érosion éolienne. Les bandes de terres disposées parallèlement à la direction du vent et non couvertes de plantes ou de résidus culturaux, sont plus exposées aux risques d'érosion éolienne.

Installation d'arbres à racines profondes

Les mouvements des masses font référence aux glissements de terrains. Les flux de boue sont comparables aux éboulements mais au lieu des mouvements d'une masse solide, la terre coule sous forme presque liquide. La saturation en eau conduit à la rupture rapide de la stabilité du sol qui devient fluide. Les éboulements et les flux de boue apparaissent souvent lors de pluies importantes et saturantes.

Les arbres et d'autres plantes pompent l'eau du sol par les racines et la perdent dans l'air sous forme de transpiration par de petits trous dans les feuilles. Les cultures d'arbres à racines profondes, dans un système agricole, réduisent l'humidité du sol par absorption et par transpiration de l'eau, qui réduisent les risques des mouvements de masse et, ainsi, stabilisent physiquement les sols.

L'effet de la saturation du sol en eau peut être illustré, lors d'une session de champ-école pour agriculteurs sur la gestion intégrée des sols et des nutriments, en donnant à chaque participant un petit échantillon de sol sec récolté dans le sous-sol d'un terrain connu pour ses problèmes d'éboulements et de flux de boue. On demandera aux participants d'ajouter un peu d'eau à l'échantillon de sol sec et de l'enrouler en une boule entre les doigts comme pour déterminer la texture du sol. Ils observeront ensuite l'effort nécessaire pour former une boule à partir de ce sol humide. Une grande quantité d'eau est ajoutée à un autre échantillon de sol sec, celui-ci est également enroulé entre les doigts et on note le degré de facilité de ce travail par rapport au premier cas. Si on continue à imbiber la boule avec plus d'eau, elle finit par couler sous forme de boue.

Annexe 2, Appendice 1

Les nutriments exportés par les récoltes

Culture	Rendement (tonne/ha)	Nutriments exportés (kg/ha)				
		N	P*	K*	Ca*	Mg*
Maïs: grain	1	25	6	15	3	2
	4	63	12	30	8	6
	7	128	20	37	14	11
Riz: grain	1,5	35	7	10	1,4	0,3
	8	106	32	20	4	1
Blé: grain	0,6	12	2,4	3	0,3	1
	5	80	22	20	2,5	8
Sorgho: grain	1	20	0,9	4	4	2,4
	8	65	4	13	18	12,8
Millet: grain	1,1	17	5	59	-	-
Manioc: racines	8	30	10	50	20	10
	16	64	21	100	41	21
	30	120	40	187	77	40
Patates douces: racines	16,5	72	8	88	-	-
Haricot	1	31	3,5	6,6	-	-
Soja	1	49	7,2	21	-	-
Arachide	1	49	5,2	27	-	-
Canne à sucre (culture de 2 ans)	100	75	20	125	28	10
	200	149	29	316	55	58
	300	254	35	499	96	80
Latex sec de caoutchouc	3	7	1,2	4	4	-
Café: cerises sèches	1	25	1,7	16	1	2
Thé: feuilles sèches	0,6	31	2,3	15	2	-
Tabac: feuilles	1	116	14	202	-	-
Cacao: fèves sèches	0,5	10	2,2	5	1	1
Noix de coco sèches	1,2	60	7,2	40	-	-
Fruit de palmier	15	90	8,8	112	28	-
Coton: semences	0,8	30	4,4	7	-	-
Bananes	10	19	2	54	23	30
	30	56	6	161	70	82
Ananas	12,5	9	2,3	29	3	-
Herbes de Guinée	10	107	27	180	78	49
(prod. annuelle	23	288	44	363	149	99
à partir de 6 coupes)	35	560	77	600	230	133

*Pour convertir P en P₂O₅, multiplier par 2,29; Pour convertir K en K₂O, multiplier par 1,2. Pour convertir Ca en CaO, multiplier par 1,4; Pour convertir Mg en MgO, multiplier par 1,66.

Annexe 2, Appendice 2

Liste d'indicateurs des problèmes de sols et de nutriments

Indicateurs culturaux	Fonctionnement inadéquat du sol
Rendement faible ou en diminution	Variable
Faible germination	Variable
Croissance limitée	Variable
Croissance non uniforme	Variable
Symptômes de carence en nutriments	Nutriments
Symptômes de toxicité des nutriments	Substances toxiques
Flétrissement	Eau

Indicateurs du site	Fonctionnement inadéquat du sol
Zone dénudée	Toxicité de sel
Erosion hydrique	Nutriments
Mauvaises herbes	Nutriments, oxygène, substances toxiques
Mares à la surface	Oxygène
Erosion en ravines	Stabilité du site
Erosion éolienne	Stabilité du site
Glissements de terrain	Stabilité du site
Inondation	Stabilité du site

Indicateurs de la morphologie du sol	Fonctionnement inadéquat du sol
Manque de résidus à la surface	Eau, activité biologique
Sels à la surface	Toxicité de sel
Fissures & fentes de retrait	Oxygène, toxicité sodique
Taches rouillées & mince couche huileuse à la surface	Toxicité ferrique
Couche superficielle dure	Durcissement, oxygène
Surface gravelleuse-caillouteuse	Durcissement
Structure en motte de la couche arable	Durcissement, germination
Encroûtement à la surface	Durcissement, eau
Surface étanche	Eau
Faible teneur en matière organique	Eau, activité biologique
Enracinement limité	Durcissement, nutriments, toxicité,
Couches compactées de grande résistance & faible porosité	eau
Dépôts de sels dans le sous-sol	Résistance
Sous-sol de texture légère	Toxicité des sels
Sous-sol très caillouteux	Eau, nutriments
Sol peu profond	Eau, nutriments
Drainage inadéquat	Eau
	Oxygène

Annexe 2, Appendice 3

Symptômes foliaires de toxicité des nutriments

Le fer: La toxicité ferrique apparaît seulement en riziculture irriguée. Les symptômes foliaires apparaissent d'abord sur les feuilles inférieures comme de petites taches brunes près des extrémités et qui s'étendent ensuite vers la base. Les taches fusionnent entre les nervures, sinon la feuille reste normalement verte. En cas de toxicité sévère, la feuille entière devient brun-pourpre et finalement la feuille inférieure meurt. Certaines variétés de riz deviennent jaunes.

Le manganèse: Le principal symptôme apparaît sur les vieilles feuilles qui deviennent ridées et pâles entre les nervures. Sur le riz irrigué, des taches brunes se développent sur les nervures surtout des feuilles inférieures. La plante se rabougrit et le labour est souvent difficile.

Le cuivre: Les symptômes de toxicité ressemblent à ceux du fer, c'est-à-dire que les espaces entre les nervures des jeunes feuilles deviennent jaunes à blancs, mais les extrémités et les bordures restent vertes pendant une certaine période.

Le bore: En riziculture irriguée, la chlorose (perte de la couleur verte) apparaît sur les tiges des vieilles feuilles, surtout le long des bordures, ensuite de larges taches elliptiques de couleur sombre-brune sur les parties affectées se forment, deviennent brunes et se dessèchent. Note: la différence entre la carence et la toxicité du bore est très petite.

L'aluminium: Le symptôme le plus courant est la formation de racines petites et tordues qui sont de couleur brune avec des taches nécrotiques noires. La toxicité aluminique ressemble à la toxicité du fer ou du manganèse ou à la carence en calcium ou magnésium. En riziculture irriguée, des couleurs jaune-oranges apparaissent entre les nervures foliaires.

Une salinité élevée: En riziculture irriguée, les pédoncules foliaires deviennent blanchâtres et certaines parties des feuilles se décolorent.

Annexe 2, Appendice 4

La procédure d'échantillonnage des sols

La procédure d'échantillonnage des sols pour des analyses, peut être présentée seulement aux agriculteurs qui peuvent accéder et payer les analyses dans un laboratoire des sols, ou qui peuvent avoir un équipement de terrain pour ce genre de test.

Il est parfois nécessaire de prélever plusieurs échantillons si les conditions de sol, les rendements agricoles ou les systèmes de gestion changent d'un site à l'autre dans une exploitation. Cependant, les zones sélectionnées doivent être suffisamment grandes pour pouvoir les gérer différemment, par exemple appliquer des quantités et des types différents d'engrais. Les parcelles échantillonnées auront une superficie d'au moins 0,5 ha dans les exploitations non mécanisées, et d'au moins 5 ha dans celles qui sont mécanisées. L'agriculteur devra savoir s'il existe des variations de sols et de rendements dans son champ et si celui-ci est suffisamment grand pour pouvoir y appliquer des méthodes différentes de gestion agricole.

Pour les zones non précédemment cultivées, les exploitations sont subdivisées selon leur topographie (par exemple stabilité du site), la couleur du sol (par exemple sombre, claire ou rouge), la texture du sol (par exemple légère ou lourde), le drainage (par exemple bon ou mauvais), le passé cultural (par exemple avec ou sans légumineuses) ou la méthode précédente de gestion (par exemple avec ou sans fumure/engrais). Présenter la figure 1 comme exemple de subdivision d'une exploitation en deux zones d'échantillonnage.

FIGURE 1
Exemple de subdivision d'une exploitation en différents sites d'échantillonnage

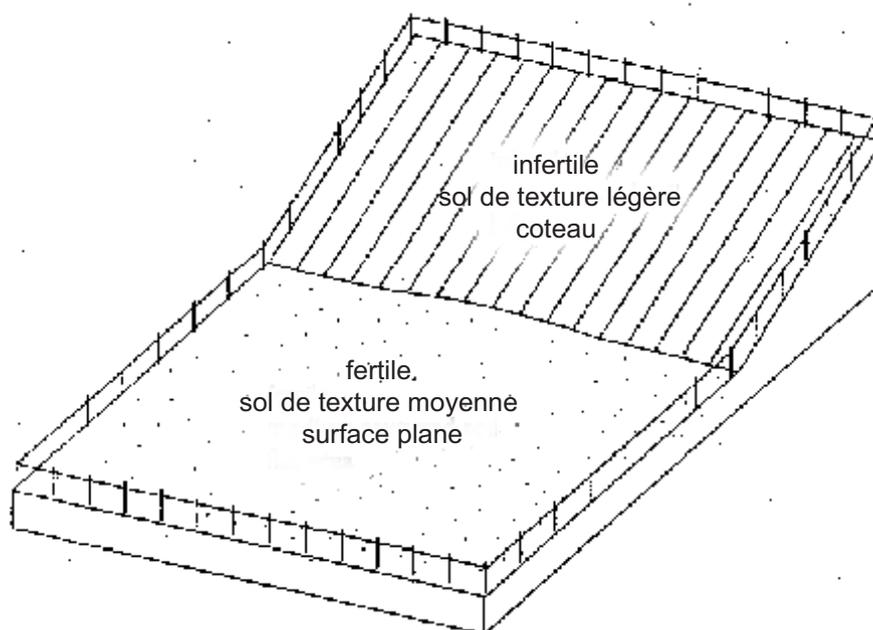


FIGURE 2
Echantillonnage à l'aide d'une tarière

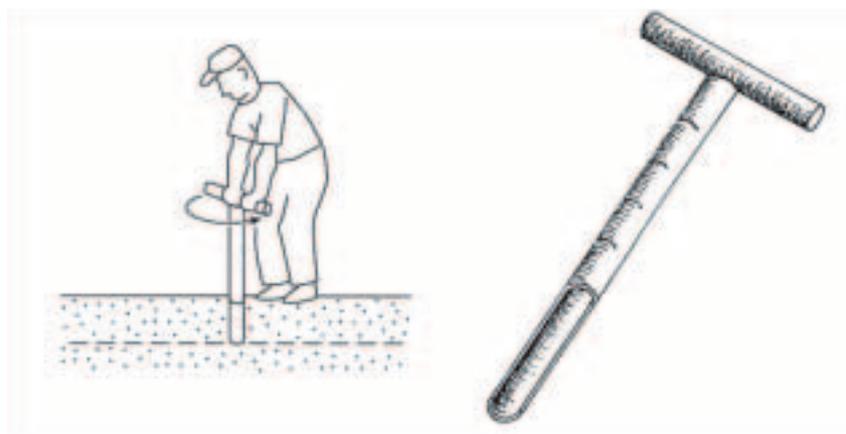
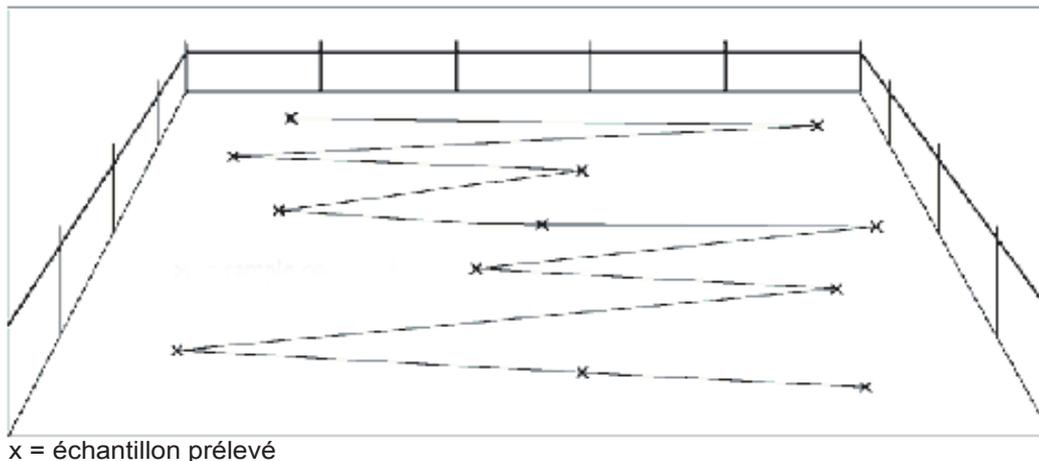


FIGURE 3
Illustration de la collecte, en zigzag, des échantillons dans le champ



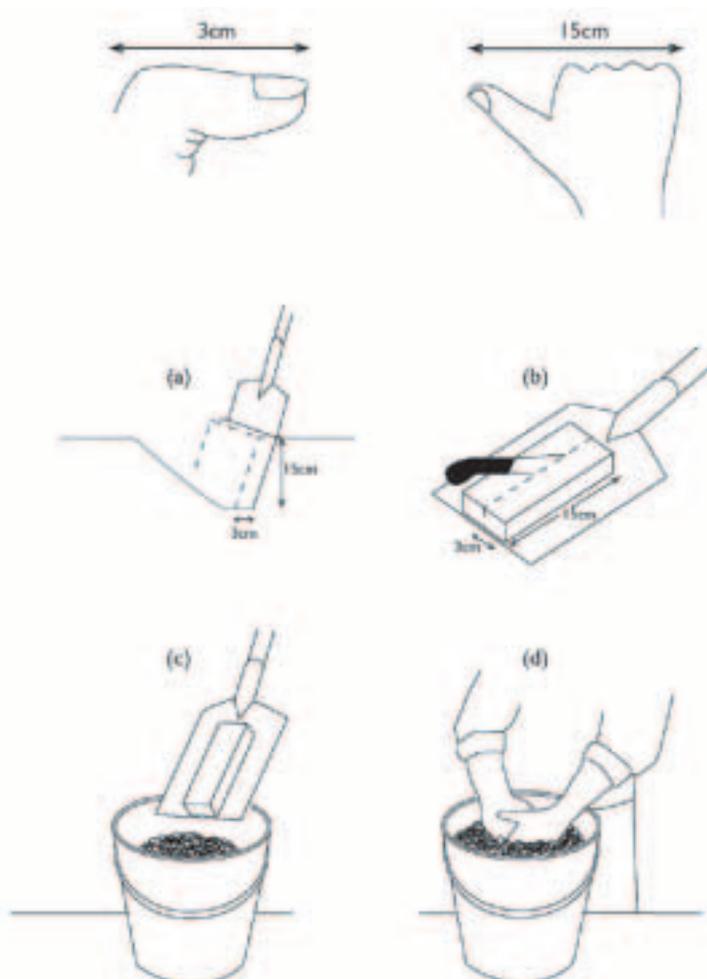
Comme les sols varient fréquemment et considérablement sur de courtes distances, même dans des exploitations apparemment uniformes, il est nécessaire de prélever 15 échantillons dans des localités différentes d'une même exploitation; ces échantillons sont ensuite mélangés pour former un seul échantillon représentatif. L'échantillonnage se fait avec une tarière, une pioche, une houe ou un déplantoir.

Si on utilise une tarière, comme montré dans la figure 2, il faut l'enfoncer en la tournant d'un demi tour dans le sol à une profondeur adéquate, et retirer l'échantillon pour le mettre dans un seau. On applique la même procédure si on échantillonne avec une machette, un déplantoir ou un couteau, mais on doit veiller à ce que les échantillons soient de même dimensions à la surface comme en profondeur du sol.

Procédure:

- Décider s'il est nécessaire de diviser l'exploitation en deux ou en plusieurs zones à échantillonner.
- Pour chaque zone, échantillonner dans 15 endroits bien répartis dans la zone, éviter des sites «exceptionnels» comme les termitières, les parties mal drainées, les lieux d'accumulation de fumier ou de résidus agricoles. Montrer comment prendre l'échantillonnage en zigzagant dans tout le champ, d'un bout à l'autre, et en prélevant au total 15 échantillons uniformément répartis (figure 3).
- La profondeur recommandée, qui est généralement de 15-20 cm pour les cultures annuelles, varie d'un pays à l'autre et dépend de l'épaisseur de la couche arable, de la profondeur du labour, de l'humidité du sol et de la facilité d'enracinement dans le sous-sol.
- La figure 4 montre la méthode d'échantillonnage d'un sol à 15 cm de profondeur avec une pioche ou une houe. Faire une ouverture en forme de «V» de 15 cm à la surface du sol,

FIGURE 4
Procédure recommandée d'échantillonnage avec une pioche



ensuite, avec une pioche, enlever une tranche de sol de 3 cm d'épaisseur sur un des côtés de l'ouverture avec une pioche.

- Retirer la pioche avec cette coupe de sol, comme montré sur la figure 4b. Mettre ce sol dans un seau (figure 4c). Les méthodes de terrain pour mesurer 15 cm et 3 cm avec une main sont montrées à la figure 4.
- Suivre la même procédure, mais en zigzaguant dans toute l'exploitation, pour collecter un total de 15 échantillons, mélanger ceux-ci dans un seau pour en constituer un seul (figure 4d), prélever ensuite un échantillon de 0,5 kg pour le mettre dans un sac en plastique ou en carton.
- Mettre une étiquette sur ce sac pour indiquer le nom et l'adresse de l'agriculteur, le nom ou le numéro du champ, la profondeur et la date d'échantillonnage.
- Les échantillons de sols sont envoyés au laboratoire pour analyses, ou peuvent être analysés directement dans l'exploitation si le matériel requis est disponible. Montrer aux participants l'emploi de cet équipement de terrain, expliquer le sens des valeurs obtenues et comment les convertir en valeurs recommandables pour la fertilisation. Veiller à ne pas trop détailler. L'emploi du matériel de test et l'interprétation de ces valeurs dépendra du type de matériel et des normes locales de fertilisation.

Annexe 2, Appendice 5

Liste des solutions possibles aux problèmes de sols et de nutriments

Problèmes	Cause	Solutions possibles
A. Faible fertilité des sols	i. Déséquilibre ou déficiences des nutriments	Fertilisants minéraux Placement des fertilisants Application fractionnée des fertilisants Calendrier adéquat de la fertilisation Fertilisants non acidifiants Grande disponibilité des nutriments Fertilisation foliaire inorganique Phosphate naturel / Roche phosphatée Fumier Composts Guano Application de résidus cultureux ou litière de forêt Incorporation des engrais verts Rotations avec des légumineuses (inoculées) Cultures intercalées avec les légumineuses Jachères Jachères améliorées
	ii. Faible capacité de rétention des nutriments	Fertilisation minérale fractionnée Fumures organiques Composts Incorporation des biomasses des plantes Couverture avec des résidus cultureux et semis direct Jachères avec cultures de couverture
	iii. Pertes importantes de nutriments par lessivage	Cultures pérennes à racines profondes Cultures en couloirs Arbres dispersés dans les cultures annuelles Arbres dispersés dans les pâturages Jachères améliorées avec plantation d'arbres
	iv. Erosion de la couche arable	Couverture avec des résidus cultureux Semis direct Paillage Densité culturale importante Plantes de couverture Cultures intercalaires Rotation de cultures et cultures dérobées Contrôle des mauvaises herbes par herbicides Pâturages contrôlés Rangées de déchets Barrières végétales perpendiculaires à la pente Semis en courbes de niveau, labour et désherbage Labour minimum Labour en bandes Labour pour ameublir la surface Labour après les pluies Labour profond pour ameublir les couches imperméables Rangées de pierres Tas de pierres Vergers, banquettes et terrasses Canaux de dérivation

B. Faible productivité agricole	i. Faibles rendements agricoles	Variétés améliorées Diversification des cultures	
	ii. Utilisation extensive des terres	Densité culturale importante (avec engrais ou compost) Cultures intercalaires Rotation de cultures Cultures en couloirs Jardins potagers	
	iii. Semences de mauvaise qualité	Sélection des semences améliorées Traitement des semences	
	iv. Mauvaises herbes	Herbicides Herbicides semi-botaniques Gestion intégrée des mauvaises herbes Rotations culturales Cultures à croissance dispersée comme les cucurbitacées Plantes de couverture	
	v. Les ravageurs ou les maladies	Gestion intégrée des ravageurs Pesticides minéraux Pesticides naturels Pièges pour insectes Plantes répulsives des insectes Rotations culturales	
	vi. Microclimats défavorables	Arbres d'ombrage Coupe-vent Voir i, iii et iv	
	vii. Faible fertilité	Voir A	
C. Présence de substances toxiques	i. Toxicité aluminique ou de manganèse	Espèces tolérantes à l'acidité Variétés tolérantes à l'acidité Chaulage ou calcaire dolomitique Application du gypse Application du gypse et de la chaux	
	ii. Toxicité ferrique	Drainage	
	iii. Salinité	Lessivage Drainage	
	iv. Sodium	Application du gypse Lessivage	
D. Rétention et réserves d'eau insuffisantes	i. Faible infiltration	Couverture avec des résidus culturaux et semis direct Paillage Plantes de couverture Pierres laissées à la surface du sol Rangées de déchets Barrières végétales perpendiculaires à la pente Semis en courbes de niveau, labour et désherbage Labour en bandes Labour minimum Labour profond pour ameublir les couches imperméables Billons + sillons Sillons Protection faite de rangées de pierres Tas de pierres permettant l'infiltration Digues d'infiltration Trous d'infiltration Banquettes, vergers et terrasses	
		ii. Vents violents	Coupe-vent
		iii. Evaporation importante	Couverture avec des résidus culturaux et semis direct Paillage

	iv. Sol à faible capacité de rétention d'eau	Incorporation des fumures organiques Incorporation des plantes de couverture Jachères conservatrices d'humidité Arrosage ou infiltration par goutte-à-goutte
	v. Faibles précipitations	Variétés ou cultures résistantes à la sécheresse Jachères conservatrices d'humidité Collecte de l'eau Cultures en bandes avec des endroits de collecte des eaux Cultures en demi-lune ou dans des trous Collecte des eaux des toits Systèmes d'irrigation
	vi. Enracinement réduit	Désagréger les couches compactes par un labour profond Amendements pour neutraliser la toxicité Fertiliser pour corriger les déficiences en nutriments Drainages pour abaisser le niveau de l'eau
E. Insuffisance des réserves d'oxygène	i. Accumulation des ruissellements	Canaux de dérivation Voies de décharge
	ii. Nappe phréatique superficielle ou couches de sol imperméables	Billonnage Buttage Labour profond du sol Sillons Drainage Voies de décharge
F. Faible activité biologique	i. Manque de résidus et de matière organique dans le sol	Couverture avec des résidus culturaux et semis direct Paillage Cultures de couverture Fumures organiques Cultures produisant de grandes quantités de résidus lentement décomposables Densité culturale élevée
	ii. Sols épuisés	Rotations culturales Rotations avec les pâturages Composts et fumures organiques
	iii. Pesticides toxiques	Pesticides naturels Cultures repoussant les insectes Appâts d'insectes Gestion intégrée des ravageurs Gestion intégrée des mauvaises herbes
G. Instabilité des sites	i. Erosion hydrique due au ruissellement	Couverture avec des résidus culturaux et semis direct Pierres de protection à la surface du sol Cultures de couverture Paillage Pâturages contrôlés Barrières végétales perpendiculaires à la pente Barrières de pierres Billonnage en courbes de niveau Tranchées le long des routes Canaux de dérivation Voies de décharge Terrasses en banquettes Jardins potagers en terrasses Terrasses en plate-forme
	ii. Érosion éolienne	Couverture avec des résidus culturaux et semis direct Récolter bien au dessus du niveau du sol Paillage Cultures de couverture Cultures intercalaires Cultures continues Cultures denses Digues et sillons Coupe-vent

	iii. Mouvements des masses	Sylviculture/arboriculture Canaux de dérivation
	iv. Inondations	Canaux de dérivation Canaux de décharge
H. Croissance restreinte des racines	i. Dureté excessive du sol due aux couches compactes	Labour profond (pour la récupération) Labour vertical avec des outils pointus Labour profond périodique Contrôle de la circulation des machines agricoles Labour biologique avec cultures à racines profondes
	ii. Manque d'oxygène	Voir E
	iii. Manque de phosphore	Engrais phosphatés Phosphates naturels Chaulage pour réduire l'acidité
	iv. Substances toxiques	Voir C
I. Faible taux de germination des semences	i. Insuffisance d'humidité	Couverture avec des résidus cultureux et semis direct Paillage Semis profond en conditions sèches
	ii. Insuffisance d'oxygène	Buttage Drainage Canaux de dérivation Orifices d'évacuation Labour profond Niveler le sol
	iii. Températures élevées	Couverture avec des résidus cultureux et semis direct Paillage
	iv. Températures très basses	Semis sur billons Buttage Coupe-vents Drainage Absence de résidus
	v. Structure en mottes	Labour en bandes Labour avec la charrue à disques Fumures organiques Rotations culturales avec des jachères d'herbes
J. Faible levée	i. Durcissement excessif du sol	Couverture avec des résidus cultureux et semis direct Planter au milieu des résidus cultureux Paillage Fumures organiques Planter sur les billons Semis très dense Semis peu profond
	ii. Durcissement dû aux couches superficielles compactes	Labour vertical avec des instruments pointus Fumures organiques Incorporation des cultures de couverture
K. Coûts de production élevés	i. Coûts élevés de main d'oeuvre	Équipement manuel pour semer et fertiliser Traction animale pouvant semer et fertiliser à la fois
	ii. Coûts élevés de la mécanisation	Semis direct à la volée Labour par traction animale
	iii. Coûts élevés des pesticides	Gestion intégrée des mauvaises herbes Herbicides systémiques Rotations culturales Plantes de couverture Gestion intégrée des ravageurs Pesticides naturels Plantes anti-insectes Pièges pour insectes Achats en gros des pesticides

	iv. Coûts élevés des fertilisants	Rotations avec les légumineuses Fumure organique Composts Applications économiques des fertilisants Applications fractionnées Placement des fertilisants Applications au bon moment Phosphates naturels Achat en gros
	v. Crédits élevés	Création des banques communales
L. Faibles profits	i. Manque de diversification	Diversification de l'agriculture et de l'élevage Données économiques sur les différentes entreprises Information sur le commerce Accès aux crédits Améliorer la disponibilité des semences et des plantes Planification agricole
	ii. Prix bas	Ventes en gros par les associations d'agriculteurs Silos pour retarder la période de vente Traitements agro-alimentaires pour augmenter la valeur
M. Pollution de l'environnement	i. Pesticides toxiques	Pesticides naturels Gestion intégrée des ravageurs Cultures répulsives des insectes Pièges d'insectes Rotations culturales Gestion intégrée des mauvaises herbes Contrôle de la qualité du sol et de l'eau
	ii. Contamination des eaux par les fertilisants	Fertilisations fractionnées Doses économiques d'application Placements des fertilisants Légumineuses pour réduire les quantités d'engrais azotés Appliquer de grandes quantités de fumures organiques Mettre de grandes quantités de composts Surveillance de la qualité de l'eau
	iii. Contamination de l'eau par les sédiments	Voir G-i. Contrôle de la qualité de l'eau

Annexe 2, Appendice 6

Teneur en nutriments des fumiers, des résidus cultureux et des déchets agricoles

Source	Quantité produite	Teneur en nutriments		
		N	P	K
Fumiers				
Fumier de bétail (1)	6 tonne/animal/an	36	8	30
Fumier de volaille (1)	1 tonne/40 poulets/an	23	9	10
Fumier de porc (1)	3 tonne/animal/an	15	5	13
Guano (6)	1 t	10	5	
Résidus cultureux				
Paille de maïs (2)	3 tonne/ha	30	6	36
Paille de riz (2)	1,5 tonne/ha	7	1	18
Paille de blé (2)	1 tonne/ha	3	0,8	14
Paille de sorgho (2)	1,2 tonne/ha	6	0,4	2
Tiges de cotonnier (4)	1 tonne/ha	13	3	23
Compost rural (3)	1 t	7	1	4
Déchets agricoles				
Boue filtrée de canne à sucre (4)	(1 tonne)	12	10	3
Cendres de canne à sucre (d'usine) (4)		1	3	19
Pulpes de café (3)		15	1	30
Tourteau avec huile de noix de coco(3)		31	8	14
Tourteau avec huile d'arachide (3)		45	7	12
Coquilles d'arachide (4)		10	1	9
Cendres de bois (4)		-	6	40
Farine de semences de coton (4)		75	11	12
Les plantes				
Engrais vert de <i>Kudzu</i> (5)	8 tonne	60	4	33
Engrais vert d'herbe de Guinée (5)	8 tonne	20	5	29
Engrais vert d'herbe de Guinée (5)	1 tonne	29,8	1,8	12,8
<i>Cassia hirsuta</i> (7)	1 tonne	26,9	1,6	8,7
<i>Lantana camara</i> (7)				
Nutriments nécessaires pour 3 tonne/ha de maïs		72	16	45

(1) FAO, 1987; (2) Sanchez, 1976; (3) FAO, 1995; (4) Songambele, 1982; (5) Wade and Sanchez, 1983; (6) Cooke, 1982; (7) Kayizzi, 1998.

Annexe 2, Appendice 7

Estimation de la fixation de l'azote par les légumineuses

Cultures	Azote fixé (kg N/ha)
<i>Glycine max</i> (soja)	64-206
<i>Vigna unguiculata</i> (niébé)	73-240
<i>Vigna radiata</i> (haricot mungo)	61-342
<i>Arachis hypogaea</i> (Arachide)	72-240
<i>Cajanus cajan</i> (Pois cajan/ou pois d'Angole)	96-280
<i>Cicer arietenum</i> (pois chiche)	103
<i>Canavalia ensiformis</i>	49
<i>Cyamopsis tetragonolobus</i> (guar)	41-220
<i>Lens culinaris</i> (lentilles)	88-114
<i>Pisum sativum</i> (petit pois)	52-77
<i>Vicia faba</i> (fève)	45-552
<i>Calopogonium muconoides</i>	370-450

(FAO, 1980)

Annexe 2, Appendice 8

Les conditions du sol nécessaires pour les cultures, les pâturages et les arbres

Espèces	Pente Max. (%)	Profondeur Opt/Min (cm)	Fertilité Opt/Min (1)	Drainage Opt/Tolérable (2)	Texture Opt/Tolérable (3)
Graines de base					
Riz (pluvial)	50	>50/20	E/M	B/P,I	L/M
Riz (irrigué)	0,1	>50/20	E/M	TP,P/I	L,ML/M
Haricot	50	>50/20	M/F	B/B	M/L,G
Maïs	50	>50/20	E/F	B/B	M/L,G
Cultures annuelles					
Arachide	20	>50/50	E/M	B/B	M/G,L
Tabac	20	>150/50	M/M	B/B	G,M/L
Niébé	50	>50/20	M/F	B/B	M/L,G
Tubercules					
Patates douces	20	>50/20	E/F	B/B	M/G
Manioc	20	>50/50	M/F	B/B	G,M/MG
Arbres fruitiers					
Avocatier	60	>150/50	E/M	B/B	G,M,L
Cocotier	50	>150/50	M/F	B/B	M,G/MG
Goyavier	60	>50/20	E/F	B/P,I	G,M/L
Limettier	60	>50/50	M/F	B/B	G,M/L
Citronnier	60	>50/50	E/M	B/B	G,M/L
Mandarinier	60	>150/50	E/M	B/P,I	G,M/L
Manguier	60	>150/50	M/F	B/B	G,M/L
Noix de cajou	60	>150/50	M/F	B/B	G,M/L
Bananier		>150/50	E/M	B/B	M/L,G
Oranger	60	>150/50	M/F	B/B	G,M/L
Papayer	60	<150/50	E/M	B/B	M/G,L
Ananas		>50/20	M/M	B/B	G,M/L
Pamplemoussier	60	>150/50	E/M	B/B	G,M/L
Autres cultures pérennes					
Caféier arabica	60	>150/50	E/M	B/B	M/G,M
Canne à sucre	15	>50/50	M/F	B/I	M,L/M,L
Pois d'Angole	50	>150/50	M/F	B/B	G,M/L
Sisal	50	>50/20	M/F	B/B	G/G
Cultures horticoles					
Potiron/citrouille	10	>150/20	E/F	B/B	M/G,L
Oignon	10	>50/20	M/F	B/B	M/G
Concombre	10	>50/20	E/E,M	B/B	M/G,L
Betterave	10	>50/20	E/M	B/B	M,G/L
Choux	10	>20/20	E/M	B/B	M,G,L
Pastèque	10	>150/50	E/F	B/B	M/G,L
Tomates	10	>20/20	E/M	B/B	M/G,L
Carotes	10	>50/50	M/M	B/B	M/G,L

Espèces	Pente Max. (%)	Profondeur Opt/Min (cm)	Fertilité Opt/Min (1)	Drainage Opt/Tolérable (2)	Texture Opt/Tolérable (3)
Pâturages améliorés					
Brachiaria decumbens	50	>20/20	M/M,F	B/B	G,M,L
Cynodon plectostachium	50	>50/20	E/M	B,P,I	G,M,L
Stylosanthes guianensis	50	>150/50	F/F	B/B	G,M/G,M
Arbres fourragers					
Leucaena leucocephala	60	>150/20	M/F	B/B	M,L/G
Morus nigra (Murier)	60	>50/20	E/M	B/B	G,M,L
Bois d'œuvre					
Acacia mangium	70	20	M	P,I,B	G,M
Eucalyptus camaldulensis	70	>50/50	M/F	P,I,B	G,M/L
Grevillea robusta	70	>150/50	E/F	B/B	G,M/L,M

(FAO, 1994).

(1): E = Elevée; M = Modérée; F = Faible.

(2): B = Bon; I = Imparfait; P = Pauvre; TP = Très pauvre.

(3): L = Lourde; ML = Moyennement lourde; M = Moyenne; G = Légère.

Annexe 2, Appendice 9

Périodes critiques des différentes cultures vis-à-vis du stress hydrique du sol

Cultures	Périodes critiques
Luzerne	Juste après la coupe pour le foin et avant la floraison
Abricots	Floraison et développement des bourgeons
Orge	Stade jeune > stade mou/pâteux > dès le labour ou à la maturation
Haricot	Période de floraison et de remplissage des gousses > stade jeune > maturation. Toutefois, maturation > stade jeune si pas de stress hydrique précédent
Brocoli	Pendant la formation de la tête et de l'élargissement
Choux	Pendant la formation de la tête et de l'élargissement
Fève du castor	Nappe phréatique superficielle en pleine période de croissance
Choux-fleurs	Nécessité d'irrigation fréquente du semis à la récolte
Cerises	Période de croissance rapide des fruits avant la maturation
Citrus	Floraison et stades de remplissage des fruits. Une floraison plus importante peut être stimulée par une irrigation précédente (citronnier)
Coton	Floraison et formation des capsules > début de croissance > après la formation des capsules
Arachides	Floraison et développement des semences > entre la germination et la floraison et la fin de la croissance
Laitues	Nécessité d'un sol humide surtout avant la récolte
Maïs	Période de pollinisation, de l'épiaison à la formation complète des graines avant l'épiaison remplissage des grains; la période de pollinisation est très délicate en cas de non stress hydrique précédent
Avoine	Début de la levée
Olives	Juste avant la floraison et durant le développement
Pêches	Période de croissance rapide des fruits avant la maturation
Petits pois	Début de la floraison et au moment de l'augmentation de volume des gousses
Patates douces	Nappe phréatique superficielle; après la formation des tubercules de la floraison à la récolte
Radis	Pendant l'enracinement
Tournesol	Durant la période des semis et de la floraison - au développement des semences
Petits grains	Début de la formation des gousses
Sorgho	Formation des racines secondaires et du labour au stade de tallage > épiaison, floraison et formation des grains > période de remplissage des grains
Soja	Floraison et formation des fruits et à la fin de la période de croissance végétative
Fraise	Développement des fruits et maturation
Canne à sucre	A la fin de la croissance végétative
Tabac	De la hauteur des genoux à la floraison
Tomates	A la floraison et au développement des fruits
Pastèque	De la floraison à la récolte
Blé	Début de l'épiaison et deux semaines avant la pollinisation.

(FAO, 1977)

Annexe 2, Appendice 10

Exemple de pratiques agricoles recommandées pour la gestion et la conservation des sols: El Salvador, Amérique centrale

Cultures	Pente %	Méthodes de gestion des sols insistant sur la conservation des sols
Cultures horticoles	0-5	Paillage, planter sur les courbes de niveau, cultures en bandes
	5-10	Paillage, planter sur des courbes de niveau, cultures en bandes, buttage suivant des courbes de niveau, barrières de pierres, terrasses
	>10	Pas d'horticulture, mais si on ne peut pas faire autrement, appliquer les méthodes recommandées pour les pentes de 5-10%
Graminées	0-10	Ne pas brûler les résidus, ne pas enlever les résidus, ne pas labourer, semis en courbes de niveau, contrôle des pâturages, légumineuses comme cultures intercalaires
	10-50	Ne pas brûler les résidus, ne pas enlever les résidus, ne pas labourer, semer sur des courbes de niveau, contrôle des pâturages, courbes de niveau, légumineuses comme cultures intercalaires, barrières vives
	>50	Graminées non recommandées, mais s'il n'y a pas d'autres solutions, appliquer les méthodes recommandées pour des pentes de 10-50%
Arbres fruitiers	0-10	Paillage, légumineuses comme plantes de couverture, courbes de niveau
	10-60	Paillage, légumineuses comme cultures de couverture, courbes de niveau, barrières vives, terrasses en plate-forme
	>60	Arbres fruitiers non recommandés, mais s'ils sont inévitables, appliquer les méthodes recommandées pour les pentes de 10-60 pour cent

Note : Les pratiques structurales sont seulement recommandées si les méthodes agronomiques ne peuvent pas résoudre le problème d'érosion. Les terrains exposés aux ruissellements doivent être protégés par des canaux d'interception.

Annexe 3

Matériel de référence sur la gestion et la conservation des eaux et des sols pour les champs-écoles des agriculteurs

Comme signalé précédemment, pourvoir aux besoins nutritionnels des plantes ne suffit pas pour une bonne gestion des sols et des nutriments. Les annexes précédentes contiennent du matériel de référence sur les principes et sur une large gamme de pratiques de gestion intégrée des sols et des nutriments. Cette annexe constitue un matériel de référence et de support, mais qui donne spécialement des détails sur les principes et les méthodes de conservation des eaux et des sols. Bien que traitée séparément, la conservation des eaux et des sols est une partie intégrante de la gestion intégrée des sols et des nutriments.

LES CONCEPTS DE BASE

La gestion intégrée des sols et des nutriments devra présenter aux agriculteurs les concepts de base sur «l'érosion des sols», «le contrôle de l'érosion», «la dégradation des sols», «la conservation des eaux et des sols», «le concept de bassin hydrographique» et d'autres termes similaires.

L'érosion des sols

L'érosion des sols signifie le processus par lequel le sol est déplacé d'un lieu à un autre par des forces telles que le vent, l'eau, les vagues, les glaciers et les activités humaines (construction et agriculture) (Choudhury et Jansen 1997).

Les agrégats du sol peuvent se désagréger en particules plus petites. Si cette désagrégation se passe sur un terrain en pente, ces particules sont transportées vers le bas de la pente. L'eau qui coule sur une pente après une grande pluie est appelée ruissellement. Les facteurs qui influencent l'érosion hydrique des sols sont le ruissellement, le degré de la pente, la longueur de la pente, le type de sol, les structures existantes de contrôle de l'érosion, le calendrier et les pratiques agricoles (voir encadré 1). Plus la pluie et la pente sont fortes, plus l'érosion sera importante. L'érosion éolienne affecte aussi les hauts plateaux et elle est fonction de la force du vent.

Contrairement à l'érosion naturelle qui est lente, l'érosion causée par l'homme est très rapide et déplace de grandes quantités de sols, ce qui affecte sérieusement la production agricole et l'environnement. L'érosion a toujours des effets directs sur le site, c'est-à-dire des conséquences sur le lieu d'où le sol est déplacé, et en dehors du site, c'est-à-dire des conséquences sur les lieux de transports ou de dépôts de ce sol déplacé.

Le contrôle de l'érosion

Le contrôle direct de l'érosion implique les mesures qui peuvent stopper ou ralentir le processus érosif. En cas d'érosion hydrique, le contrôle direct est basé sur les principes suivants:

- protection de la surface du sol contre l'énergie cinétique des gouttes de pluie;

ENCADRÉ 1: Les facteurs qui influencent l'érosion du sol par l'eau.

- **Les précipitations:** Plus il y a de précipitations et plus la pluie est forte (intensité de la pluie, c'est-à-dire la quantité de pluie qui tombe par minute), plus il y a risques d'érosion.
- **Le degré de la pente:** Plus la pente est raide, plus le terrain est exposé aux risques d'érosion.
- **La longueur de la pente:** L'érosion augmente avec la longueur de la pente.
- **Le type de sol:** Les sols argileux sont en général plus résistants à l'érosion que les sols sableux.
- **Les structures existantes de contrôle de l'érosion:** Les structures de contrôle de l'érosion qui sont bien installées et bien entretenues sont très efficaces, sinon elles peuvent accélérer l'érosion.
- **Les pratiques culturales:** Les méthodes agricoles variées affectent différemment l'érosion du sol.
- **La couverture de la surface du sol:** Plus le sol est couvert, plus sa surface est protégée de l'impact de la pluie.
- **Le temps:** L'érosion du sol (comme le développement du sol) est fonction du temps.

(Source : Van Keer *et al.* 1996, modifié)

ENCADRÉ 2: Les effets de l'érosion.**Les effets sur le site:**

- Pertes d'eau, de fertilisants et de pesticides (perte immédiate de la production).
- Pertes de sol (perte à long terme de la productivité).

Les effets hors du site :

- Détérioration de la qualité de l'eau (par exemple pollution des rivières, mort des poissons, coûts élevés de l'eau à boire).
- Sédimentation du sol déplacé (par exemple bouchage des réservoirs, ensevelissement des cultures, etc.).
- Inondations des zones inhabitées (flux de boues, bouchages des fossés).
- Débordements des rivières (destruction des infrastructures).

(Source : FAO 1994, modifié)

- augmentation de l'infiltration de l'eau;
- ralentissement du ruissellement;
- interception du sol transporté.

Le contrôle indirect de l'érosion, comme la planification de l'usage des terres, vise à utiliser les terres de manière à prévenir et/ou à réduire les risques d'érosion.

La dégradation des sols

Si le sol se dégrade, sa productivité se réduit et peut continuer à se réduire si des mesures ne sont pas prises pour restaurer sa productivité et prévenir d'autres pertes ultérieures. Cette

dégradation du sol peut mener à la perte presque totale de sa capacité à produire. Elle est quelquefois définie comme suit:

La dégradation d'un sol c'est la perte de sa capacité à maintenir la vie (FIDA, 1992).

Toutefois, cette définition est trop large et quelque peu excessive. En effet, si la perte de la capacité productive d'un sol est due à sa dégradation, il reste possible d'utiliser ce sol dans d'autres buts de production en adoptant d'autres méthodes agricoles malgré la faiblesse de son potentiel agricole. La dégradation des sols peut donc aussi être définie comme suit:

La dégradation d'un sol c'est la réduction de ses potentialités agricoles à produire des rendements satisfaisants suite à l'application d'une méthode agricole spécifique de gestion des sols (d'après Blaikie & Brookfield, 1987).

Cette définition sous-entend non seulement le facteur biophysique de l'aptitude agricole, mais aussi des considérations socio-économiques comme l'usage des terres et les bénéfices agricoles attendus.

Les composantes de la dégradation des sols

Il existe un certain nombre de composantes de la dégradation des sols qui sont interconnectées et qui contribuent à la réduction de la productivité agricole. Les plus importantes sont:

- **La dégradation des sols:** elle réduit la capacité productive suite à l'érosion du sol et des changements de ses propriétés hydrologiques, biologiques, chimiques et physiques.
- **La dégradation de la végétation:** elle réduit la quantité et/ou la qualité de la biomasse naturelle et la couverture végétale du sol.
- **La dégradation de la biodiversité:** elle réduit la diversité génétique des espèces et de l'écosystème (avec une possible extinction de quelques espèces de la faune et de la flore).
- **La dégradation de l'eau:** elle réduit la quantité et/ou la qualité des ressources en eau de la surface et du sous-sol et augmente les risques d'inondations.

Au niveau local, les composantes suivantes peuvent également contribuer à la réduction de la production animale et végétale:

- **La détérioration climatique:** changements des microclimats qui mettent en risque les rendements agricoles.
- **La conversion des terres:** diminution de la surface des terres utilisées, ou utilisables, pour l'agriculture, suite à l'usage des terres cultivables à des fins urbaines, industrielles, de stockage de l'eau ou à des usages infrastructureux.

La conservation des eaux et des sols

Au sens strict, le terme «conservation des eaux et des sols» est seulement utilisé pour le contrôle de l'érosion. Au sens large (comme il est utilisé dans le champ-école pour agriculteurs), il fait référence à tout ce qui est fait pour garantir la durabilité de la productivité du sol, c'est-à-dire l'utilisation du sol tout en préservant ses bonnes conditions (physiques, biologiques et chimiques) et en assurant sa protection contre la détérioration et l'érosion.

La conservation des eaux et des sols sous-entend l'usage rationnel des terres qui les protège de l'appauvrissement ou de l'épuisement par: érosion, dépôts, épuisement des nutriments des

plantes, accumulation des sels toxiques, brûlis, engorgement d'eau, pratiques culturales non adéquates, ou de tout autre usage non approprié. Dans le contexte de la production agricole, les termes «pratiques agricoles de conservation» ou «bonne ou meilleure méthode agricole» sont d'usage de plus en plus courant à la place de conservation des eaux et des sols, pour insister sur l'amélioration de la durabilité et de la productivité du système agricole.

Le concept de bassin versant / bassin hydrographique

Comme unité topographique ou hydrologique, le bassin hydrographique est défini comme (voir aussi figure 1):

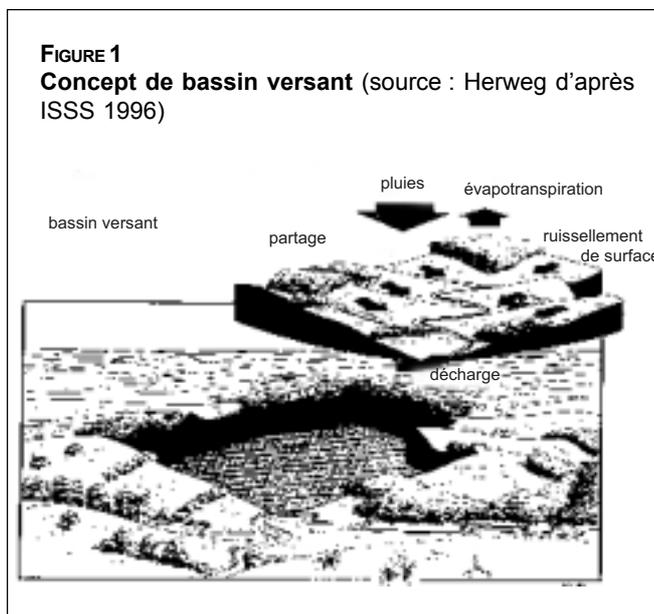
Une zone de laquelle l'eau de pluie peut couler, par ruissellement de surface, à travers un ruisseau ou une rivière, vers un point commun qui peut être un barrage, un système d'irrigation ou un réservoir urbain, ou encore une rivière plus grande, un lac ou une mer.

La conservation des eaux et des sols concerne tous les sols d'un bassin versant. Dans le contexte du champ-école pour agriculteurs sur la gestion intégrée des sols et des nutriments, le terme englobe non seulement les sols cultivés, mais aussi les forêts, les terres libres, les zones habitées et les routes/passages des machines agricoles. L'hydrologie d'un bassin versant dépend du type de sol. Il est donc très important de comprendre la relation entre le mouvement de l'eau et la production agricole pour planifier la conservation des eaux et des sols. La planification des interventions de conservation des eaux et des sols dans une région agricole exige de se conformer aux principes de gestion des bassins versants (c'est-à-dire les flux d'eau vers le bas des montagnes) et ceci constitue un point très important dans la gestion intégrée des sols.

ÉVALUATION DU TYPE ET DE LA SÉVÉRITÉ DE L'ÉROSION DU SOL

Le type, la sévérité et l'état de l'érosion doivent être identifiés dans le champ avant d'entreprendre des actions et d'appliquer des technologies appropriées pour y remédier. L'état de l'érosion peut être classifié comme: active (c'est-à-dire qu'elle a encore lieu), stabilisée (c'est-à-dire qu'elle a eu lieu mais n'est plus active) ou partiellement stabilisée (c'est-à-dire qu'il y a des signes d'érosion active mais aussi de stabilisation de l'érosion passée).

L'érosion hydrique est la forme de dégradation la plus courante aux tropiques et elle est très répandue dans toutes les zones agro-climatiques. Elle prend les formes d'érosion par éclaboussure, d'érosion en nappe, d'érosion en rigoles et en ravines et d'érosion par mouvement des masses. Dans les zones arides et semi-arides, l'érosion éolienne peut aussi causer d'importants problèmes en cas de vents violents sur des sols nus et secs.



- **Érosion par éclaboussure:** c'est-à-dire projection des particules de sol sous l'action de l'énergie cinétique des gouttes de pluie sur le sol. Les petites particules qui en résultent peuvent ou non être transportées par le ruissellement. L'érosion par éclaboussure est une composante importante de l'érosion en nappe.

Symptômes observables sur terrain: structure pauvre à la surface (agrégats de sol détruits). Durcissement progressif de la surface du sol (voir appendice 1).

- **Érosion en nappe:** c'est-à-dire déplacement d'une couche uniforme de sol de surface par le ruissellement ou le vent.

Symptômes observables sur terrain: après une forte pluie, les particules désagrégées sont entassées entre les couches de sable. Une sévère érosion laminaire peut aboutir au déplacement du profil du sol et peut s'identifier par des racines d'arbres qui sont à découvert (voir appendice 1).

- **Érosion en rigoles:** c'est-à-dire déplacement du sol et formation de plusieurs petites rigoles due à la concentration du ruissellement à la surface. Ces petites rigoles peuvent être éliminées par un labour ordinaire.

Symptômes observables sur terrain: rigoles (voir appendice 1, ne pas confondre avec les sillons formés par le labour).

- **Érosion en ravines:** c'est-à-dire le déplacement du sol et formation de canaux relativement larges dans le sol due à la concentration du ruissellement à la surface. Contrairement aux rigoles, les ravines sont trop profondes pour être fermées par des labours ordinaires.

Symptômes observables sur le terrain: ravines (voir appendice 1). Elles peuvent se développer par fusion des rigoles profondes ou par cassure et fusion de petits canaux dans un sol instable sous l'action de l'énergie des gouttes de pluie. Les ravines s'élargissent et s'approfondissent et avancent en amont de la pente.

- **Les mouvements de masse:** c'est-à-dire déplacements de parties entières de la pente. De grandes pluies prolongées en sont la cause fréquente.

Symptômes observables sur le terrain: glissement de terrain, éboulement, chute des roches.

- **Érosion éolienne:** c'est-à-dire déplacement du sol par des forces du vent.

Symptômes observables sur le terrain: frottements du vent, transport et dépôts de sol, des dommages sur les plantes causés par le vent.

QUELQUES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS

Le contrôle de l'érosion hydrique

C'est le processus de dégradation le plus important auquel doivent faire face tous les petits exploitants. L'apparition de l'érosion hydrique sur un site donné dépend de l'érosivité des précipitations, de la capacité d'infiltration et de l'érodabilité du sol, de la longueur et de l'angle de la pente, du taux de couverture de la surface du sol par la litière et les plantes.

Erosivité pluviale

L'érosivité dépend des caractéristiques physiques de la pluie. L'augmentation de l'intensité de la pluie s'accompagne de l'augmentation de la taille, de la vitesse et de l'énergie cinétique des

gouttes de pluie. Ainsi, plus l'intensité de la pluie augmente, plus sa capacité érosive augmente. Les précipitations annuelles totales varient considérablement entre et dans les différentes zones agroécologiques, quasiment nulles dans les régions désertiques à plus de 10 000 mm dans les hauts plateaux tropicaux humides. Indépendamment des régions, les précipitations totales annuelles dans les tropiques se présentent sous forme d'orages de grande intensité et de courte durée, souvent accompagnés de cyclones et de typhons et environ 40 pour cent des pluies y sont érosives.

L'érosivité des pluies est un facteur non modifiable par l'homme et doit être considéré, dans la gestion intégrée des sols, comme une contrainte fixe. Dans le contexte agricole, on peut seulement réduire les impacts de celle-ci en protégeant le sol par des méthodes appropriées de gestion culturale telles que les plantes de couverture et le paillage.

Dans le contexte de la reforestation, l'objectif est de protéger la zone de replantation contre les mauvaises herbes compétitives et de tenir compte du fait que c'est la litière sous les arbres qui constitue une couverture du sol et donc protège mieux le sol contre l'érosion.

L'érodabilité des sols

L'érodabilité des sols est une mesure de la vulnérabilité ou de la susceptibilité du sol à l'érosion. Elle dépend de la stabilité de la structure du sol, de la texture, de la teneur en matière organique, de la porosité et de la perméabilité. L'érodabilité est une propriété inhérente du sol, mais qui peut changer suite à une méthode de gestion. Elle peut augmenter ou diminuer suite au changement de la teneur en matière organique du sol. Dans les hauts plateaux, une terre sèche qui est annuellement cultivée est nécessairement pauvre en matière organique. Si cela est associé à une texture grossière et à une structure faible, le sol est très érodable. L'érodabilité peut être limitée par des pratiques de gestion qui augmentent la teneur en matière organique du sol.

La longueur et l'inclinaison de la pente

La longueur et le gradient de la pente sont des facteurs géomorphologiquement non modifiables, mais peuvent l'être par adoption de mesures de protection et de conservation. L'inclinaison de la pente peut être modifiée par le terrassement. Toutefois, le coût de l'aménagement et du maintien des terrasses (spécialement les besoins de main d'œuvre) est élevé. Une insuffisance de main d'œuvre disponible peut conduire à un mauvais terrassement et éventuellement à l'érosion suite à la concentration du ruissellement à des endroits donnés. Les rendements des récoltes peuvent aussi diminuer si, pendant la construction de la terrasse, le sol de surface original est déplacé ou enseveli.

La longueur de la pente est réduite par des barrières de protection/conservation. Ces barrières peuvent être des structures physiques (par exemple des banquettes de terre, des murs de pierres, des drains ou des fossés) ou des barrières biologiques (par exemple des bandes d'herbes ou des haies). Il faut distinguer les barrières imperméables des barrières perméables lors de leur utilisation dans la lutte antiérosive. Les barrières imperméables, comme les banquettes, sont celles qui stoppent tout le ruissellement par dérivation ou en le retenant sur place jusqu'à son infiltration dans le sol. Les barrières perméables, comme les rangées de pierres, les haies ou les bandes d'herbes, sont celles qui laissent passer une partie du ruissellement.

En laissant passer une partie du ruissellement à une vitesse réduite, les barrières perméables réduisent directement la capacité destructrice des orages violents sur le sol. Les bandes d'herbes et les rangées de haies constituent donc une solution technique pour protéger le sol contre les grandes précipitations. Elles peuvent aussi influencer directement la production agricole en produisant du fourrage, des engrais verts, du bois de chauffe et de la paille.

Dans les régions semi-arides, la production agricole est limitée par l'insuffisance de l'humidité. Les bénéfices agricoles résultent de l'adoption des mesures de conservation et d'infiltration de l'eau de pluie, de l'aménagement des barrières imperméables, des digues de rétention et des terrasses sur les pentes. Cependant, le risque des mouvements de masse augmente avec l'inclinaison de la pente et on doit en tenir compte lors de l'adoption des mesures de protection et de conservation des sols pour augmenter l'infiltration et réduire le ruissellement.

Ces structures de protection et de conservation ne suffisent pas à elles seules pour résoudre les problèmes de dégradation des sols parce que :

- Elles coûtent très cher (en main d'œuvre en particulier) pour leur aménagement et leur entretien.
- Elles exigent des frais supplémentaires pour la mise en place des banquettes, des canaux et/ou les terrasses qui ne donnent pas de bénéfices agricoles immédiats tout en réduisant les surfaces cultivables.
- Elles agissent uniquement sur les effets du ruissellement et non pas sur la pluie elle-même (impact des gouttes de pluie).
- Elles permettent d'éviter la formation des ravins, mais n'ont pas d'effets sur la réduction de la fertilité résultant de la mise en culture continue des zones entre les banquettes.

Les structures de conservation et de protection permettent de lutter contre les excès de ruissellement, mais ne peuvent pas substituer les structures améliorées, comme la couverture végétale adéquate des surfaces entre les banquettes.

La couverture du sol

La couverture du sol est le facteur qui agit le plus efficacement contre l'érosion en protégeant la surface du sol contre la force érosive des gouttes de pluie. Elle est aussi facilement modifiée par les pratiques agricoles. La couverture peut provenir du feuillage et des autres parties des plantes ou du matériel mort formant la litière sous les plantes. Dans un système naturel, la litière est faite de feuilles, de tiges, de branches, de semences, de fruits, etc. Dans un système agroforestier, la litière provient des cultures et des feuillages d'arbres pérennes, de la paille et des résidus culturaux qu'on y applique.

Des cultures arbustives pérennes associées à des cultures de couverture, réduisent très fortement la sévérité de l'érosion sur un sol. Ainsi, la mise en place des cultures arbustives pérennes, plutôt que les cultures annuelles, doit s'accompagner de cultures intercalaires de couverture. Celles-ci ne sont pas seulement efficaces sur la conservation, mais produisent aussi des bénéfices agricoles évidents. Pour qu'elles soient facilement adoptées par les agriculteurs, les cultures pérennes de couverture doivent avoir une propagation facile, n'exiger que peu de gestion, fournir un ombrage important (pour protéger le sol et les cultures), et doivent également avoir une valeur économique intéressante, comme source de nourriture, d'engrais verts et/ou de fourrage.

Le contrôle de l'érosion éolienne

Les vents horizontaux et forts peuvent causer des dégâts à la végétation et au sol. Ces vents sont caractéristiques des zones climatiques arides et semi-arides. Ils sont fréquents sur les côtes qui sont balayées par les ouragans et les typhons. L'érosion éolienne a souvent lieu dans les conditions suivantes :

- le sol est labouré, sec et finement divisé;
- la surface du sol est relativement plane avec une couverture végétale disparate;
- les terrains sont larges et ouverts;
- la vitesse du vent est suffisamment grande et turbulente pour déplacer les particules de sol.

En plus de l'érosion éolienne, les vents forts et secs associés à une faible humidité, caractérisent aussi les climats arides et semi-arides et peuvent affecter les rendements agricoles en:

- réduisant l'efficacité des pluies par évaporation à la surface du sol;
- augmentant l'évapotranspiration des feuilles et le risque de stress hydrique;
- causant de grandes pertes par évaporation des drains, des rivières et des canaux d'irrigation.

L'érosion éolienne est surtout sévère sur des sols secs, et son degré de sévérité dépend de sa vitesse et de la dureté du sol. Les mesures de contrôle doivent changer un ou plusieurs de ces facteurs, soit par maintien de l'humidité du sol, par réduction de la vitesse du vent ou par augmentation de la dureté du sol.

L'installation des brise-vent agit sur la diminution de la vitesse du vent et aussi sur la réduction de l'assèchement du sol. Ainsi, ils servent non seulement comme une mesure de contrôle de l'érosion éolienne, mais aussi améliorent le micro-climat pour une bonne production agricole. Les plantations d'arbres, comme brise-vent, peuvent également permettre d'éviter les risques d'engorgement et de salinisation des couches superficielles du sol suite aux opérations d'irrigation. Les racines de grands arbres pompent l'eau profonde et permettent ainsi le rétablissement de la bonne circulation de l'eau dans le sol.

Plus un coupe-vent est haut, moins il est efficace. Un coupe-vent ne doit pas bloquer tout le vent, sinon il cause de grandes turbulences et des dégâts agricoles derrière lui. Il doit, par conséquent, être poreux et fluide (pour laisser passer le vent à faible vitesse). La meilleure protection est assurée par un coupe-vent de densité moyenne et de porosité dynamique de l'ordre de 40–50 pour cent.

Le coupe-vent doit être bien entretenu. C'est le cas des protections constituées de grands arbres sans repousses. Les ouvertures dans les brise-vent ont des effets plus graves (formation des coulées de vent) sur la végétation.

Lors de la prise de décision sur le lieu d'aménagement et l'étendue des coupe-vent, il faut se rappeler que: a) un second coupe-vent protège moins qu'un bon premier; et b) les brise-vent présentent l'inconvénient de créer des vitesses irrégulières du vent dans le champ. Les arbres et les arbustes (fruitiers, engrais verts, fourrage) disséminés en petits groupes dans tout le champ assurent une diminution régulière de la vitesse du vent et améliorent la résistance du sol à l'action érosive des vents.

La gestion de l'eau de pluie

Dans les régions arides et semi-arides, la gestion de l'eau de pluie nécessite des techniques de collecte, de stockage et/ou de dispersion de l'eau pour pouvoir concentrer l'humidité dans le bassin versant afin d'assurer une meilleure production agricole (par exemple les barrières de terre ou de roches, les caniveaux, etc.). Dans les régions plus pluvieuses, mais où l'humidité limite la production agricole, les techniques doivent retenir l'eau sur place, diminuer la vitesse du ruissellement et permettre l'infiltration (par exemple les digues sur la pente, les terrasses,

les barrières de pierres, les sillons, les trous de plantation, les bassins, les bandes de cultures, le labour de conservation etc.). Dans les zones humides à grandes précipitations, ces techniques doivent permettre d'utiliser l'eau disponible (par exemple les terrasses pour le riz paddy), contrôler les excès de précipitations (par exemple les terrasses et les canaux aménagés) et drainer les sols pour les protéger contre l'engorgement et les mouvements de masse (par exemple les digues et les canaux de drainage sur la pente).

LES TECHNIQUES DE CONSERVATION ET DE PROTECTION DE L'EAU ET DU SOL

Une technologie de conservation de l'eau et du sol consiste à appliquer une ou plusieurs des mesures supplémentaires suivantes (agronomiques, végétatives, structurales et de gestion) qui peuvent avoir des effets positifs sur la conservation de l'eau et du sol (WOCAT 1998):

- **Agronomiques:** c'est-à-dire des mesures visant l'augmentation de la production agricole, telles que les cultures intercalaires, les plantations en courbes de niveau, le labour minimum, le paillage, le fumage, etc., qui:
 - sont normalement associées aux cultures annuelles;
 - sont normalement répétées chaque saison ou en rotation;
 - sont de courte durée et non permanentes;
 - ne changent pas le profil de la pente;
 - ne sont pas localisées;
 - ne dépendent pas de la pente.
- **Végétatives:** c'est-à-dire des mesures impliquant la plantation d'arbres, d'arbustes, d'herbes, etc., ou impliquant la protection de zones de végétation naturelle (par exemple reforestation, coupe-vent, haies isohypses, bandes de végétation naturelle) qui:
 - impliquent l'usage des herbes/pâturages pérennes, des arbustes ou des arbres;
 - sont durables;
 - conduisent souvent au changement du profil de la pente;
 - sont souvent localisées sur les courbes de niveau ou à angle droit par rapport à la direction du vent;
 - sont souvent orientées en fonction de la pente.
- **Structurales:** c'est-à-dire des mesures impliquant l'aménagement de structures physiques (par exemple banquettes gradées ou buttes, lignes de pierre en courbes de niveau, terrasses, passages des eaux et structures de freinage des gouttes) qui:
 - conduisent à un changement du profil de la pente;
 - sont durables ou permanentes;
 - visent le contrôle du ruissellement et de l'érosion;
 - nécessitent beaucoup de main d'œuvre ou de moyens financiers à la première installation;
 - sont localisées sur les courbes de niveau;
 - sont orientées en fonction de la pente.
- **Gestionnaires:** c'est-à-dire des mesures de gestion assurant la protection du sol contre l'érosion et/ou augmentant la production, etc. (par exemple les modifications de l'utilisation du sol, les clôtures, la rotation des pâturages) qui:
 - impliquent un changement fondamental de la méthode culturale;
 - impliquent des mesures non agronomiques et non structurales;

- résultent souvent en couverture végétale améliorée;
 - réduisent souvent l'intensité d'utilisation des sols.
- **Combinaison:** c'est-à-dire des mesures qui combinent 2 ou plusieurs mesures agronomiques, végétatives, structurales et de gestion (cas où la combinaison de deux mesures ne suffit pas), par exemple:
 - Une mesure structurale: une terrasse sur la pente avec:
 - Une mesure végétative: des herbes ou des arbres plantés sur ces terrasses, avec:
 - Une mesure agronomique: cultures (en courbes de niveau).

Les technologies appropriées de conservation de l'eau et du sol pour la GISN sont celles qui offrent, pour une situation agricole donnée, une solution optimale d'usage des terres pour des objectifs agricoles durables et productifs. Ces technologies ne sont pas nécessairement «simples». Dans beaucoup de pays en développement, elles ne devraient pas exiger de capitaux importants et elles devraient utiliser les ressources locales et la force de travail de manière optimale.

Il faut souligner qu'avant d'introduire une nouvelle technologie, il est nécessaire de vérifier s'il existe déjà des mesures locales de conservation de l'eau et du sol et pourquoi et comment elles sont appliquées par les agriculteurs. L'adoption de toute nouvelle technique culturale par les agriculteurs dépendra de la manière dont elle est introduite et de ses potentialités agricoles par rapport à celles qui sont déjà appliquées localement.

Au mois de mai 1998, quelques 113 technologies de protection et de conservation de l'eau et du sol étaient déjà insérées dans la base de données du WOCAT*. Il n'est donc pas nécessaire de détailler dans ce document les manières de les mettre en application. Cependant, il a été

Encadré 3: Liste de critères de sélection des technologies de conservation de l'eau et du sol

Faisabilité tenant compte des circonstances socio-économiques:

- Y a-t-il correspondance entre la technologie et les compétences techniques des agriculteurs ?
- Les intrants et les marchés agricoles sont-ils disponibles?
- Les agriculteurs ont-ils suffisamment de ressources?

Correspondance entre les buts et les préférences des agriculteurs:

- La technologie est-elle compatible avec le système et le calendrier agricole?
- La technologie est-elle en conflit avec les préférences des agriculteurs?
- Y a-t-il des interactions entre l'agriculture et l'élevage à prendre en considération?

Faisabilité tenant compte des conditions naturelles:

- Quelle est la production attendue comparée à la production actuelle?
- Qu'en est-il de la stabilité de la production attendue?
- Qu'en est-il des risques de production attendus?

La viabilité écologique:

- Les effets attendus sur l'environnement ?
- Les effets attendus sur la productivité à long terme?
- Les effets attendus sur la diversité des agrosystèmes?

La viabilité économique:

- Les bénéfices comparés à la situation actuelle?
- Les effets attendus sur le marché des produits?

Ainsi que d'autres critères (comme la convenance des cultures, etc.)

(Source: Werner 1993)

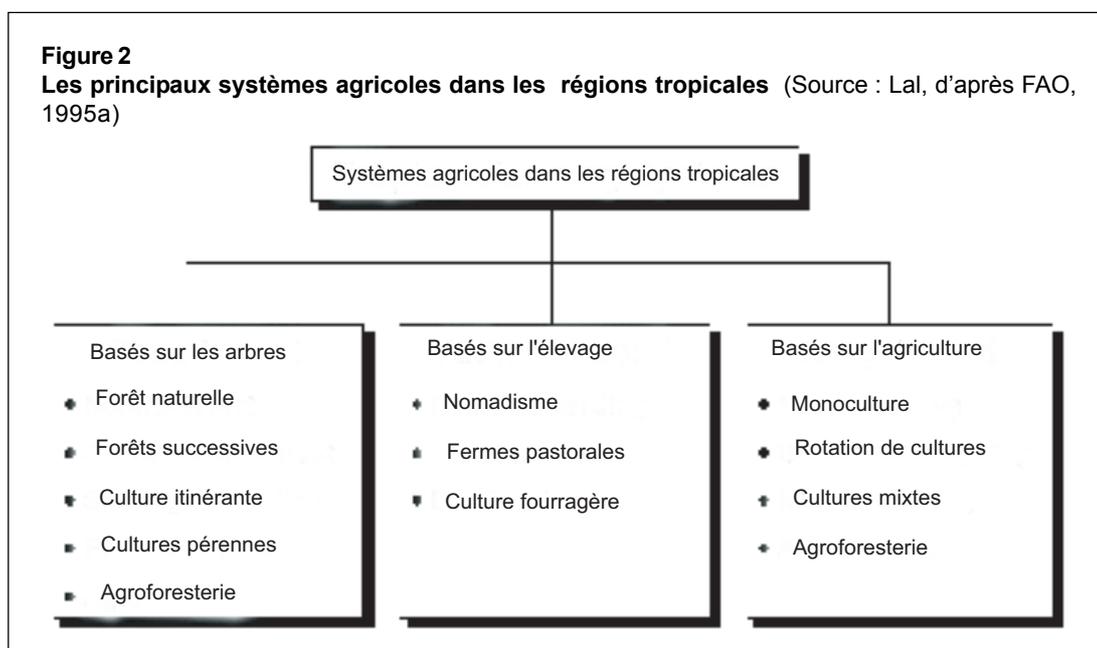
*Panorama mondial des approches et des technologies de conservation, programme de l'Association mondiale de la conservation des eaux et des sols.

publié un grand nombre de documents (publications internationales, régionales ou nationales) qui contiennent des observations techniques sur les méthodes alternatives de conservation et de gestion de l'eau et du sol (voir appendice 2 pour une liste de quelques-unes de celles-ci). Ces documents peuvent être consultés par tous ceux qui doivent préparer des programmes appropriés de champ-école des agriculteurs pour la gestion intégrée des sols et des nutriments, au niveau local.

Normalement, les agriculteurs reconnaissent l'importance des processus d'érosion dans leurs exploitations. Leur prise de décision sur les moyens de lutte dépend de leur appréciation des dommages qui en résultent. Quelques critères de sélection (voir aussi encadré 3) des technologies de conservation de l'eau et du sol par les agriculteurs sont les suivants:

- le supplément de main-d'œuvre devrait être bas;
- la technologie devrait donner des bénéfices à court terme;
- la technologie devrait facilement s'appliquer, se maintenir et être facilement modifiable;
- il ne devrait pas y avoir trop de compétition pour la surface, la lumière, l'humidité et les nutriments entre la nouvelle technologie et la culture.

Le choix de technologies dépend aussi du principal système cultural de la région. En principe, il y a 3 groupes de systèmes agricoles dans les régions tropicales: ceux à base d'arbres, ceux à base d'élevage et ceux à base d'agriculture (voir figure 2). Le champ-école des agriculteurs pour la gestion intégrée des sols et des nutriments insiste plus sur les systèmes agricoles basés sur l'agriculture, bien que certains de ses programmes abordent aussi les deux autres systèmes.



Annexe 3, Appendice 1

Guide pour l'évaluation qualitative de l'état, du type et de la sévérité de l'érosion du sol, à l'aide d'indicateurs visibles

L'estimation qualitative de la sévérité de l'érosion peut se faire par l'utilisation d'indicateurs visuels simples qui peuvent être observables lors de l'inspection, sur le terrain, des cultures et des forêts. Les points ci-dessous donnent des exemples de paramètres visibles qui sont utilisables pour évaluer qualitativement l'état et la sévérité de l'érosion du sol lors des excursions effectuées dans le cadre du champ-école des agriculteurs pour la gestion intégrée des sols et des nutriments. Ces paramètres permettent à l'observateur de faire une estimation subjective sur la base de son expérience et de sa connaissance du milieu. Il est difficile de définir avec précision ce qui constitue l'érosion légère, modérée ou sévère. Cette approche comporte donc une certaine imprécision qui fait que différents observateurs fassent des classifications différentes pour une même zone. Toutefois, un certain degré d'uniformité peut être donné par les participants au CEA grâce à leur formation commune et au partage de leur expérience de terrain.

L'ÉTAT DE L'ÉROSION

Active	Les deux conditions suivantes, ou une d'entre d'elles, sont remplies: évidence de mouvements des sédiments; les zones balayées par l'érosion (par exemple les rigoles, les ravins) sont presque sans végétation.
Stabilisée	Les deux conditions suivantes, ou une d'elles, sont remplies: pas d'évidence de mouvements de sédiments; les zones balayées par l'érosion se sont revégétalisées.
Partiellement stabilisée	Evidence de quelques signes d'érosion active, mais aussi de quelques signes de stabilisation.

ÉROSION PAR ÉCLABOUSSURE

L'érosion par éclaboussure amorce généralement une érosion hydrique et a lieu quand les gouttes de pluie tombent sur un sol dénudé (voir Figure 1). L'énergie cinétique d'une goutte désagrège les particules de la surface du sol et les propulse en l'air. Sur des terrains en pente, la plupart de ces particules tombent vers le bas de la pente, créant ainsi des mouvements nets de sol dans le sens de la pente. Certaines de celles-ci peuvent retomber dans les vides entre les agrégats de sol, réduisant ainsi la quantité de pluie qui s'infiltré dans le sol et augmente le ruissellement.

FIGURE 1

Lors d'un orage, les gouttes de pluie tombent sur le sol avec une énergie cinétique élevée qui compacte la surface et propulse l'eau et les particules de sol à de grandes distances. (Source : Shaxson et al., 1977)



Non apparente	Pas de signes visibles et observables d'éclaboussure, mais des signes mineurs peuvent avoir été éliminés par un labour récent.
Nulle	Pas d'indicateurs visibles.
Légère	Quelques signes visuels d'érosion par la présence de particules de sol récemment projetées sur les tiges ou sur la face inférieure des feuilles de cultures; quelques signes d'impact des gouttes sur le sol; toute surface affectée devient mince et fragile.
Modérée	Des signes clairs d'éclaboussures des particules de sol projetées en l'air avec une couche de sol sur les tiges et les faces supérieures des feuilles; des signes clairs d'impact des gouttes sur la surface du sol; une surface de sol de 1 cm d'épaisseur devient très fragile.
Sévère	Des signes évidents de projection en l'air des particules de sol qui se visualisent par une couche de sol sur les tiges et les faces supérieures des feuilles; observation des impacts des gouttes sur le sol; une croûte solide de plus d'1 cm d'épaisseur à la surface.

L'ÉROSION EN NAPPE

L'érosion en nappe est un déplacement relativement uniforme de sol sans formation remarquable de canaux. Ses indicateurs peuvent être des piédestaux (figure 2), l'exposition des racines (figure 3), l'exposition du sous-sol et les dépôts de sol sur les infrastructures agricoles, les haies et les structures de protection aménagées en bas des pentes.

Non apparente	Pas de signes observables d'érosion en nappe, mais des signes mineurs peuvent être éliminés par un labour récent.
Nulle	Pas d'indicateurs visibles.
Légère	Quelques signes visibles de mouvements des particules de sol avec les eaux de ruissellement vers le bas de la pente; pas de piédestaux visibles; seulement quelques racines qui sont exposées.
Modérée	Signes clairs de transport et de dépôts de particules de sol en bas de pente; quelques piédestaux de 5 cm de haut; quelques racines exposées; déplacement évident du sol de surface, mais pas d'exposition du sous-sol.
Sévère	Signes clairs de transport et de dépôt des particules de sol en bas de pente; piédestaux de plus de 5 cm de haut; exposition importante des racines et des horizons du sous-sol ou proches à la surface.

ÉROSION EN RIGOLES

Une rigole est un petit canal de moins de 300 mm de profondeur (figure 3) qui peut être complètement bouché par le labour, bien que des traces (lignes de dépression dans le champ) peuvent rester quelquefois visibles après un labour à la houe.

Pas d'érosion en rigoles	
Légère	Quelques rigoles superficielles (<100 mm de profondeur) qui couvrent moins de 5 pour cent de la surface du sol.
Modérée	Présence de rigoles de profondeur faible ou modérée (<200 mm) et/ou qui couvrent jusqu'à 25 pour cent de terrain.
Sévère	Présence de rigoles profondes (prof. >300 mm) et/ou affectant plus de 25 pour cent de terrain.

ÉROSION EN RAVINES

Une ravine est un canal d'au moins 300 mm de profondeur (figure 3). Elle constitue un obstacle à la traction animale ou aux machines agricoles. Elle ne peut pas être bouchée par un labour normal.

Pas d'érosion en ravines	Pas de ravines dans le champ
Légère	Quelques ravines peu profondes (<0,5 m de prof.) affectant moins de 5 pour cent du terrain.
Modérée	Présence de ravines de profondeur faible ou modérée (0,5-1 m de prof.) et/ou affectant 5-25 pour cent de terrain.
Sévère	Présence de ravines profondes (> 1m de prof.) et/ou qui affectent plus de 25 pour cent de terrain.

FIGURE 2

La force cinétique des gouttes de pluie désagrège et propulse le sol non protégé. Les piédestaux restent visibles là où le sol est plus résistant. (Source : Shaxson *et al.*, 1977)



ÉROSION SUR LES RIVES DES COURS D'EAU

Elle affecte les bordures des cours d'eau sur lesquelles se déverse une décharge de sédiments. Elle peut être sévère en cas d'inondations, quand un volume important d'eau coule à grande vitesse.

Pas d'érosion sur les rives des cours d'eau	Rives avec plus ou moins 100 pour cent de couverture végétale et sans érosion active (sans rigoles et/ou ravines). Une faible perte de couverture végétale et un faible dépôt de sédiments entre les méandres.
Légère	Diminution légère du taux de couverture végétale (plus de 80 pour cent de couverture est maintenue) et érosion légère sur les rives. Moins de 5 pour cent de méandres ont plus de 1 km de long et quelques dépôts de sédiments.
Modérée	Diminution modérée du taux de couverture végétale (50-80 pour cent de couverture est maintenue) et une érosion légère ou modérée sur les rives. 5-15 pour cent des méandres mesurent plus de 1 km de long et dépôts modérés de sédiments.
Sévère	Diminution sévère du taux de couverture végétale (<50 pour cent de couverture est maintenue) et une érosion modérée ou sévère sur la partie supérieure de la rive. Plus de 15 pour cent de méandres mesurent plus d'1 km de long avec des dépôts importants de sédiments.

LES MOUVEMENTS DE MASSE

Ils incluent tous les mouvements de sol, de roches ou du mélange des deux, vers le bas de la pente, par exemple, les glissements et les chutes de terrain, les flux de terre et les avalanches. Cette catégorie de dégradation des sols touche plus les surfaces qui sont étendues, comme les bassins hydrographiques, plutôt que les exploitations individuelles.

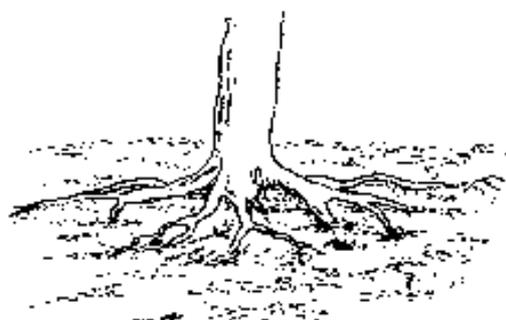
L'état :

Actifs	Glissement de terrain clairement visible avec des bordures saillantes et moins de 10 pour cent de couverture végétale dans la zone de glissement.
Stabilisés/non actifs	Glissement visible mais avec des bordures moins saillantes et avec plus de 50 pour cent de couverture végétale dans la zone concernée.
Partiellement stabilisés	Glissement clairement visible avec une couverture végétale entre 10-50 pour cent de la zone.

La sévérité :

Pas de mouvements	Nul	Pas de mouvements visibles (pas de signes visibles de glissements ou d'effondrements de masses).
Présence de mouvements	Légers	Des cas isolés de mouvements de masse. Des cas isolés de petites dimensions et/ou affectant moins de 0,1 pour cent de la zone.
	Modérés	Un nombre moyen de cas, ayant chacun des dimensions moyennes et/ou affectant 0,1-1 pour cent de la zone.
	Sévères	Un nombre important de cas ayant chacun de grandes dimensions et/ou couvrant 1 pour cent de la zone.

FIGURE 3
Les différents processus d'érosion. (Source: Vukasin et al., 1995)



érosion en nappe

rigoles d'eau



érosion en rigoles



ravine profonde

érosion en ravines

L'ÉROSION ÉOLIENNE

L'érosion éolienne implique à la fois le déplacement et le dépôt des particules de sol sous l'action du vent ainsi que les effets abrasifs de ce mouvement. Elle a lieu quand le sol est sans végétation suite au labour ou au surpâturage. Le vent peut non seulement déplacer le sol de surface mais peut aussi ensevelir le sol, les maisons, les machines et les clôtures par une couche de particules de sol.

Les vents horizontaux et violents endommagent la végétation et le sol. L'érosion éolienne est fréquente dans les conditions suivantes:

- le sol est retourné, sec et finement battu;
- le sol de surface est relativement aplati et la couverture végétale est dispersée;
- les champs sont larges et ouverts;
- le vent est suffisamment fort et turbulent pour déplacer des particules de sol.

Non apparente	Pas de signes observables d'érosion éolienne mais des signes mineurs peuvent être masqués par le labour récent.
Nulle	Pas d'indicateurs visibles d'érosion.
Légère	Quelques signes évidents de déplacements des particules de sols par le vent dans les exploitations; pas de vents visibles avec un peu de racines exposées; dépôts de poussières de sol de plus ou moins 2 cm d'épaisseur sur les bordures des champs ou sur les passages du vent; une certaine accumulation de sol dans les canaux de drainage.
Modérée	Des signes clairs de déplacement et de dépôts de particules de sol par le vent; exposition de quelques racines d'arbres et de plantes; dépôts de poussières de sol de 2-5 cm d'épaisseur sur les bordures des champs ou sur les passages du vent; accumulation modérée de poussière de sol dans les canaux.
Sévère	Des signes clairs de déplacements et de dépôts de sol par le vent; exposition importante de racines d'arbres et de plantes; exposition plus ou moins évidente des horizons profonds; canaux remplies de dépôts de sol; ensevelissement de toute la surface du sol d'au moins 5 cm de sol poussiéreux.

Annexe 3, Appendice 2

Les sources d'informations sur les technologies de conservation de l'eau et du sol

En 1992, un programme mondial appelé Panorama Mondial des Approches et des Technologies de Conservation (World Overview of Conservation Approches and Technologies, WOCAT) a été lancé par l'Association Mondiale pour la Conservation de l'Eau et le Sol (WASWC) ayant comme objectif la collecte et les échanges de l'information entre les pays membres sur les différentes approches et technologies de conservation de l'eau et du sol. Ce programme a collaboré avec des institutions sur le plan national et international, dans la collecte des données sur une grande partie de l'Afrique et de quelques pays asiatiques, notamment la Thaïlande, la Chine (Province de Fujian) et les Philippines.

Au mois de Mai 1998, le programme WOCAT a produit son premier rapport sous forme de CD-ROM, sorti sous forme de série No 3 de Média digital de la FAO. sur l'Eau et le Sol. Ce CD-ROM contient non seulement des bases de données modifiables, mais aussi les résultats des documentations faites pendant ces dernières années. Actuellement, environs 113 technologies et 75 approches ont été collectées et introduites dans la base de données du WOCAT.

Les informations sur le CD-ROM et sur les approches et technologies contenues dans la base de données WOCAT, peuvent être obtenues aux adresses suivantes:

CDE WOCAT	FAO
Hallerstrasse 12	Chef AGLL
CH-3012 Berne	Viale delle Terme di Caracalla
Suisse	00100 Rome, Italie
Tél: +44 31 631 88 22	Fax: +39 06 570 56275
Fax: +44 31 631 85 44	E-Mail: land-and-water@fao.org
E-Mail: wocat@giub.unibe.ch	Internet: http://www.fao.org

En plus de la base de données WOCAT, d'autres approches et technologies de conservation/gestion intégrée de l'eau et de sol peuvent être consultées dans un grand nombre de publications produites par des agences internationales, régionales ou nationales. Certaines de ces publications, actuellement disponibles, sont les suivantes:

Publications de portée mondiale

FAO. 1984. *Tillage systems for soil and water conservation*. Soils Bulletin 54.

FAO. 1985. *Watershed Management Field Manual - Vegetative and Soil Treatment Measures*. FAO Conservation Guide No. 13/1

FAO. 1986. *Watershed Management Field Manual - Gully Control*. FAO Conservation Guide No. 13/2

- FAO.** 1987. *Soil and Water Conservation in Semi-arid Areas*. Soils Bulletin No. 57
- FAO.** 1988. *Watershed Management Field Manual - Slope Treatment Measures and Practices*. FAO Conservation Guide No. 13/3
- FAO.** 1988. *Watershed Management Field Manual - Landslide Prevention Measures*. FAO Conservation Guide No. 13/4
- FAO.** 1989. *Soil Conservation for Small Farmers in the Humid Tropics*. Soils Bulletin No. 60
- FAO.** 1991. *Water Harvesting - a Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production*. AGL/MISC/17/91
- FAO.** 1995. *Tillage Systems in the Tropics - management options and sustainability implications*. Soils Bulletin No. 71. FAO Rome
- FAO.** 1995. *Sustainable Dryland Farming in Relation to Soil Productivity*. Soils Bulletin No. 72 FAO Rome
- FAO.** 1996. *Land Husbandry Components and Strategy*. Soils Bulletin No. 70 FAO Rome
- FAO.** 1999. *Integrated soil management for sustainable agriculture and food security*. AGL/MISC/23/99 FAO Rome
- Herweg, K.** 1996. *Field Manual for Assessment of Current Erosion Damage*. Soil Conservation Research Programme Ethiopia and Centre for Development and Environment, Institute of Geography, University of Berne, Quartiergasse 12, CH-3012 Berne, Switzerland.
- Ingram, J.** 1990. *The Role of Trees in Maintaining and Improving Soil Productivity - A Review of the Literature*. Series No. CSC(90)AGR-15 Technical Paper 279 Commonwealth Science Council London.
- Vukasin, H.L.** [ed.] 1988. *Guidelines for Planning Environmentally Small-scale Agricultural Projects*. Arlington CODEL/VITA
- Wijewardene, R & Waidyanatha, P.** 1984. *Systems, Techniques & Tools - Conservation Farming for Small Farmers in the Humid Tropics*. Commonwealth Secretariat Marlborough House London.
- World Neighbours.** 1985. *Introduction to Soil and Water Conservation Practices*. Oklahoma City USA.
- World Neighbours.** 1988. *Integrated Farm Management*. Oklahoma City USA.
- Young, A.** 1989. *Agroforestry for Soil Conservation*. Science and Practice of Agroforestry No 4. ICRAF Nairobi Kenya/CAB International Wallingford UK.

Publications couvrant l'Asie

- APAN.** 1996. *Asia-Pacific Agroforestry Profiles: Second Edition*. Asia-Pacific Agroforestry Network Field Doc. No. 4/RAP Publication 1996/20. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.

FAO & IIRR. 1995. *Resource Management for Upland Areas in Southeast Asia - An Information Kit*. FARM Field Document 2. FAO RAP Bangkok Thailand, IIRR Cavite the Philippines.

Hafeez, S. 1998. *Appropriate Farm Technologies for Cold and Dry Zones of the Hindu Kush-Himalayas*. ICIMOD, Kathmandu Nepal

Partap, T & Watson, H.R. 1994. *Sloping Agricultural Land Technology (SALT) a Regenerative Option for sustainable Mountain Farming*. ICIMOD Occasional Paper No. 23. Kathmandu Nepal

Publications couvrant l'Afrique

Chinene, V.R.N., Shaxson, T.F., Molumeli, P.R., Segerros, M. and Douglas, M.G. 1996. *Guidelines to Better Land Husbandry in the Southern African Region*. Environment and Land Management Sector SADC Maseru Lesotho

Critchley, W. 1991. *Looking After Our Land New Approaches to Soil & Water Conservation in Dryland Africa*. IIED/OXFAM Oxford.

Hai, M.T. 1998. *Water Harvesting: An Illustrative Manual for Development of Micro-catchment Techniques for Crop Production in Dry Areas*. Regional Land Management Unit RELMA/SIDA Nairobi Kenya.

Rocheleau, D., Weber, F. & Field-Juma, A. 1988. *Agroforestry in Dryland Africa*. ICRAF Nairobi Kenya.

Publications couvrant les Caraïbes

Gumbs, F.A. 1987. *Soil and Water Conservation Methods for the Caribbean*. Department of Agricultural Extension, University of West Indies, Trinidad

Exemples de publications par pays

1. Chine

MWR. 1989. *Terraces in China* Ministry of Water Resources, Beijing, People's Republic of China.

2. Ethiopie

CFSCD. 1986. *Guidelines for Development Agents on Soil Conservation in Ethiopia*. Community Forests and Soil Conservation Development Department, Ministry of Agriculture Addis Ababa, Ethiopia.

3. Inde

Kerr, J. & Sanghi, N.K. 1992. *Indigenous Soil and Water Conservation in India's Semi-Arid Tropics*. Gatekeeper Series No. 34 Sustainable Agriculture Programme International Institute for Environment and Development (IIED) London.

4. Kenya

Thomas, D. 1997 *Soil and Water Conservation Manual for Kenya*. published by the Soil and Water Conservation Branch, Ministry of Agriculture, Livestock & Marketing, Nairobi.

5. Malawi

Shaxson, T.F., Hunter, N.D., Jackson, T.R., & Alder, J.R. 1977. *A Land Husbandry Manual*. Government Printer Zomba Malawi.

6. Afrique du Sud

Philip, D et al. 1995. *People's Farming Workbook*. Environmental & Development Agency Trust, Capetown & Jo'burg ISBN 0 86486 112 5.

7. Philippines

Agroforestry Technology Information Kit. DENR, IRRI and the Ford Foundation.

Agroforestry Species for the Philippines. US Peace Corps, Technology Support Center, 2139 Fidal, A. Reyes St. Malate, Manila 1004.

Ipil-Ipil Hedgerows For Soil Erosion Control in Hillylands. Celestino A.F. 1985. FSSRI College of Agriculture UPLB Laguna.

Resource Book - On Sustainable Agriculture for the Uplands. IRRI, Mindanao Baptist Rural Life Centre, Mag-uugmad Foundation, World Neighbours.

Sloping Agricultural Lands Technology. PCARRD Technology Series.

Soil Erosion Control Measures for the Uplands. Philippines Uplands Resources Center, de la Salle University Research Center, 2401 Taft Avenue, Manila 1004.

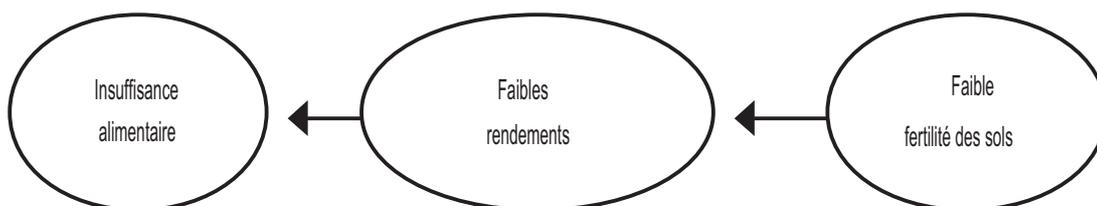
Annexe 4

Méthodologie d'analyse des problèmes au niveau de l'exploitation et de la communauté

A. UTILISATION DU DIAGRAMME CAUSAL

Si les causes d'un problème ne sont pas clairement identifiées, certaines interventions inappropriées peuvent être proposées pour résoudre les problèmes de gestion de sol au niveau de l'exploitation. Un diagramme causal est une technique valable pour déterminer et expliquer les relations complexes entre les différentes causes et comment leurs effets, individuels ou combinés, aboutissent à un problème particulier. Par une démonstration claire de ces interrelations, la technique aide à éviter ou à résoudre les points de vue des participants au champ-école pour agriculteurs sur la GISN, en distinguant les problèmes-clés, les problèmes qui sont en réalité les causes et la liaison qui existe entre les différentes causes et contraintes.

Dans un diagramme causal, la cause ou la contrainte potentielle d'un problème particulier est appelé «facteur causal». Tous les facteurs causaux ne sont pas de même importance et tous n'agissent pas directement sur le problème. Certains d'entre eux ont une relation causale plus lointaine que d'autres, mais continuent à y contribuer. Ceci peut être démontré par l'emploi des chaînes causales liant les différents facteurs causaux d'un problème, suivant une suite logique. La chaîne causale ci-dessous montre que le facteur causal d'une faible fertilité des sols produit un effet de rendements agricoles faibles qui, à son tour, constitue la cause ultime du problème clé de l'exploitation familiale, c'est-à-dire l'insuffisance alimentaire.



Construction d'un diagramme causal

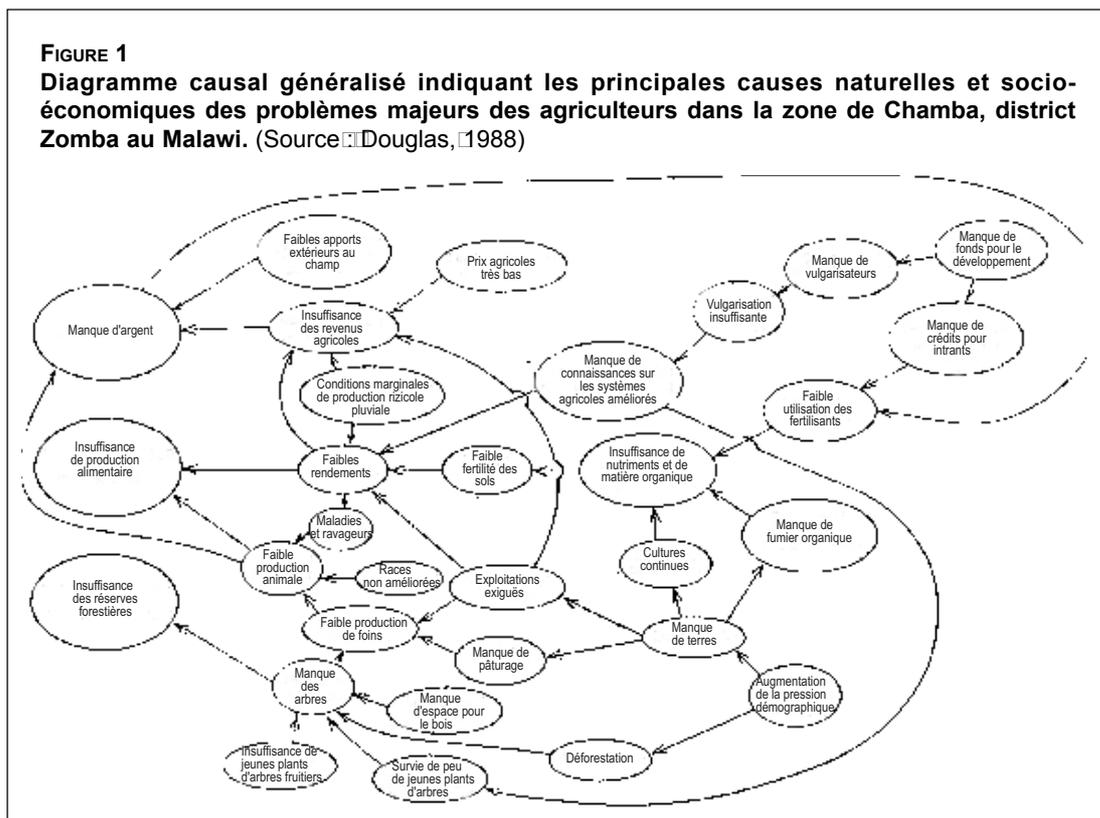
La procédure pour construire un diagramme causal est la suivante :

- identifier le(s) problème(s) à expliquer;
- identifier les facteurs causaux générateurs de chaque problème;
- décider les mots, la phrase courte ou le symbole, pour décrire le problème et l'entourer d'un rond à gauche du diagramme;
- décider les mots, les phrases courtes ou les symboles pour les facteurs causaux relatifs aux problèmes. Entourer ces facteurs par des ronds, en commençant par le moins significatif, à droite du diagramme;
- examiner les différents facteurs et tracer des flèches reliant les ronds pour montrer les relations entre les causes et les effets. Les flèches partent des causes vers les effets et donnent des séries de chaînes reliant les facteurs causaux au problème dans une séquence logique;

- perfectionner le diagramme de l'étape précédente. Faire des modifications nécessaires pour améliorer sa consistance et sa clarté. Réarranger, si c'est nécessaire, la position des ovales pour produire une progression ordonnée de droite vers la gauche du diagramme.

Indications sur les points d'intervention

Les diagrammes causaux peuvent être utilisés, dans le système agricole, pour identifier les points sur lesquels il faut intervenir sur le terrain et/ou la stratégie dans le but de résoudre un problème particulier en maîtrisant les causes ou en déplaçant les contraintes, pour augmenter la production de manière durable. Le diagramme permet aux participants CEA de découvrir et de déterminer, par priorité, les points d'intervention en fonction de leur importance par rapport au problème et quelles contraintes doivent être déplacées avant ces interventions. Il permet également de découvrir les causes des contraintes, notamment celles qui ne peuvent pas être maîtrisées immédiatement par une intervention technique pour une ou plusieurs raisons biophysiques, sociales, économiques ou politiques.



B. ANALYSE DE L'ARBRE À PROBLÈME

Dans cette méthode, les problèmes majeurs qui correspondent aux contraintes identifiées, sont analysés sur la base de l'information disponible. Les principales relations causales entre les problèmes sont ensuite visualisées dans un arbre à problème. Celui-ci est un diagramme qui illustre une série de relations entre les problèmes en les classant selon une hiérarchie de leurs relations de cause à effet. Dans ce diagramme, les causes sont présentées à des niveaux inférieurs et les effets à des niveaux supérieurs. La disposition des problèmes dans une suite logique conduit à des conclusions logiques et éventuellement à l'identification des solutions efficaces.

Pour construire un arbre à problème, on identifie d’abord les problèmes majeurs existants (les problèmes les plus importants) en se basant sur l’information disponible. Des feuilles de papier «cartes mobiles» sont utilisées pour ce travail et chaque participant écrit (ou utilise un symbole) une suggestion pour un problème principal (qu’il considère comme point central du problème). On doit garder à l’esprit que le problème principal est une négation, et non pas une absence de solution. Par exemple, un sol sodique est un problème, mais la non disponibilité du gypse n’en est pas un. Le groupe peut discuter sur chacune des propositions et essayer de trouver un consensus sur celui qui constitue le problème principal. En cas de non accord, les problèmes proposés sont rangés dans un arbre à problème selon leurs relations causales et le groupe pourrait réessayer ensuite de trouver un consensus sur le problème principal.

Comme activité suivante, les causes directes et substantielles du problème sont identifiées et placées parallèlement à la ligne qui se trouve juste en dessous. De même, les effets directs et substantiels du problème sont identifiés et placés en parallèle à la ligne juste au dessus. Les causes et les effets sont ensuite développés selon le même principe et placés à des niveaux différents pour former l’arbre à problèmes. Le processus est clôturé si les participants sont convaincus que toute l’information essentielle est notée et incluse dans le diagramme pour pouvoir expliquer les principales relations de cause à effet caractérisant le problème. L’emplacement d’un problème dans le diagramme n’indique pas nécessairement son degré d’importance, mais simplement sa position dans une suite logique de relations de cause à effet. Etant donné qu’il peut y avoir des modifications de la structure du problème pendant l’exercice, il est conseillé d’utiliser des tableaux avec des punaises et les problèmes sont représentés sur des feuilles de papier (cartes mobiles). Ces cartes peuvent être déplacées, regroupées ou réarrangées pendant les discussions.

L’arbre, après sa construction, est ajusté en cas de nécessité et sa validité est vérifiée. A ce niveau, le travail se fait du bas vers le haut et tous les éléments sont reformulés de manière positive. Tous les problèmes sont examinés pour déterminer ceux qui peuvent être résolus par des interventions au niveau familial ou régional. Cela peut servir de base pour formuler des solutions aux problèmes identifiés (Voir figures 2–4).

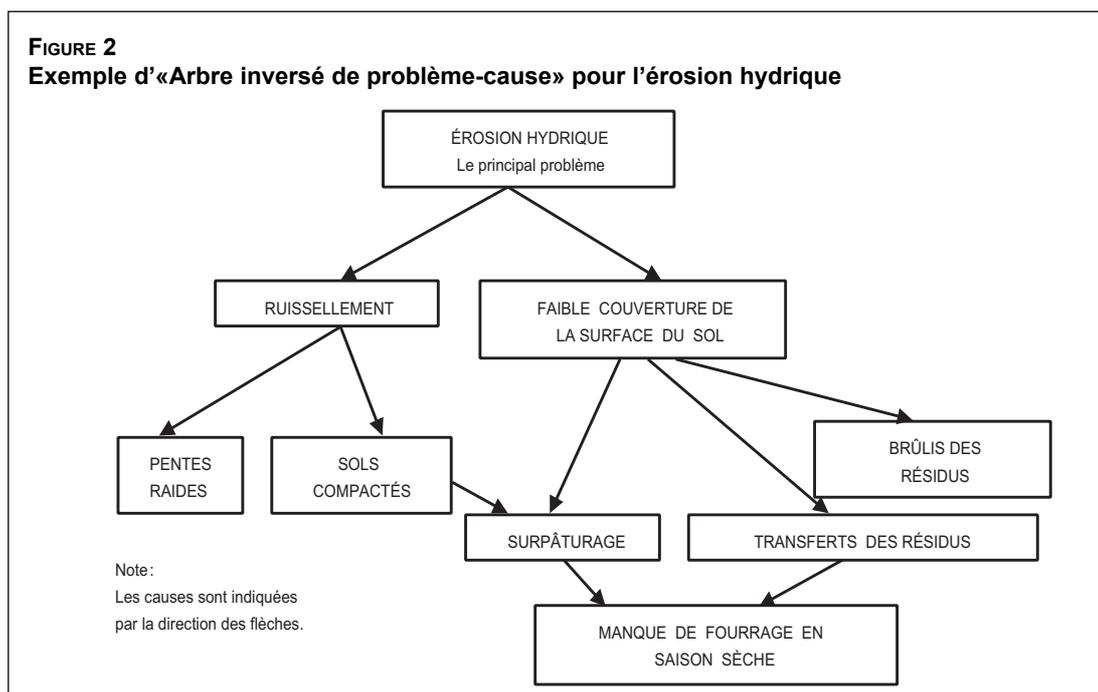


FIGURE 3
Exemple d'«Arbre inversé de problème-cause» pour la «faible fertilité des sols»

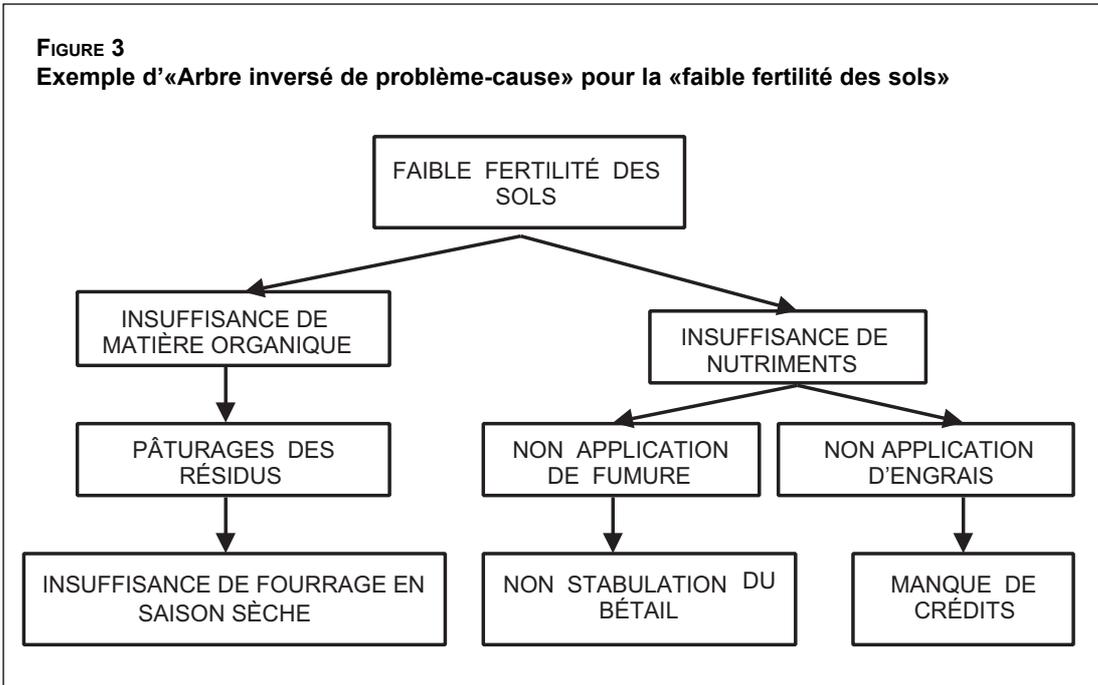
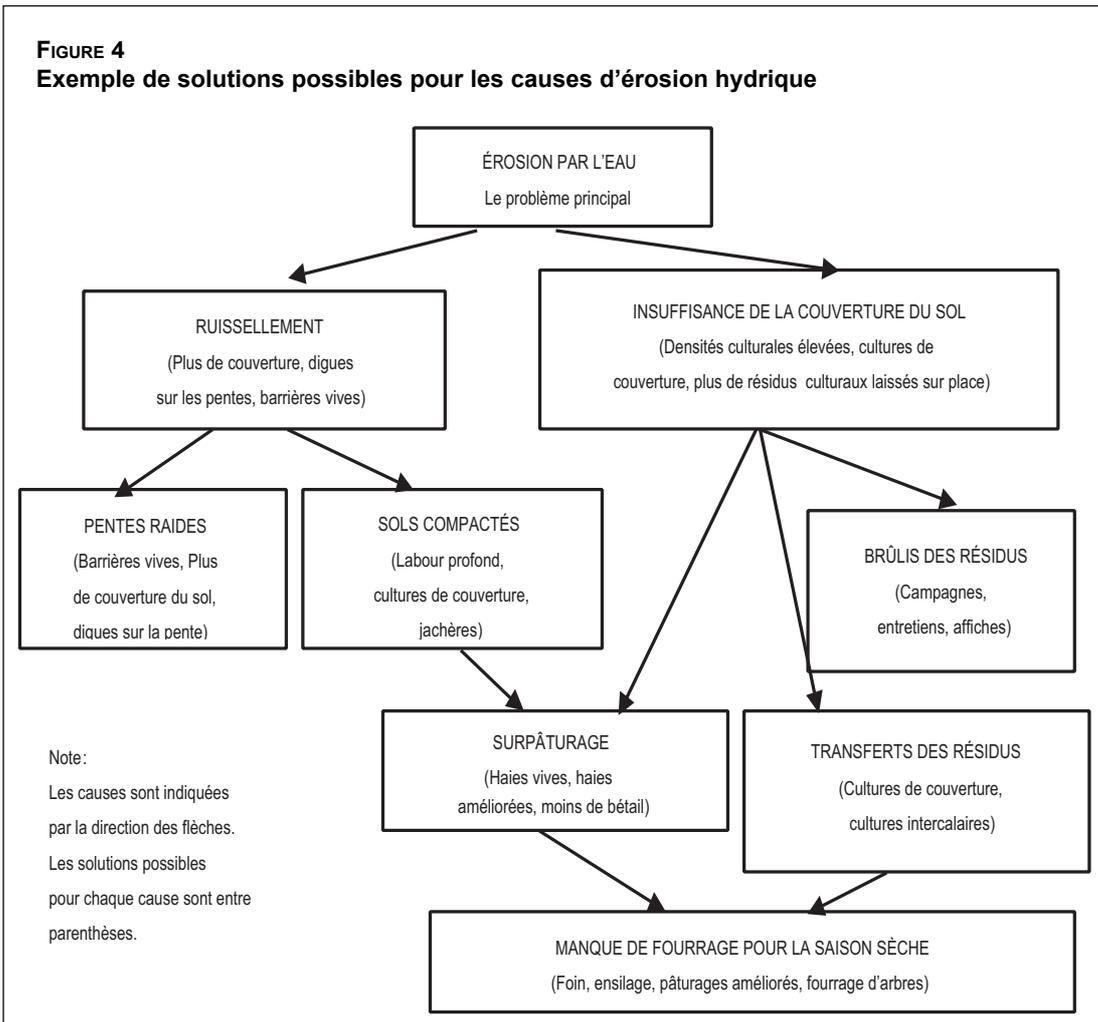


FIGURE 4
Exemple de solutions possibles pour les causes d'érosion hydrique



Annexe 5 Formulaires d'évaluation

TABLEAU 1: Enregistrement des données et calcul des marges brutes

Les coûts				
Intrants		Main-d'œuvre payée		Autres coûts
Quantités (kg,litre)	Coût	Jours, heures	Coût	
Semences Engrais Pesticides Eau Emballages Transport Carburant				Equipement Médicamentsvétérinaires Pièces de rechange Battage
Coût total		Coût total		Coût total
Coût global de production				

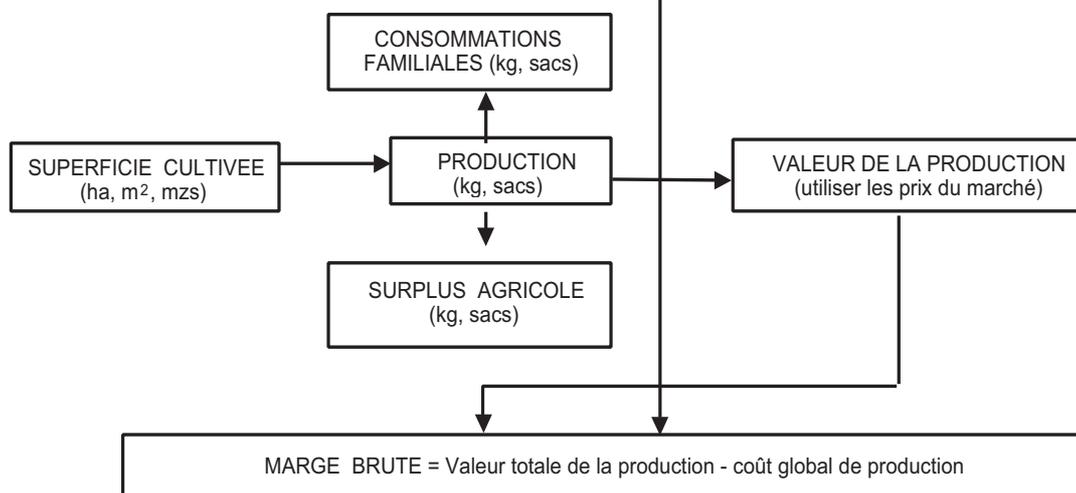


TABLEAU 2
Formulaire d'évaluation des changements de productivité du sol.

Partie 1 : Les facteurs positifs			
	Colonne A	Colonne B	Colonne C
	Augmenté	Diminué	Inchangé
Les rendements agricoles ont...			
La croissance des plantes a...			
En général, la fertilité des sols a...			
La couleur noire du sol de surface a...			
La fréquence des légumineuses a...			
L'emploi du fumier a...			
L'emploi du compost a...			
L'emploi du paillage a...			
L'emploi des engrais verts a...			
L'emploi des cultures de couverture a...			
L'emploi des rotations culturales a...			
Le non labour ou le labour minimal a...			
L'usage des cultures intercalaires et successives a..			
La densité culturale a ...			
La quantité des résidus de surface a ...			
L'activité des vers de terre a...			
Le nombre de biopores a...			
La facilité du labour a ...			
Le nombre total des contrôles (+)			

Partie 2 : Facteurs négatifs			
	Colonne A	Colonne B	Colonne C
	Augmenté	Diminué	Inchangé
Les symptômes de déficience en nutriments ont...			
L'incidence des mauvaises herbes a...			
Le nombre de mauvaises herbes a...			
La fréquence des stress hydriques a..			
La fréquence des durcissements/fermetures de la surface du sol a...			
La fréquence des faibles degrés de levée a...			
La fréquence des mares à la surface a...			
La fréquence des enracinements limités a..			
Les nécessités des labours profonds ont...			
La fréquence d'engorgement a...			
La fréquence des orages avec ruissellements a...			
La fréquence des rigoles a...			
La fréquence des caniveaux a....			
La fréquence de l'érosion éolienne a...			
Nombre total des contrôles +			

Les changements positifs = Nombre total de(+) colonne A, Partie 1+ colonne B, Partie 2=	(X)
Les changements négatifs = Nombre total de(+) colonne B, Partie 1+ colonne A, Partie 2=	(Y)
Pas de changements = Nombre total de(+) colonne C, Partie 1+ colonne C, Partie 2=	(Z)
Changement global dans le comportement du sol = (X) - (Y) - (Z) =	(J)

TABEAU 3: Formulaires d'évaluation de la formation sur les modules de GISN

Evaluation de l'utilité, de la qualité, du niveau de compréhension des modules, des principes et des techniques de GISN.

Les degrés	Modules / Principes / Techniques				
	1	2	3	4	5
L'utilité					
Très bénéfique					
Bénéfique					
Non bénéfique					
La qualité					
Acceptable					
A améliorer					
Accorder moins de temps					
Accorder plus de temps					
Le niveau de compréhension					
Bien compris					
Moyennement compris					
Faiblement compris					

TABEAU 4: Formulaire d'évaluation de l'organisation du champ-école et du facilitateur

Evaluation de l'organisation du CEA et de l'aptitude du facilitateur.

	bonne	acceptable	à améliorer
Organisation du CEA			
Durée			
Calendrier des sessions			
Longueur des sessions			
Lieux			
Convenable pour les femmes			
Visites			
Exercices			
Connaissances			
Tests des solutions possibles sur le terrain			
Aptitude du facilitateur			
Maîtrise du sujet			
Aptitude à communiquer			
Compréhension des problèmes des agriculteurs			
Volonté d'écouter les agriculteurs			
Réceptivité aux suggestions des agriculteurs			

TABLEAU 5: Formulaire pour suggestions**Suggestions sur les améliorations souhaitables.**

Suggestions générales	
Pourrait-on accorder plus/moins/le même temps aux :	
Exercices?	
Discussions?	
Tests de terrain?	
Entretiens?	
Visites?	
Suggestions spécifiques	
Quels thèmes à:	
Ajouter?	
Retirer?	
Accorder moins de temps?	
Accorder plus de temps?	
Comment pourrait-on améliorer l'organisation du CEA?	

Annexe 6

Les symptômes foliaires de déficiences en nutriments

CHANGEMENT DE COULEUR DES FEUILLES INFÉRIEURES

Azote: Apparition d'une couleur vert-clair ou jaune-pâle sur les vieilles feuilles, commençant par les extrémités. En fonction du degré de déficience, ces feuilles se nécrosent ou se dessèchent.

Phosphore: Les feuilles adultes ont une couleur caractéristique vert-sombre ou vert-bleu. En cas de déficience aiguë, des couleurs violettes sont visibles sur les feuilles et les tiges. On remarque aussi un développement racinaire réduit, un retard de maturité et un faible développement des fruits et des graines.

Potassium: Perte de coloration verte le long des bordures foliaires, suivie de brûlures et de brunissement des extrémités des vieilles feuilles. Ces symptômes progressent sur toute la feuille et aboutissent au ralentissement de la croissance, à l'affaiblissement des tiges et à la mort des plantes.

Magnésium: Les symptômes apparaissent souvent sur les vieilles feuilles dont la zone entre les nervures devient jaune ou blanche, produisant un effet strié ou inégal. Avec une déficience aiguë, la feuille affectée peut devenir rouge-violette des bordures vers l'intérieur, ensuite se dessèche et meurt.

Zinc: Les symptômes de déficiences apparaissent généralement au sommet de la plante, sur les deuxièmes ou troisièmes feuilles en pleine croissance. Sur le maïs, le symptôme est une rayure jaune qui s'élargit en une bande de tissus blancs ou jaunes avec des nervures rouge-violettes apparaissant souvent sur la moitié inférieure de la feuille. Sur le riz, après 15-20 jours de repiquage, sur les vieilles feuilles apparaissent de petites taches jaunes-blanches qui s'élargissent, fusionnent et deviennent brun foncé. Toute la feuille devient rouille-brune et meurt en un mois.

CHANGEMENT DE COULEUR DES FEUILLES SUPÉRIEURES AVEC MORT DU BOURGEON TERMINAL

Calcium: Les déficiences en calcium sont rarement observées, parce que les effets secondaires de l'acidité dominent souvent. Les jeunes feuilles des nouvelles plantes sont les premières affectées, elles deviennent tordues, petites et anormalement vert-sombre. Les feuilles peuvent devenir froissées en forme de coupe. En cas de déficience sévère, le bourgeon terminal meurt et la croissance des racines est affectée.

Bore: Les feuilles proches du bourgeon terminal se décolorent en vert-clair ou jaune, le bourgeon devient un tissu nécrotique coloré en blanc ou en brun-clair.

CHANGEMENT DE COULEUR DES FEUILLES SUPÉRIEURES AVEC BOURGEON TERMINAL VIVANT

Soufre: Les nervures et les jeunes feuilles se décolorent uniformément en vert-jaunâtre ou en jaune.

Fer: Les zones inter-nervures des jeunes feuilles se colorent en jaune, presque blanc, mais les bordures foliaires restent vertes pendant une certaine période.

Cuivre: Les jeunes feuilles des céréales se décolorent uniformément en jaune-pâle ou flétrissent sans perdre leur couleur verte.

Manganèse: Les jeunes feuilles se colorent en vert-pâle ou en jaune avec des taches nécrotiques entre les nervures. Il apparaît des zones grises près de la base de jeunes feuilles qui deviennent jaunes ou jaune-oranges.

PLANCHE 1
Carence en azote du maïs (FAO 1984)

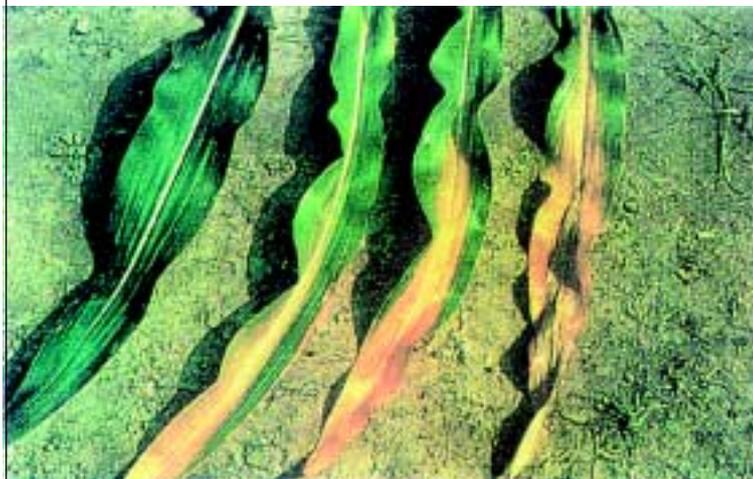


PLANCHE 2
Carence en phosphore du maïs (FAO 1984)



PLANCHE 3
Carence en potassium du soja (FAO 1984)



PLANCHE 4
Carence en magnésium du maïs
(FAO 1984)



PLANCHE 5
Carence en zinc du maïs (Loué 1993)



PLANCHE 6
Carence en cuivre du blé (Loué 1993)

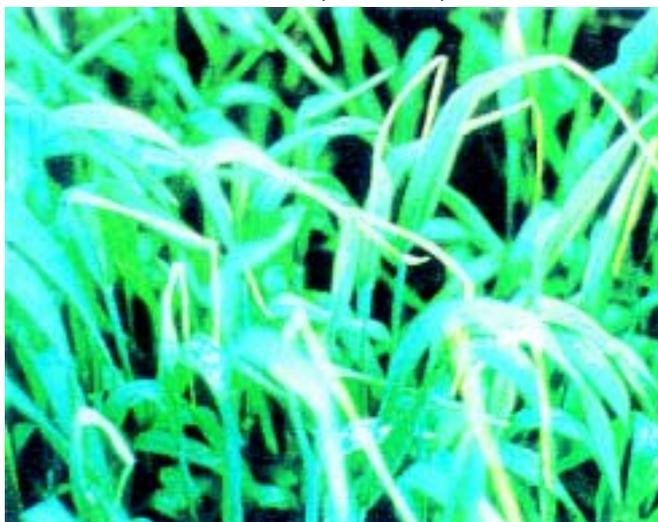


PLANCHE 7**Carence en calcium du bananier (Belger *et al.*)****PLANCHE 8****Carence en soufre du riz (FAO 1984)**

PLANCHE 9
Carence en manganèse du blé
(Loué 1993)



PLANCHE 10
Carence en manganèse du bananier (Loué 1993)

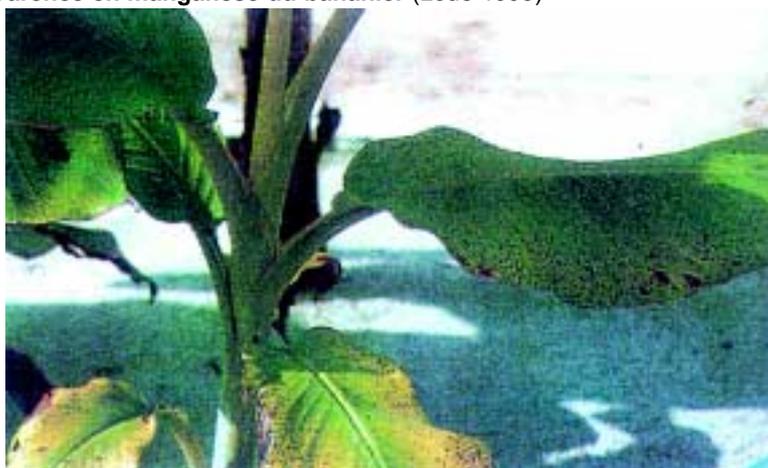
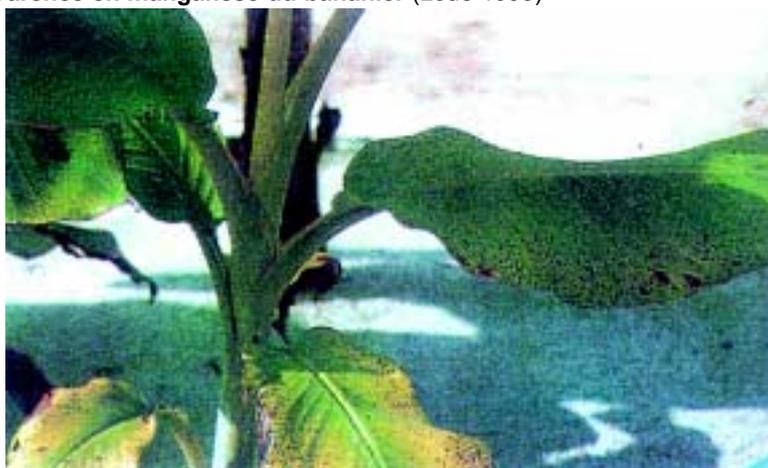


PLANCHE 9
Carence en manganèse du blé
(Loué 1993)



PLANCHE 10
Carence en manganèse du bananier (Loué 1993)



DOCUMENTATION GÉNÉRALE (AGL)

1. Exploitation de Résultats d'Essais Agronomiques: Fixation Symbiotique de l'Azote. Analyse de la variance. G. Caraux, 1985 (F)*
2. A Review of Small-scale Irrigation Schemes in Kenya. J.H. Van Doorne. 1985 (A)*
3. Exploiting Agronomic Test Results. Symbiotic Nitrogen Fixation User's Manual: Analysis of variance on Apple II computer. G. Caraux. 1985 (A)*
4. Water for Animals. Ph. Pallas. 1985 (A)*
5. Landscape-guided Climatic Inventory Using Remote-sensing Imagery. F. van der Laan. 1985 (A)*
6. Biogas in Africa: Current Status and Strategies to Enhance its Diffusion. D.C. Stuckey. 1985 (A)*
7. Status Report on Plant Nutrition in Fertilizer Programme Countries in Asia and the Pacific Region. 1986 (A)*
8. Hydraulique pastorale. Ph. Pallas. 1986 (A)
9. Levels of Fertilizer Use in the Asia and Pacific Region. 1986 (A)*
10. Status Report on Plant Nutrition in Fertilizer Programme Countries in Africa. 1986 (A)*
11. Irrigation and Water Resources Potential for Africa. 1987 (A)
12. Effects of Agricultural Development on Vector-borne Diseases. 1987 (A)
13. Irrigated Areas in Africa. E/F. 1987 (A)
14. Manpower Planning for Irrigation. R. Carter, D. Mason and M. Kay. AGL/ESH. 1988 (A, F)*
15. NGO Casebook on Small-scale Irrigation in Africa. R. Carter. 1989 (A)
16. Water, Soil and Crop Management Relating to the Use of Saline Water. 1990 (A)
17. Water Harvesting. 1991 (A)
18. Improved Irrigation System Performance for Sustainable Agriculture. 1991 (A)
19. Fertigation/Chemigation. 1991 (A)
20. Secondary Nutrients. 1992 (A)
21. Le travail du sol pour une agriculture durable. 1997 (F)
22. Planning Sustainable Management of Land Resources: The Sri Lankan example. 1999 (A)
23. Integrated Soil Management for Sustainable Agriculture and Food Security in Southern and East Africa. 1999 (A)
24. Soil Physical Constraints to Plant Growth and Crop Production. 1999 (A)
25. New Dimensions in Water Security. 2000 (A)
26. Guidelines for On-farm Plant Nutrition and Soil Management Trials and Demonstrations. 2000 (A, E)
27. Guidelines and Reference Material on Integrated Soil and Nutrient Management and Conservation for Farmer Field Schools. 2000 (A, F)
28. Simple Soil, Water and Plant Testing Techniques for Soil Resource Management. 2000 (A)
29. Water and Agriculture in the Nile Basin. 2000 (A)
30. Guide – Diagnostic participatif des contraintes et des potentialités pour la gestion des sols et des éléments nutritifs des plantes. 2000 (A, F)
31. Soil and nutrient management in sub-Saharan Africa in support of the soil fertility initiative. 2001 (A)
32. Small dams and weirs in earth and gabion materials. 2001 (A)
33. Guidelines for the qualitative assessment of land resources and degradation. 2001 (A)
34. Preliminary review of the impact of irrigation on poverty with special emphasis on Asia. 2003 (A)
35. Overview of land value conditions. 2003 (A)
36. Guiding principles for the quantitative assessment of soil degradation – with a focus on salinization, nutrient decline and soil pollution, 2004 (E). Only available in PDF format at <http://www.fao/ag/agl/public.stm>.
37. A review of carbon sequestration projects, 2004 (E). Only available in PDF format at <http://www.fao/ag/agl/public.stm>.

Disponibilité: mai 2004

A - Anglais	Multil - Multilingue
E - Espagnol	* Epuisé
F - Français	