



**USAID**  
FROM THE AMERICAN PEOPLE

## **AGRIBUSINESS AND TRADE PROMOTION (USAID ATP)**

*In fulfillment of the following deliverable under task 3.2.4:*

### **Training of Trainer Manuals for Association Partners Maize (Facilitator/Learner Manual)**

**Contract/ Project No.:** EDH-1-00-00005-08

**Submitted to:** Michael L. Wyzan Ph.D.  
COTR  
Agribusiness and Trade Promotion Project  
USAID/WA/RAO  
Accra, Ghana

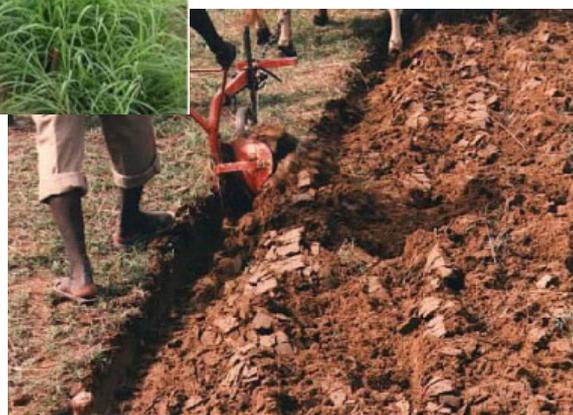


Abt Associates Inc. ■ 4550 Montgomery Lane, Suite 800 North ■  
Bethesda, Maryland 20814 ■ Tel: 301.347.5000. ■ Fax: 301.913.652.9061  
■ [www.abtassociates.com](http://www.abtassociates.com)

*In collaboration with:*  
ACDI/VOCA  
CARANA Corporation

# Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS) :

## Manuel du Facilitateur



Association CEAS-Burkina

# TABLE DES MATIERES

Introduction générale au cours sur la GIFS .....	5
Objectifs de la formation .....	5
Groupes cibles .....	5
Durée de la formation .....	5
Lieu de la formation.....	5
Informations sur les conditions pratiques.....	6
Utilisation du guide du formateur et du support de cours .....	6
Méthodes pédagogiques .....	6
Préparation technique de la formation.....	7
Outils de démonstration.....	7
Liste de références pour le matériel pédagogique requis .....	8
Partie 1 : Introduction et pré-évaluation de la formation.....	9
Session 1.1 Présentation des participants .....	9
Session 1.2 Capitalisation des attentes .....	9
Session 1.3 Contrat social.....	10
Session 1.4 Conditions de travail.....	10
Session 1.5 Présentation du contexte de la formation .....	10
Session 1.6 Présentation des objectifs et du programme de la formation .....	11
Partie 1 : Introduction et pré-évaluation de la formation (Support de cours) .....	12
Partie 2 : Notions de base sur la GIFS.....	13
Session 2.1 : Connaissance du sol et de son origine (Procédures).....	13
Session 2.1 : Connaissance du sol et de son origine (Support de cours).....	15
Session 2.2 : L'importance du sol et ses fonctions (Procédures).....	18
Session 2.2 : L'importance du sol et ses fonctions (Support de cours).....	19
Session 2.3 : Définition de la fertilité du sol ? (Procédures).....	21
Session 2.3 : Définition de la fertilité du sol ? (Support de cours).....	22
Session 2.4 : La dégradation des sols (Procédures).....	23
Session 2.4 : La dégradation des sols (Support de cours) .....	25
Session 2.5 : Les nutriments des plantes (Procédures).....	28
Session 2.5 : Les nutriments des plantes (Support de cours) .....	29
Session 2.6 : Qu'est-ce que la GIFS ? (Procédures).....	31
Session 2.6 : Qu'est-ce que la GIFS ? (Support de cours) .....	31
Session 2.7 : Pourquoi la GIFS (Procédures).....	33

Session 2.7 : Pourquoi la gestion intégrée de la fertilité des sols (Support de cours) .....	35
Partie 3. Appliquer la GIFS .....	36
Session 3.1 Amender et conserver les sols.....	36
Module 3.1.1 Les amendements organiques (Procédures).....	36
Module 3.1.1 Les amendements organiques (Support de cours).....	37
Module 3.1.2 : Conserver l'eau et les sols (Procédures) .....	38
Module 3.1.2 : Conserver l'eau et les sols (Support de cours).....	39
Session 3.2 : Promouvoir les processus biologiques des sols .....	41
Module 3.2.1 Les apports et la valorisation des nutriments par les microorganismes (Procédures).....	41
Module 3.2.1 Apports et valorisation des nutriments par les microorganismes (Support de cours).....	43
Module 3.2.2 La contribution de la macrofaune du sol (Procédures).....	45
Module 3.2.2 La contribution de la macrofaune du sol (Support de cours).....	46
Session 3.3 : Gérer les apports en nutriments .....	48
Module 3.3.1 Les apports de nutriments par les ressources organiques (Procédures) .....	48
Module 3.3.1 Les apports de nutriments par les ressources organiques (Support de cours).....	49
Module 3.2.2 Les apports de nutriments par les engrais (Procédures).....	51
Module 3.2.2 Les apports de nutriments par les engrais (Support de cours) .....	53
Module 3.2.3 Améliorer l'efficacité des apports de nutriments (Procédures) .....	59
Module 3.2.3 Améliorer l'efficacité des apports de nutriments (Support de cours).....	60
Partie 4 : Plan de Retour et Evaluation de la Formation .....	65
Session : 4.1 Plan de retour (Procédures).....	65
Session : 4.2 Evaluation et clôture de la formation (Procédures) .....	66
Session : 4.2 Evaluation et clôture de la formation (Support de cours) .....	68
Fiche d'évaluation.....	68

# Programme de la formation

<b>JOUR 0</b>			
<b>Arrivé et accueil des participants</b>			
<b>JOUR 1</b>			
8h30-10h30	<b>Partie 1</b> : Introduction de la formation et notions de base	Session 1.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction de la formation</li> <li>• Présentation des participants</li> </ul>
		Session 1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capitalisation des attentes</li> </ul>
		Session 1.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrat social</li> </ul>
		Session 1.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conditions de travail</li> </ul>
		Session 1.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présentation du contexte de la formation</li> </ul>
		Session 1.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présentation des objectifs et programme de la formation</li> </ul>
10h30-11h		Pause	
11h-13h	<b>Partie 2</b> : Notions de base sur la GIFS	Session 2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaissance du sol</li> </ul>
13h-14h		Session 2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importance du sol et de ses fonctions</li> </ul>
14h-16h		Pause	
		Session 2.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition de la fertilité du sol</li> </ul>
		Session 2.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La dégradation des sols</li> </ul>
<b>JOUR 2</b>			
8h30-10h30	<b>Partie 2</b> : Notions de base sur la GIFS (suite)	Session 2.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les nutriments des plantes</li> </ul>
		Session 2.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qu'est-ce que la GIFS</li> </ul>
		Session 2.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pourquoi la GIFS</li> </ul>
10h30-11h		Pause	
11h-13h	<b>Partie 3</b> : Appliquer la GIFS	Session 3.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amender et conserver les sols</li> </ul>
13h-14h		Module 3.1.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les amendements organiques</li> </ul>
14h-16h		Pause	
		Module 3.1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conserver l'eau et les sols</li> </ul>
<b>JOUR 3</b>			
8h30-10h30	<b>Partie 3</b> : Appliquer la GIFS (suite)	Session 3.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promouvoir les processus biologiques des sols</li> </ul>
		Module 3.2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les processus biologiques d'apports et de valorisation des nutriments</li> </ul>
10h30-11h		Module 3.2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La contribution de la faune du sol</li> </ul>
		Pause	
11h-13h		Session 3.3 :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gérer les apports de nutriments</li> </ul>
13h-14h		Module 3.3.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les apports de nutriments par les ressources organiques</li> </ul>
14h-16h		Module 3.3.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les apports de nutriments par les engrais</li> </ul>
	Pause		
	Module 3.3.2 (suite)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les apports de nutriments par les engrais (suite)</li> </ul>	
<b>JOUR 4</b>			
8h30-10h30	<b>Partie 3</b> : Appliquer la GIFS (suite)	Module 3.3.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Améliorer l'efficacité et l'utilisation des apports de nutriments</li> </ul>
10h30-11h		Pause	
11h-13h		Module 3.3.3 (suite)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Améliorer l'efficacité et l'utilisation des apports de nutriments (suite)</li> </ul>
13h-14h		Pause	
14h-16h	<b>Partie 4</b> : Plan de retour et évaluation de la formation	Session 4.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de retour</li> </ul>
<b>JOUR 5</b>			
8h30-12h (avec pause de 30 mn)	<b>Partie 4</b> : Plan de retour et évaluation de la formation (suite)	Session 4.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation et clôture de la formation</li> <li>- Evaluation de la formation</li> <li>- Présentation de manuel</li> <li>- Remise des attestations</li> </ul>

## Introduction générale au cours sur la GIFS

Le manuel de formation sur la gestion intégrée de la fertilité des sols a été préparé par le projet ATP, en collaboration avec l'Association Centre Ecologique Albert Schweitzer du Burkina Faso. Il se compose de 18 sessions sur quatre jours et demi.

### Objectifs de la formation

L'objectif global de la formation est de permettre aux participants de se familiariser aux bases et principes de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) et d'être aptes à sa mise en œuvre sur le terrain. Le manuel est un outil pour les participants et leur permet de devenir aussi formateurs dans le domaine de la GIFS. Le manuel est conçu pour être utilisé sur tous les types de cultures dans différentes conditions agroécologiques.

L'objectif de la formation n'est pas de donner des informations scientifiques détaillées, mais de permettre aux participants de comprendre les fondements et les processus afin qu'ils soient capables de les expliquer et transmettre les connaissances aux autres.

L'objectif de la formation est aussi de permettre les échanges entre les participants pendant la formation. Ainsi, des échanges d'expériences ont lieu et permettent aux participants de se convaincre plus facilement entre eux que parfois par le formateur du fait de leurs propres expériences vécues.

### Groupes cibles

Les principaux groupes cibles de cette formation sont les vulgarisateurs agricoles et animateurs de développement généralement chargés d'accompagner les producteurs sur le terrain ainsi que tous ceux qui sont impliqués dans la gestion et l'utilisation intrant agricoles. La formation peut également être facilement assimilée par des producteurs alphabétisés.

### Durée de la formation

La durée de la formation est en principe pour 4 jours et demi. La formation peut être organisée en une seule fois ou être divisée en plusieurs sessions si en fonction des occupations des participants les quatre jours et demi paraissent longs. Cependant, il faut garder en mémoire qu'un espacement très long des sessions peut être un handicap car les participants risquent d'oublier ce qu'ils ont appris pendant les sessions précédentes.

### Lieu de la formation

Le lieu de formation doit être choisi de manière à permettre la combinaison facile avec des visites sur des thèmes liés à la formation (compostage, mesures antiérosives, etc.) sans perdre trop de temps. Le lieu de la formation doit aussi permettre aux participants de rester dans de bonnes conditions en termes de concentration et d'opportunités de faire des exercices pratiques. Quand la formation est organisée en une seule fois, et que les conditions de prises en charges des participants sont facilitées, il est plus intéressant quand les participants restent ensemble dans un seul endroit. Le lieu de la formation ainsi que l'accessibilité doivent être donnés aux participants.

## Informations sur les conditions pratiques

Le thème et les dates de la formation ainsi que les principaux objectifs de la formation doivent être portés à l'avance à la connaissance des participants pendant les invitations à la formation. Aussi, il est important de fournir aux participants les conditions de participation. Cela peut s'agir par exemple de la contribution financière de chaque participant ou si les participants sont totalement pris en charge par la formation.

## Utilisation du guide du formateur et du support de cours

Le formateur doit lire attentivement le support du cours ainsi que les procédures bien avant le début de la formation. Le manuel contient les informations nécessaires sur les thèmes de formation. Les procédures constituent des guides pour faciliter le cours. Les procédures restant des guides, elles peuvent être adaptées en fonction des situations.

Le support du cours donne les informations de base ainsi que les principes de la gestion intégrée de la fertilité des sols. Cependant, tous les aspects peuvent ne pas être développés de façon détaillés. Il appartient au formateur de s'assurer que les informations nécessaires sont prises en compte pour chaque session.

Le formateur doit noter qu'un thème de formation peut seulement être introduit dans une première session pour être développé dans une autre session plus tard. Il est donc important de ne pas trop s'attarder dans ce cas sur les détails dans la première session. Le manuel de formation doit être donné aux participants seulement à la fin de la formation avec leurs attestations de formation.

## Méthodes pédagogiques

La méthode pédagogique inclue des cours en salle, des travaux de groupes, des visites de terrain. Les visites de terrain seront préalablement préparées en termes de lieu, de moyen de transport et de contacts nécessaires à prendre.

La méthode de formation est participative et le formateur ne joue en fait qu'un rôle de facilitateur pour créer les conditions favorables et de confiance dans l'apprentissage. Bien attendu, pour faire cette facilitation, le formateur doit avoir les compétences techniques requises ainsi que l'expérience dans la conduite de sessions de formation participatives.

Deux formateurs sont utiles pour conduire la formation. Les formateurs s'organisent pour se répartir les tâches afin de garder la cohérence et l'harmonie de la session de formation. Par exemple, un des formateurs peut être responsable pour les questions de travaux pratiques, sur les aspects liés aux évaluations ou des exercices pratiques pendant la session de formation ou intervenir sur certains aspects en fonction des compétences de chacun.

Il est également important que les formateurs s'organisent et arrêtent ensemble les différentes procédures pratiques comme par exemple la manière de diviser les participants en groupes, la manière de conduire les exercices, la gestion du temps afin d'éviter les contradictions entre facilitateurs pendant la session de formation.

La disposition des participants en U ou en demi-cercle est recommandée pour permettre des échanges fluides entre les participants. La salle doit être suffisamment large par rapport au nombre de participants. Pour les travaux de groupes, il peut parfois être utile d'avoir des salles additionnelles ou de l'espace aéré et ombragé (hangar, grand arbre, etc.) pour diviser les groupes afin d'éviter les perturbations.

## **Préparation technique de la formation**

Toute formation se prépare même si le formateur l'a déjà réalisée plusieurs fois. Les participants vont se rendre compte vite si le formateur a préparé son sujet ou pas. Une formation non préparée a déjà échoué. Il importe donc au formateur en fonction des tâches qui lui sont dévolues de bien se préparer pour éviter les hésitations pendant le cours.

La préparation de la formation inclut également la préparation, la multiplication du support de cours avant le début de la formation.

Les objectifs de chaque session doivent être préparés à l'avance sur le Flip chart. Aussi, il est important de préparer les principaux points à retenir pendant le déroulement de chaque session sur le Flip chart.

## **Outils de démonstration**

Pour certaines sessions, il est utile d'avoir des supports physiques visuels qui font l'objet de la formation. Cela peut s'agir par exemple de quelques types d'engrais, d'échantillons de sol. Quand ces éléments ne peuvent pas être transportés en salle, ils peuvent être pris en compte pendant les visites de terrain. Les formateurs doivent s'assurer que tous les outils nécessaires sont disponibles avant le début de la formation. Une liste de référence des outils nécessaires a été établie dans le présent manuel.

## Liste de référence pour le matériel pédagogique requis

1. Manuel du formateur
2. Support de cours sur la GIFS
3. Flip charts
4. Markers et stylo
5. Colle liquide
6. Colle papier
7. Cartons (chemises découpées)
8. Block notes
9. Sélection de quelques types d'engrais minéraux
10. Sacs vides d'engrais minéraux industriels avec différentes formules
11. Echantillons d'engrais minéraux
12. Amendements organiques (tiges, compost)
13. Echantillon de phosphate naturel
14. Echantillons de sol (différentes couches)
15. Echantillons de roches
16. Ordinateur portable (selon le cas)
17. Vidéoprojecteur (selon le lieu)
18. Ecran (selon les cas)
19. Rame de papier
20. Papier conférence
21. Papier Kraft

## Partie 1 : Introduction et pré-évaluation de la formation

Pour établir un climat de confiance et dissiper les crispations, souhaiter la bienvenue aux participants à cette première session de la formation sur la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS). Procéder ensuite à la présentation des participants.

### Session 1.1 Présentation des participants

20 mn

Chaque participant donne à voix haute son nom, son prénom, sa fonction dans son organisation, son lieu de provenance. Chaque participant choisit le nom le plus approprié et court (cela peut être simplement le prénom ou le nom ou un autre nom choisi) qu'il souhaiterait être appelé pendant la formation.

Chaque participant aide d'une feuille blanche A4 écrit son nom, son prénom et le nom de son organisation et la pose devant lui. Le formateur aide les participants comment plier la feuille. La feuille peut être davantage fixée par de la colle papier.

Ensuite, il est aussi important que les formateurs puissent également se présenter aux participants. Il est conseillé aux formateurs dans leur présentation de relever leurs compétences et expériences sur le thème de la formation, pas dans l'objectif de se vanter, mais pour mettre en confiance les participants.

Les formateurs font circuler une liste de présence des participants (Tableau 1).

### Session 1.2 Capitalisation des attentes

45 mn

Après les présentations, chaque participant dit de façon précise ses attentes par rapport à la formation. Le formateur doit aider les participants à mieux exprimer leurs attentes. Il faut éviter de prendre des attentes comme « je suis là pour avoir des connaissances ».

Cet exercice est très important car il permet au formateur de mieux appréhender les besoins réels des participants par rapport au thème de la formation ainsi que leur niveau de connaissance et peut tenir lieu de pré-évaluation de la formation. Il permet aussi de savoir si les participants ont eu au préalable l'information sur le thème de la formation ou s'ils ont des notions sur la gestion intégrée de la fertilité des sols.

Quand les participants n'ont pas été correctement informés, les attentes des participants peuvent aller dans tous les sens sans vraiment s'intéresser directement au thème de la GIFS. Il appartient donc au formateur de recadrer l'objet de la formation pour prendre en compte les attentes qui peuvent être seulement satisfaites pendant la formation. Le recadrage des attentes des participants par rapport au thème de la formation doit se faire de manière sage afin de ne pas frustrer les participants dont les attentes ne cadrent pas avec le thème de la formation. La manière la plus simple c'est de demander la contribution des autres participants pour le recadrage des attentes.

Enfin, vu que la question de la GIFS est un sujet vaste, la capitalisation des attentes permet aux formateurs de s'attarder plus sur les centres d'intérêts des participants exprimés ou de mieux prendre en compte certaines préoccupations qui n'étaient pas suffisamment prises en compte au regard du programme de la formation.

A la fin de cet exercice, le formateur récapitule toutes les attentes des participants, les relie et de façon participative s'accorde avec les participants sur les attentes à retenir. Les attentes qui sont doublons peuvent être écartées. Les nuances importantes dans les attentes peuvent être conservées pour permettre au formateur de mieux percevoir les préoccupations des participants. Par exemple : « savoir comment appliquer les engrais » et « connaître les doses d'engrais ». Le formateur récapitule toutes les attentes sur la fiche récapitulative des attentes en les rangeant dans les différentes thématiques de la formation (Tableau 2).

Cette liste des attentes doit faire l'objet d'évaluation à la fin de la formation.

### **Session 1.3 Contrat social**

10 mn

De manière participative, arrêter les règles à observer pendant le déroulement de la formation. En fonction des conditions et du lieu de la formation ces règles peuvent être ajustées. Il peut s'agir par exemple :

- Être à l'heure au début de chaque session ;
- Éteindre ou de mettre les téléphones portables sous mode silencieux ;
- Éviter si possible les sorties intempestives pendant les sessions de formation ;
- De respecter le temps imparti aux pauses ;
- Etc.

Demander aux participants de choisir un responsable pour la gestion du temps ;

### **Session 1.4 Conditions de travail**

10 mn

Il est important que les modalités et conditions pratiques de la tenue de la session soient données au début de la session. Il s'agit notamment de l'emplacement des différentes salles (salle à manger, salles pour travaux de groupes, emplacement des toilettes, etc.), les précautions à prendre pour ceux qui veulent faire des sorties aux heures libres, etc. Au cas où les conditions de prise en charge des participants n'avaient pas été données pendant les invitations, il est important de fournir ces informations au début de la session.

### **Session 1.5 Présentation du contexte de la formation**

20 mn

Chaque formation se déroule toujours dans un contexte bien précis comme les caractéristiques du pays ou de la ville d'accueil de la formation, de la situation de la production agricole, de la situation pluviométrique ou d'actualité politique dans le domaine de la production agricole, etc. Le formateur dans la préparation du cours identifie le contexte du moment qui cadre bien avec le thème de la formation. Cela permet aux apprenants d'avoir une meilleure vue concrète de la problématique de la gestion des sols et comment la gestion intégrée peut contribuer aux solutions locales et actuelles.

Dans cette présentation du contexte, le formateur précisera également qui sont les initiateurs de la formation et dans quel cadre la formation est organisée.

## Session 1.6 Présentation des objectifs et du programme de la formation

15 mn

La présentation des objectifs de la formation vient confirmer la synthèse des attentes des participants. Il est important de préciser aux participants les éléments suivants : Le formateur devra dire :

- La formation donnera les bases, les concepts et les principes de la GIFS ;
- La formation n'est pas seulement conçue pour des spécialistes.

A la fin de la formation, les participants devront être capables:

- De Comprendre le fonctionnement et l'importance d'un sol ;
- D'expliquer ce que c'est que la GIFS ;
- D'être mieux outillés pour suivre des formations techniques spécifiques de production agricole et de savoir comment la GIFS peut être mise en œuvre sur des cultures spécifiques.
- Comprendre les bases et principes de la GIFS ;
- De conseiller les producteurs sur les méthodes et pratiques à mettre en œuvre pour une GIFS en fonction de leur situation

### Matériel nécessaire

Vidéo projecteur (facultatif)

Ordinateur portable

Rame de papier

Tableau conférence

Papier Kraft

Flip charts

Colle papier



## Partie 2 : Notions de base sur la GIFS

### Session 2.1 : Connaissance du sol et de son origine (Procédures)

1 heure

- **Objectifs de la session**

- Amener les participants à bien connaître le sol, sa nature, ses constituants et son organisation.

- **Résultats attendus de cette section**

- A la fin de cette session, les participants devraient pouvoir se familiariser au sol.

- **Points à relever dans cette partie**

Le formateur dans l'animation de cette partie aide les participants à :

- Circonscrire ce qu'on entend par sol et comment il est organisé;
- Savoir quel est le matériel qui donne naissance aux sols et son influence sur la qualité du sol.

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette partie, le brainstorming est plus approprié. Il faut permettre aux participants de répondre aux questions suivantes :

- Selon vous qu'est-ce qu'on appelle sol et quel peut être son épaisseur ?
- Selon vous quelle est l'origine du sol ?

Sur l'origine du sol plusieurs réponses comme « c'est Dieu qui a créé le sol » sont courantes. Il appartient au formateur de ne pas rejeter ces types de réponses. Le formateur doit par des exemples comme : oui, ce que vous avez dit est vrai, mais si on prend le manguier, même si c'est Dieu qui a créé le manguier, nous savons que la mangue vient du manguier. De la même manière, nous sommes intéressés à connaître le parent du sol.

Sur les horizons, le formateur peut dire par exemple : Quand on creuse un trou dans un sol (profil), on remarque qu'au fur et à mesure qu'on avance, le sol change de couleur, de texture ou de la nature de ses mottes se sont donc des couches différentes.

L'ensemble des réponses recueillies est répertorié sur le Flip chart ou sur le papier Kraft préalablement collés au tableau ou sur le mûr. Un résumé et une synthèse participative sont ensuite réalisés par le formateur. Le formateur explique le support du cours en prenant en compte les notes additionnelles et procède ensuite à sa distribution.

### **Notes complémentaires pour le formateur**

En Hébreu, le mot « sol » se dit « Adâmah » ; or là est l'origine d'un autre mot : « Adam » le premier homme. Ainsi, déjà dans les écritures saintes est exprimée la continuité entre l'homme et le sol. De même au Japon, il existe des temples shintoïstes dédiés au sol. Le signe japonais « sol » symbolise la plante enracinée. Cette vénération du sol témoigne encore de la conscience de l'importance de son mystère : le sol est donc la racine même de l'humanité.

- **Matériel nécessaire et support visuel**
  - Tableau conférence ou tableau noir
  - Markers
  - Flip charts
  - Colle papier
  - Papier Kraft
  - Echantillons de différents horizons de sol.

## Session 2.1 : Connaissance du sol et de son origine (Support de cours)

- **Qu'est-ce que le sol ?**

La pédologie est la science qui étudie les sols. Le terme pédologie dérive du mot du grec « Pedon » qui veut dire sol au sens de support, base ; le mot sol venant lui-même du latin « solum » qui veut dire sol avec cette même signification de support ; surface, base, fond.

Le sol est cette couche de « terre » en général meuble et peu épaisse (quelques centimètres à plusieurs mètres) qui recouvre presque en continu une grande partie des continents. On dit que le sol est l'épiderme de la terre émergée. On marche sur sa surface, les plantes y s'enracinent et s'en nourrissent et de nombreux animaux y vivent.

Les progrès récents enregistrés dans cette discipline permettent aujourd'hui de faire découvrir et connaître le sol, de savoir comment vivent les sols et comment ces sols pourraient à la fois mieux utilisés et mieux conservés. Le sol est une ressource renouvelable, mais dont le renouvellement dépend des conditions de son utilisation.

- **Quel est l'origine du sol ?**

Le sol est le milieu structuré et organisé de cette transition entre le monde inanimé et le monde vivant. Le sol se fait à partir de la roche (couramment appelé roche mère). Il est le produit de la transformation de la roche, sous les effets combinés de l'eau, de l'air, des températures et de la vie (végétale, animale, humaine).

En termes plus scientifiques on dit que le sol est la partie supérieure de la lithosphère transformée par la présence et les actions conjuguées de l'hydrosphère de l'atmosphère et de la biosphère. Les sols sont différents selon les roches, les climats, les végétations, les reliefs, les sociétés qui y vivent.

- **Quelles sont les caractéristiques du sol ?**

Le sol a quatre principales catégories d'éléments qu'il contient. Ce sont les éléments minéraux, l'eau, l'air et la matière organique qui sont des caractéristiques importantes du sol.

- **Les éléments minéraux**

Les éléments minéraux constituent environ la moitié du volume du sol même si en apparence ils semblent constituer le volume total du sol. La portion minérale du sol peut différer d'un endroit à un autre par sa composition chimique et ses caractéristiques chimiques. Ces différents minéraux existent en différentes tailles. Des plus gros aux plus petits on distingue les sables, les limons et l'argile. La composition en sable, limon et argile est appelée la **texture** du sol. La composition en ces éléments minéraux et la manière dont ils s'assemblent (**structure du sol**) établissent les propriétés physiques du sol qui influencent et sont influencés par les formes de vie présentes.

## - **L'eau**

L'eau occupe généralement le quart du volume du sol quoique sa quantité à un moment précis peut varier grandement dans le temps et d'un endroit en un autre. Avec très peu d'eau, le sol se dessèche et est soumis à la dessiccation ; avec beaucoup d'eau, le sol devient saturé.

## - **L'air**

L'air dans un sol avec une bonne agrégation (formation de mottes) occupe un autre quart du volume du sol et contient de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote et du carbone en plusieurs formes gazeuses. Plus le sol contient beaucoup de pores, plus sa capacité de rétention de l'eau et de l'air est bénéfique aux plantes à la faune et à la flore qui vivent dans le sol. La quantité d'air et d'eau est inversement proportionnelle à la quantité de porosité du sol c'est-à-dire les vides du sol.

## - **La matière organique**

La matière organique constitue généralement une petite proportion du volume du sol habituellement comprise entre 1 et 6 % quoique pouvant être plus élevée. Cette quatrième composante du sol comprend :

- La matière organique non vivante : elle provient de la croissance, de la reproduction, de la mort et de la décomposition des plantes, des animaux, des microbes et existe dans le sol sous forme d'humus ou ses produits intermédiaires ;
- Une grande variété de faune et de flore vivante reconnue sous le nom de vie du sol.
- Les racines des plantes ;

La faune, la flore et les racines des plantes activement permettent au sol d'être habitable pour la croissance des plantes et des autres espèces.

Le sol est également caractérisé par la nature de ses horizons (couches) et du type de leur superposition qui influencent fortement le fonctionnement du sol et de sa fertilité.

### • **Comment le sol est organisé**

Les horizons (couches) types d'un sol de bas en haut sont :

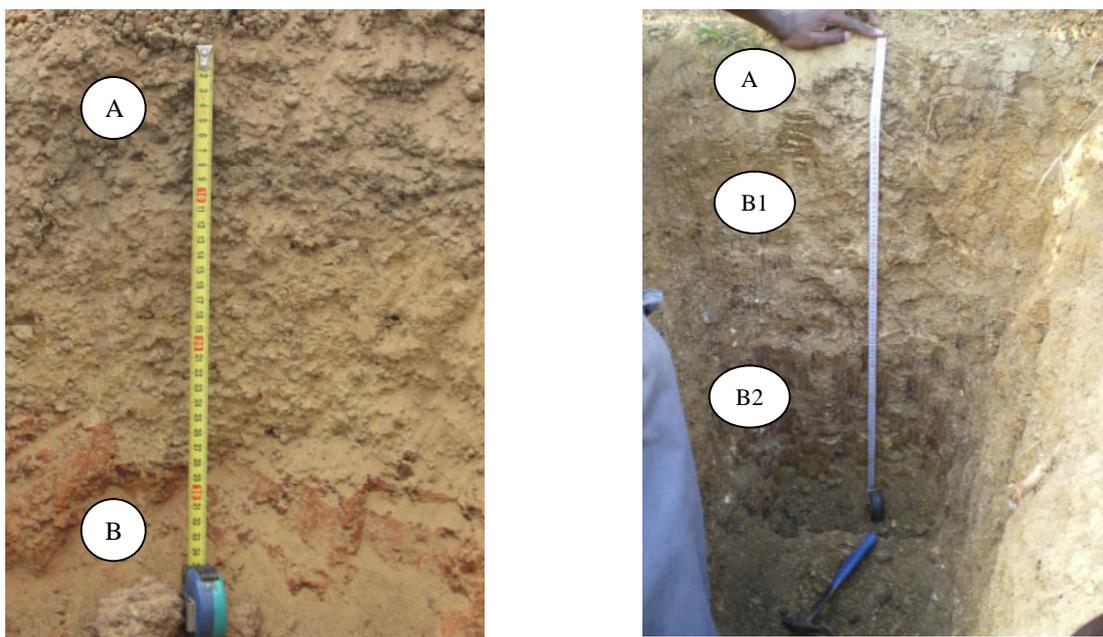
A la base du sol se trouve la roche ou le matériel parental qui est le type de formation géologique qui a donné naissance au sol. Cette couche n'est pas très utile pour les plantes. Quand elle est plus ou moins superficielle, elle peut constituer un obstacle pour la pénétration des racines.

Au dessous de la roche est l'horizon C d'altération qui s'est développé directement sur les transformations de la roche mère. Cet horizon C demeure le moins altéré ou qui a connu le moins de changement comparé à tous les autres horizons car possédant encore beaucoup de traits de la roche mère. Cet horizon accumule le calcium, le magnésium, etc. des horizons supérieurs. Quand le niveau d'altération de cet horizon est avancé, il peut être chimiquement intéressant pour les plantes en terme de disponibilité de nourriture. Quand elle est encore dure, et superficielle elle peut également constituer un obstacle pour la pénétration des racines et la circulation de l'eau.

Au dessus de l'horizon C se trouvent l'horizon sub-superficiel appelé horizon B. Cet horizon se compose des minéraux dérivés de la roche mère et des matériaux qui proviennent du lessivage des horizons supérieurs y incluent des composés humiques provenant de la décomposition de la matière organique. Les horizons B sont des horizons d'accumulation de matières comme les argiles, le fer, l'aluminium et les oxydes (Planche 1). L'utilité des horizons B pour les plantes dépendent de la nature des produits accumulés et de la profondeur de ces horizons. L'accumulation des éléments comme le fer peut constituer un obstacle important à la pénétration des racines (latérite) à la circulation de l'eau et à l'accessibilité aux éléments nutritifs par la plante (Planche 1).

L'horizon A est l'horizon de surface (Planche 1) et est généralement plus riche en matière organique qui lui confère sa couleur plus sombre. Au sein de l'horizon A il y a plusieurs mécanismes de lessivage et des mouvements de matière vers les horizons sous-jacents. L'interface entre l'horizon A et l'horizon B constitue des zones de perte de matière (éluviation) notamment des argiles, du fer, de l'Aluminium et des oxydes pouvant aboutir la création d'un autre horizon, l'horizon E (horizon lessivé, éluvial). L'horizon A est l'horizon organo-minéral siège des intenses activités biologiques et biochimiques. Plus il est épais, plus il est bénéfique pour les plantes.

Un horizon O (organique) dans les zones de forêts peut se constituer au dessus de l'horizon A et est constitué essentiellement de racines de plantes et de litière. La plus grande partie de cet horizon n'est pas décomposé et l'origine des différentes matières organiques sont faciles à distinguer.



**Planche 1 : A gauche :** Sol à horizon B d'accumulation de fer se développant en cuirasse ferrugineuse constituant un obstacle pour les racines. **A droite :** sol profond à horizon B1 d'accumulation d'argile et B2 d'accumulation d'argile et de calcaire (taches blanches).

## Session 2.2 : L'importance du sol et ses fonctions (Procédures)

1 heure

### • Objectifs de la partie

- Relever le rôle vital du sol pour les sociétés humaines ;
- Relever l'importance du sol dans la nature;
- Faire percevoir l'intérêt qu'il faut accorder à une bonne gestion des sols au regard de son importance.

### • Résultats attendus de cette section

A la fin de cette session, les participants devraient :

- Prendre conscience du rôle fondamental que le sol joue pour toutes les actions humaines ;
- Percevoir la dépendance des sociétés humaines vis-à-vis du sol ;
- Aboutir à la conclusion que la connaissance d'une bonne approche de gestion des sols est indispensable.

### • Points à relever dans cette partie

Le formateur dans l'animation de cette partie aide les participants à ressortir les principaux points suivants :

- La dépendance des sociétés humaines vis-à-vis du sol ;
- Les grandes fonctions du sol ;
- Nécessité d'avoir une approche adaptée de la gestion de la fertilité des sols ;

Les participants peuvent relever plusieurs autres points. Il appartient au formateur de pouvoir judicieusement les prendre en compte et enrichir le débat.

### • Procédures d'animation

Pour l'animation de cette partie, le formateur procédera à une série de questions réponses. Il faut permettre aux participants de répondre à aux questions suivantes :

- Selon vous quelle est l'importance du sol pour les hommes ?
- Quelles fonctions le sol joue dans la nature ?
- Quel intérêt faut-il accorder au sol ?

L'ensemble des réponses est répertorié sur le tableau conférence.

Un résumé et une synthèse participative sont ensuite réalisés par le formateur.

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

### • Matériel nécessaire

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft

## Session 2.2 : L'importance du sol et ses fonctions (Support de cours)

### • Importance du sol

Toutes les sociétés humaines utilisent le sol, chacune à sa manière : agriculture, élevage, forêts, minerais (fer, aluminium, argiles, or, etc.), matériaux de construction, fondations et soubassement des maisons, des routes, épandage des déchets agricoles, industriels, urbains, cimetières, etc. Le sol fait partie du quotidien des hommes. Pour les sociétés humaines, le sol est source de vie et la vie s'y termine : par l'intermédiaire des plantes et des animaux, le sol nourrit les hommes ; la santé et leur vie en dépendent.

Il n'y a pas de développement des sociétés humaines sans utilisation des sols. Or tout est question d'équilibre entre les capacités fonctionnelles et de renouvellement des sols et la pression anthropique. A travers le monde, les exemples de sols gravement modifiés, gravement blessés, suite à leur mise en valeur, sont trop nombreux.

La bonne gestion de la fertilité des sols est donc une impérieuse nécessité pour garantir la survie et le développement des milliers d'agriculteurs et des pays en développement dont les économies dépendent de l'exploitation des ressources naturelles et particulièrement des sols.

### • Les fonctions du sol

Les fonctions du sol sont multiples et justifient notre attention. Par rapport à la vie et à la santé, le sol remplit quatre fonctions principales :

#### - La fonction biologique

Le sol abrite, partiellement ou complètement, de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques passent par le sol, incluent le sol qui est donc partie prenante de nombreux écosystèmes.

#### - La fonction alimentaire

Le sol contient certains des éléments nécessaires à la vie (calcium, potassium, etc.) ; il accumule, puis met à la disposition des plantes et des animaux, la majeure partie de ces éléments, y compris l'air, l'eau. Le sol joue, en somme, le rôle de garde manger qui, selon les cas, est plus ou moins grand et plus ou moins rempli ; de même il retient l'eau qu'il rend aux plantes en fonction de leurs besoins. Au total, une grande partie de ce que les plantes mangent, boivent, respirent, vient du sol ; et pas seulement des 10 ou 20 cm supérieurs du sol : les plantes utilisent, directement ou indirectement, la totalité de l'épaisseur du sol, jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. L'homme qui se nourrit des plantes et des animaux, est donc bien totalement dépendant des potentialités des sols.

- **La fonction filtre**

Le sol est un milieu poreux ; l'eau des puits, des sources, des rivières a préalablement traversé le sol ; la porosité du sol en influence l'alimentation. Par ailleurs, le sol est un filtre, un système épurateur ; l'eau, en le traversant, se transforme ; la qualité chimique et biologique des eaux dépend des propriétés des sols.

- **La fonction matériau**

Souvent, le sol sert de matériau de constructions (arènes, cuirasses ferrugineuses, croûtes calcaires, argiles, etc.). Il est à la fois support et matériaux de bâtiments, de routes, de barrages, de canaux, de poteries, etc. Beaucoup de minerais viennent du sol : bauxite (aluminium, fer, or, etc.).

Le sol est donc essentiel aux hommes.

## Session 2.3 : Définition de la fertilité du sol ? (Procédures)

30 mn

- **Objectifs de la partie**

- Amener les participants à comprendre le concept de fertilité d'un sol ;

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient :

- Connaître les paramètres à prendre en compte dans la définition de la fertilité d'un sol

- **Points à relever dans cette partie**

Le formateur dans l'animation de cette partie aide les participants à ressortir les principaux points suivants :

- La capacité à produire d'un sol n'est qu'une appréciation partielle de sa fertilité ;
- Les aptitudes physiques, chimiques et biologiques sont tous importants pour la fertilité du sol.

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette partie, le formateur procédera à une série de questions réponses.

L'ensemble des réponses est répertorié sur le tableau conférence.

Un résumé et une synthèse participative sont ensuite réalisés par le formateur.

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

### Notes complémentaires pour le formateur :

Caractériser la fertilité d'un sol par seulement sa capacité à produire reste donc incomplète. En effet, la capacité de production dépend de plusieurs facteurs comme la technicité du producteur ainsi que des pratiques qui ont été appliquées à ce sol. En plus, la fertilité du sol doit être également prise dans son contexte climatique.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft

## Session 2.3 : Définition de la fertilité du sol ? (Support de cours)

La fertilité du sol est son aptitude fournir des nutriments, de l'eau et de l'oxygène. Ainsi, la fertilité d'un sol peut être subdivisée en fertilité physique, chimique et biologique.

La fertilité physique est l'aptitude d'un sol à assurer aux plantes l'implantation, l'aération (oxygène) et l'humidité. La capacité de rétention d'eau d'un sol dépend de sa texture (composition en sable, limon, argile), de sa teneur en matière organique et de sa porosité.

La fertilité chimique est l'aptitude du sol à alimenter la plante en nutriments sans avoir des conséquences en composés préjudiciables à la croissance des plantes. Les quantités de nutriments qui circulent dans un système sol-plante dépendent de la quantité de chaque élément présent dans le sol.

La fertilité biologique se reflète dans l'abondance, la biodiversité et l'efficacité des organismes du sol dans l'accomplissement des processus biologiques de décomposition, de minéralisation, d'agrégation, de modification des propriétés physiques (bioturbation), d'enrichissement en éléments nutritifs et de suppression des maladies.

## Session 2.4 : La dégradation des sols (Procédures)

1 h 30 mn

- **Objectifs de la session**

- Identifier les facteurs et les causes de dégradation des sols ;
- Connaître les conséquences de la dégradation des sols ;
- Animer la discussion autour des conséquences socio-économiques de la dégradation des sols.

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient :

- Pouvoir faire la part des choses entre les causes et les conséquences paramètres à prendre en compte dans la définition de la fertilité d'un sol ;
- Percevoir les dangers liés à la dégradation des sols.

- **Points à relever dans cette partie**

Le formateur dans l'animation de cette partie aide les participants à ressortir les principaux points suivants :

- L'homme comme principal responsable de la dégradation des sols ;
- Il est plus facile d'agir sur les causes que sur les facteurs environnementaux ;
- L'homme reste l'acteur principal pour la bonne gestion des sols.

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette session, il est important de faire des travaux de groupes autour des questions suivantes :

- Quels sont les facteurs qui affectent la dégradation des sols : bien définir ce qu'on attend par facteurs (voir support de cours)
- Quels sont les causes de la dégradation des sols dans la région considérée ;
- Quels sont les conséquences socio-économiques de la dégradation des sols dans la région considérée.

Chaque groupe procède à la restitution de ses travaux suivi de questions et de discussions avec les autres membres des autres groupes.

Une synthèse participative est ensuite réalisée par le formateur.

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

### Notes complémentaires pour le formateur :

L'analyse des conséquences de la dégradation des sols peut être aussi discutée plus en profondeur avec les participants en abordant les conséquences socio-économiques.

Au niveau socio-économique, les agriculteurs les plus pauvres ne savent pas, ne peuvent pas réagir face à la baisse de productivité d'un sol avec leur dégradation ou face à la nécessité, pour survivre, d'augmenter la productivité. Ces agriculteurs sont, progressivement, éliminés ; partout dans le monde, bien des échecs agricoles, bien des exodes ruraux (vers les villes ou vers d'autres terres) résultent, partiellement, de la dégradation des sols.

Les agriculteurs les plus riches réagissent à coup d'engrais, de pesticides, de tracteurs, etc. le tout étant utilisé n'importe comment, sous la pression des vendeurs d'intrants, des banquiers, etc. Malheureusement, cette baisse de la fertilité avec la dégradation des sols ne pouvant pas être surmontée que par plus d'engrais, plus de pesticides, donc des coûts de production de plus en plus élevés. A cela il faut ajouter la dégradation de l'environnement engendrée par cette agriculture de plus en plus artificielle : pollution chimique des eaux, appauvrissements biologiques des milieux terrestres et aquatiques, etc.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft

## Session 2.4 : La dégradation des sols (Support de cours)

- **Les Facteurs de la dégradation des sols**

Les facteurs et les causes de la dégradation des sols et leurs interactions sont résumés dans la Figure 1.

Trois facteurs jouent un rôle important dans la dégradation des sols.

Les facteurs sont des conditions préétablis qui favorisent la dégradation des sols. Ce sont :

- **Les conditions environnementales**

Les conditions environnementales avec les éléments du climat comme la pluviométrie, la température, les vents, le rythme des saisons mais aussi la nature de la végétation, la position topographique, la pente en place sont des éléments qui favorisent la dégradation des sols. Ces conditions affectent également indirectement la dégradation des sols par leurs effets sur la qualité et la résilience du sol.

- **La qualité intrinsèque du sol**

La qualité intrinsèque d'un sol est liée à la nature de la roche mère qui lui a donné naissance imprimant donc sa texture, sa structure, sa porosité ainsi que sa fertilité chimique et biologique. Cette qualité du sol est un facteur de prédisposition du sol à la dégradation. La qualité du sol est affectée par les conditions environnementales et les différentes modes de gestion.

- **La résilience du sol**

La résilience d'un sol se définit comme sa capacité à se restaurer ou se guérir après avoir subi des dommages suites à des perturbations externes; résultat des interactions des composantes biologiques, physiques, chimiques du sol. La résilience d'un sol lui permet d'équilibrer les processus de dégradation et de restauration qui affectent ce sol. Elle est une adaptation évolutive du sol en réponse à des perturbations. La situation où la perturbation (nature, fréquence, intensité) peut conduire à un état au delà duquel le retour à l'état de départ n'est plus possible dans un intervalle de temps convenable: le seuil d'irréversibilité. La résilience du sol a donc un impact direct sur sa dégradation. Elle est affectée par les modes de gestion et les conditions environnementales.

- **Les causes de la dégradation des sols**

Les causes sont des conditions induites qui entraînent la dégradation des sols. Par ses activités, l'homme transforme le milieu où il vit, dont il vit. Les causes de la dégradation des sols peuvent se résumer en la mauvaise **gestion de la ressource**. Cette mauvaise gestion peut être de nature **technique** comme les mauvaises pratiques agricoles, la déforestation, les systèmes de culture et d'élevage inadaptés, etc. La mauvaise gestion des sols peut être également de nature **socio-économique** comme la faiblesse des capacités institutionnelles, la mauvaise réglementation sur la gestion du foncier, la pauvreté ou le marché qui peuvent influencer profondément la gestion des sols. Enfin, cette mauvaise gestion peut être de nature **politique**. Cela peut englober les situations d'instabilité politique où les

règles de gestion des ressources naturelles ne sont plus respectées mais également concerner les politiques inadaptées de gestion des ressources naturelles et particulièrement des sols.

- **Processus et conséquences de la dégradation des sols**

La conséquence ultime de la dégradation des sols est la perte totale de sa fertilité et de la biodiversité.

Le processus de dégradation des sols peut être de nature physique à savoir :

- La fragilisation des structures ;
- L'encroûtement ;
- Le tassement et le compactage ;
- L'érosion des sols

Le processus de la dégradation des sols peut être de nature chimique. On peut citer :

- L'acidification ;
- La salinisation ;
- La diminution de la capacité de stockage des nutriments (CEC) ;
- Le lessivage et la volatilisation ;
- L'appauvrissement des sols en éléments minéraux.

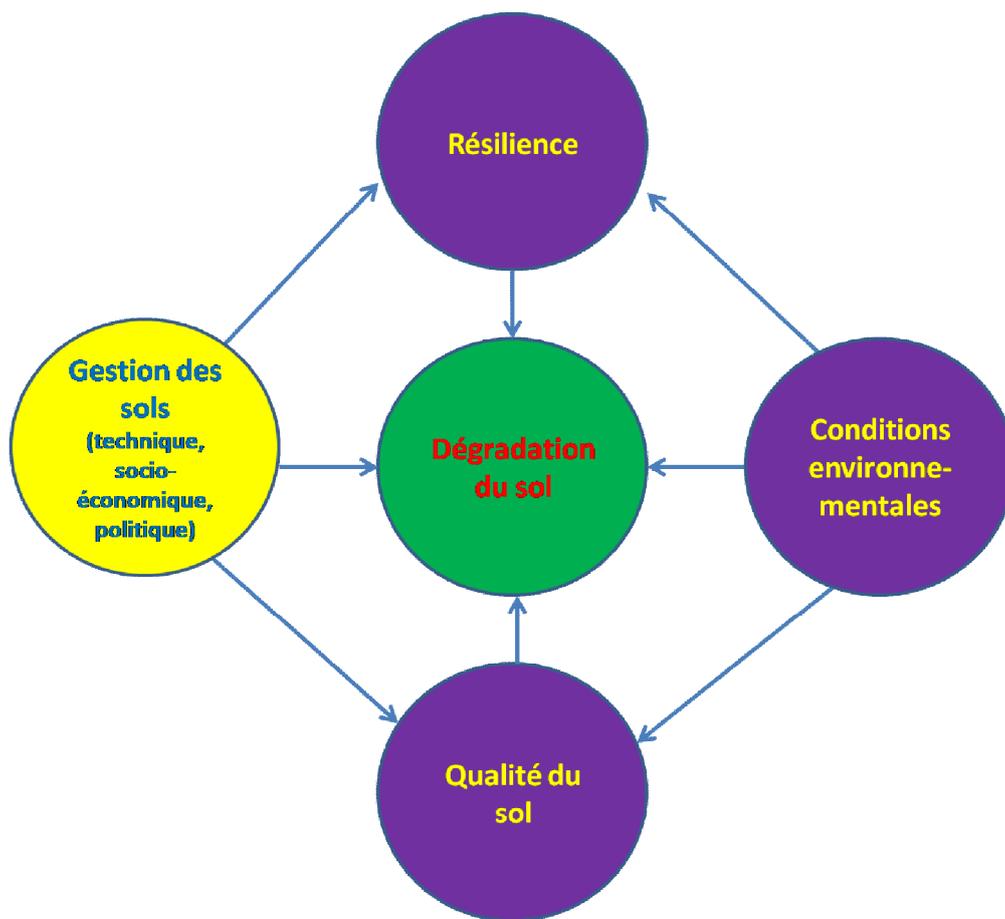
Le processus de la dégradation des sols peut être biologique à savoir :

- La réduction de la biodiversité ;
- La diminution de la matière organique du sol.

- **Conséquences bio-physiques de la dégradation des sols**

Au niveau bio-physique la dégradation des sols :

- Modifie, détruit les structures et les porosités ;
- Perturbe le cheminement des racines ;
- Change les régimes hydriques et modifient le sens des circulations qui deviennent de plus en plus latérales ;
- Accentue les ruissellements superficiels;
- Réduit l'alimentation des puits et des sources;
- Augmente les fréquences des crues brutales des rivières;
- Déclenche des entraînements nouveaux de matière, des appauvrissements de surface et en profondeur ;
- Modifie le sol épurateur en sol pollueur des eaux, des plantes, des animaux, des hommes ;
- Réduise ou annule les capacités du sol à produire c'est-à-dire de jouer sa fonction alimentaire.



**Figure 1** : Facteurs et causes de dégradation des sols et leurs interactions : En jaune = causes, violet = Facteurs, Vert = Conséquences.

## Session 2.5 : Les nutriments des plantes (Procédures)

45 mn

- **Objectifs de la session**

- Aider les participants à connaître les principaux nutriments des plantes et leur rôle;
- Faire percevoir le problème de la limitation des rendements du fait de la carence du sol en certains nutriments

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient :

- Connaître les principaux nutriments des plantes et leur rôle dans la croissance de la plante;
- Percevoir l'impact de la disponibilité des nutriments sur les rendements.

- **Points à relever dans cette partie**

Le formateur dans l'animation de cette partie aide les participants à ressortir les principaux points suivants :

- Les plantes ont aussi besoin de nourriture comme tous les êtres vivants ;
- Une plante bien nourrie produit bien et une plante mal nourrie, carencée produit aussi mal ;
- Les différentes catégories de nutriments doivent être mises en exergue.

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette session l'animateur procède par une série de questions réponses.

L'ensemble des réponses est récapitulé sur le tableau conférence ;

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft

## Session 2.5 : Les nutriments des plantes (Support de cours)

### • Quels sont les nutriments essentiels pour les plantes ?

Les plantes ont besoin d'air, d'eau, de lumière et de nutriments pour leur croissance. On peut assez facilement influencer certains de ces besoins. Cependant, l'agriculteur ne peut agir que sur les quantités de nutriments et parfois d'eau. La nutrition des plantes peut facilement être améliorée en apportant des nutriments nécessaires.

- Les plantes ont besoin de 16 nutriments pour leur croissance. Le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont fournis par l'air et l'eau. Les 13 autres éléments sont apportés par le sol. Ils sont classés en éléments majeurs (macro-éléments) et mineurs (ou oligo-éléments), compte tenu des quantités nécessaires. De plus, certaines plantes exigent des nutriments comme le sodium (Na), le silicium, ou le cobalt.
- Les macro-éléments sont au nombre de six. Leurs teneurs critiques dans la plante sont de 2 à 30 g de matière sèche. On distingue trois éléments majeurs et 3 éléments secondaires. Les éléments majeurs sont nécessaires à presque à toutes les cultures et dans presque tous les sols. Ce sont : N (l'azote), P (phosphore) et K (potassium).
  - L'azote est le constituant fondamental des protéines et de la chlorophylle (pigment donnant leur couleur verte aux plantes). Joue un rôle de premier plan dans la croissance des plantes. L'azote sert aussi de nourriture aux micro-organismes du sol.
  - Le phosphore joue un rôle important dans la croissance des racines, l'implantation des jeunes plants, la floraison, la production et le mûrissement des fruits, la photosynthèse, la respiration et la croissance générale de la plante.
  - Le potassium circule dans toutes les parties de la plante. Il assure le transport des sucres, la turgescence et la rigidité des tiges. Il augmente aussi la résistance générale de la plante (froid, maladies, insectes, etc.). Il contribue également à l'initiation des boutons floraux et à la fructification. Le potassium joue un rôle important dans la production des plantes à racines (tubercules, etc.).
- Les éléments secondaires sont nécessaires pour certaines cultures sur certains sols. Ce sont : S (soufre), Ca (Calcium), Mg (Magnésium).
- Les oligo-éléments au nombre de sept (7) pour lesquels les teneurs critiques dans les plantes sont de 0,3-50 mg de matière sèche. Parmi les sept, cinq sont des métaux et deux sont des non métaux. Les métaux sont : Fe (Fer), Mn (Manganèse), Zn (Zinc), Cu (Cuivre), Mo (Molybdène).
- Les non métaux sont : Cl (Chlore), B (Bore).

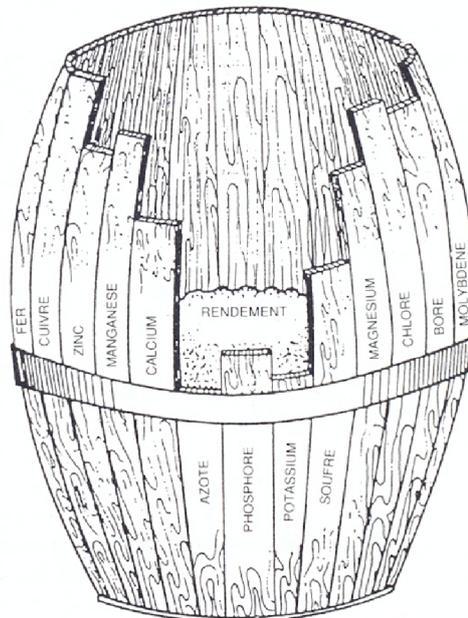
- Quelques autres nutriments minéraux ont un effet bénéfique sur certaines plantes, mais ne sont pas essentiels. Ce sont :
  - Na (sodium) : peut remplacer K pour certaines cultures ;
  - Si (Silicium) : pour renforcer par exemple les tiges de céréales pour qu'elle résiste à la verse ;
  - Co (Cobalt) : surtout pour renforcer la fixation de l'azote par les légumineuses ;
  - Cl (Chlore) : utiles pour certaines cultures en quantités plus grandes que nécessaire, pour la régulation osmotique et une résistance plus grande à certains champignons ;
  - Al (Aluminium) : peut être utile pour certaines plantes comme le théier.

## • Les relations entre les nutriments et les rendements

L'influence des quantités des nutriments essentiels disponibles sur la croissance est illustrée par la loi du minimum de Liebig (Figure 2). Ce modèle de croissance ne s'applique que si les nutriments limitent la croissance, c'est-à-dire lorsque d'autres facteurs comme l'humidité disponible et la conduite de la culture ne la limitent pas.

Les douves représentent les différents nutriments nécessaires aux plantes. Le rendement d'une culture est déterminé par la douve la plus courte qui représente le nutriment le plus limitant. Dans la Figure 4, c'est l'azote. Les plantes n'ont pas besoin des mêmes quantités de tous les nutriments et la longueur des douves indique les éléments qui limitent la croissance des le plus souvent.

Le niveau de rendement ne peut être relevé qu'en augmentant l'apport du nutriment (accroissement de la longueur de la douve). Le rendement peut progresser jusqu'à un autre niveau pour lequel un autre nutriment devient limitant.



**Figure 2 :** Loi du minimum de Liebig. Les rendements des cultures ne peuvent être supérieurs au niveau autorisé par le nutriment le plus limitant.

## Session 2.6 : Qu'est-ce que la GIFS ? (Procédures)

30 mn

- **Objectifs de la session**

- Définir la gestion intégrée de la fertilité des sols ;
- Lever la nuance entre la GIFS et la gestion intégrée des nutriments.

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient être capables :

- De définir la gestion intégrée de la fertilité des sols ;
- De connaître le caractère holistique du concept de la GIFS.
- De comprendre que la GIFS n'est pas simplement une application de techniques mais une approche, un concept.

- **Points à relever dans cette partie**

Le formateur dans l'animation de cette partie aide les participants à ressortir les principaux points suivants :

- La prise en compte de la protection des sols est fondamentale dans la GIFS ;
- Produire durablement sans détruire les sols reste un challenge qui oblige à une intégration des techniques, des méthodes et des approches.

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette session l'animateur procède par le brainstorming.

La synthèse des réponses est récapitulé sur le tableau conférence ;

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

### Notes complémentaires pour le formateur :

Il ne faut pas ramener la GIFS à la gestion intégrée des nutriments. La gestion intégrée de la fertilité des sols est plus large que la gestion intégrée des nutriments car elle reconnaît le besoin d'un environnement physique et chimique approprié pour une croissance optimale des plantes au-delà du besoin d'une provision suffisante et au bon moment des nutriments disponibles.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft
- Support de cours

## Session 2.6 : Qu'est-ce que la GIFS ? (Support de cours)

- La gestion intégrée de la fertilité des sols est une approche qui combine l'utilisation des engrais et des amendements pour améliorer les propriétés physiques et biologiques des sols, reconstituer le stock des éléments nutritifs et accroître les rendements des cultures.
- Elle intègre toutes les pratiques de gestion de la fertilité des sols localement adaptées et appropriables qui optimisent l'efficacité des engrais, des ressources organiques et permettant une utilisation durable des sols.

L'amélioration de la santé des sols est essentielle pour renverser la tendance négative de la production agricole et des revenus agricoles. La gestion de la matière organique et l'utilisation judicieuse des engrais, mais jamais seul, contribue à résoudre les problèmes liés à la fertilité des sols au niveau des producteurs.

## Session 2.7 : Pourquoi la GIFS (Procédures)

45 mn

- **Objectif de la session**

- Démontrer la pertinence de la GIFS

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient être capables:

- Expliquer le bien fondé de la GIFS ;
- De discuter sur la pertinence de la GIFS

- **Points à relever dans cette partie**

- La GIFS est l'aboutissement de plusieurs années de tâtonnements ;
- La GIFS s'adapte aux conditions locales et des capacités économiques des acteurs locaux ;
- Les technologies prises individuellement ont des limites dans la production des biens et services et dans la protection des sols.

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette session l'animateur procède par une série de question réponses.

La synthèse des réponses est récapitulé sur le tableau conférence ;

Le formateur explique le support du cours et prenant en compte les notes complémentaires et procède ensuite à sa distribution.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft
- Support de cours

### **Notes complémentaires pour le formateur : Historique de l'évolution des paradigmes sur la gestion de la fertilité des sols**

Le paradigme qui a caractérisé la gestion de la fertilité des sols a grandement évolué pendant les trente dernières années à cause des expériences vécues par l'ensemble des acteurs au niveau technique, économique, social et politique.

Pendant les années 1960-1970, le paradigme des intrants externes constituait l'actualité. L'utilisation appropriée des intrants externes que ce soit des engrais, de la chaux ou la dolomite ou l'eau d'irrigation était supposée suffisante pour éliminer toutes les contraintes liées à la production agricole. A la suite de ce paradigme et avec l'utilisation des variétés améliorées, la révolution verte a stimulé la production agricole en Asie et en Amérique Latine. L'utilisation des ressources organiques était considérée comme n'étant pas essentielle à la production agricole. Ainsi, certains scientifiques stipulaient que quand la mécanisation agricole était faisable et les engrais disponibles à un coût raisonnable, il n'y avait pas de raison de considérer le maintien de la matière organique du sol comme un but essentiel de gestion de la fertilité des sols. Mais on s'est rendu compte plus tard qu'on s'était trompé.

En effet, la mise en œuvre de la stratégie de la révolution verte par exemple en Afrique Sub-saharienne a donné très peu de résultats satisfaisants. La dégradation des sols qui a suivi les applications massives des engrais et des pesticides en Asie et en Amérique Latine entre les années 1980 et 1990 et la suppression des subventions sur les engrais en Afrique Sub-saharienne imposée par les programmes d'ajustements structurels ont redonné de l'intérêt pour l'utilisation des ressources organiques au début des années 1980. L'équilibre a changé de l'utilisation seulement des intrants minéraux chimiques à l'utilisation de faibles intrants minéraux externes où les ressources organiques étaient supposées permettre une production agricole durable.

Après un certain nombre d'années d'investissement et d'évaluation des potentialités de l'agriculture à faibles intrants externes, des résultats très intéressants ont été obtenus mais la mise à l'échelle c'est-à-dire son application sur de grandes superficies a posé un certain nombre de contraintes comme le manque de ressources organiques suffisantes et des contraintes socio-économiques comme la demande élevée en main d'œuvre pour les technologies à mettre en œuvre.

Dans ce contexte, la révision des approches était nécessaire et les déclarations dans le second paradigme ont fait place à d'autres notamment « La gestion de la fertilité des sols devrait être basée sur les processus biologiques en adaptant les semences aux conditions des sols, en augmentant l'activité biologique des sols et en optimisant le recyclage des éléments nutritifs pour minimiser l'utilisation des intrants externes et maximiser l'efficacité de leur utilisation ».

## Session 2.7 : Pourquoi la gestion intégrée de la fertilité des sols (Support de cours)

Il n'y a pas de doute que l'application des engrais seul peut induire une amélioration significative des rendements des cultures mais avec une faible efficacité qui est trop coûteuse pour des producteurs pauvres et non durable d'un point de vue environnemental.

Ainsi, la gestion optimale des ressources en sol pour la provision des biens et services requiert une gestion optimale des ressources organiques qui agissent comme amendements et sources de nutriments ; des intrants minéraux et de la matière organique du sol. Chacune de ces ressources contribue à la provision de biens et services séparément mais mieux encore, ces ressources interagissent entre elles et génèrent des bénéfices supplémentaires en terme de rendement supplémentaire, d'amélioration de l'état de la fertilité du sol et / ou une réduction des pertes des nutriments dans l'environnement.

La GIFS intègre l'utilisation conjointe des ressources organiques et minérales, les pratiques culturales appropriées et la dimension socio-économique à savoir une adaptation locale des approches en tenant compte des capacités et de l'environnement économique des acteurs en valorisant les bénéfices de chaque composante. Ainsi :

- Les ressources organiques en plus de leur rôle de pourvoyeur de nutriments, amendent les sols c'est-à-dire qu'elles améliorent les qualités du sol créant ainsi les conditions favorables pour le développement des plantes.
- Les engrais minéraux sont des concentrations des éléments nutritifs bien précis des plantes tandis que les ressources organiques comme le fumier, les résidus de récoltes ou le compost contiennent une gamme variée d'éléments nutritifs des plantes y compris les éléments qui même à faible dose sont essentiels pour la croissance des plantes (oligo-éléments) ;
- Dans les conditions d'agriculture familiale ou d'agriculture à petite échelle, les producteurs pauvres n'ont pas les capacités financières pour se procurer suffisamment d'engrais pour leurs exploitations ;
- Dans certaines conditions, l'insuffisance de la matière organique en quantité peut limiter son utilisation au niveau des exploitations agricoles ;
- L'utilisation conjointe des ressources organiques peut entraîner des synergies et permettre une valeur ajoutée au niveau des rendements et une réduction des pertes préjudiciables pour l'environnement. Cela veut dire que les rendements et avantages obtenus en combinant les deux sources de nutriments sont plus élevés que la somme des rendements et avantages des deux intrants appliqués séparément.
- Les technologies sont choisies en fonction de leur adaptabilité locale, des capacités et de l'environnement économique des acteurs.

## Partie 3. Appliquer la GIFS

### Session 3.1 Amender et conserver les sols

#### Module 3.1.1 Les amendements organiques (Procédures)

2 heures

- **Objectif de la session**

- Permettre aux participants de mieux cerner l'importance des amendements organiques ;
- Identifier les avantages et contraintes liés à l'utilisation des amendements organiques.

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient être capables:

- De comprendre le rôle fondamental des amendements organiques dans l'amélioration des conditions physiques et biologiques des sols ;

- **Points à relever dans cette partie**

- Les amendements organiques créent les conditions favorables pour que le sol puisse remplir ses fonctions productives ;
- L'utilisation des amendements organiques est indispensable pour une utilisation durable des sols.

- **Procédures d'animation**

Quand la réalisation d'une visite terrain est possible (en combinaison avec les mesures de conservation des eaux et des sols), le formateur procède à une série de questions réponses, fait la synthèse et distribue les supports de cours.

- En quoi l'utilisation des amendements organiques est-elle nécessaire ?
- Quels sont les avantages et les contraintes liées à l'utilisation des amendements organiques ?

Quand les travaux se déroulent en salle, les travaux de groupes sont indiqués pour approfondir les questions ci-dessus. Chaque groupe restitue les résultats des travaux de groupe suivi des questions des membres des autres groupes.

La synthèse des travaux est récapitulée sur le tableau conférence ;

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft
- Support de cours

## Module 3.1.1 Les amendements organiques (Support de cours)

### • Les types d'amendements organiques

Les amendements organiques se composent des, résidus de récolte ou de défrichage (paille, feuilles, broussaille, etc.), des déjections des animaux (bouses de vaches, fientes de poule, fumier, purin, lisier, etc.), des composts (mélanges de résidus végétaux et animaux fermentés), des engrais verts (cultures de légumineuses ou autres plantes incorporées dans le sol), de sous produits agroalimentaires (mélasses, tourteaux, etc.), de déchets urbains et ménagers (ordures ménagères, les déchets organiques solides urbains, etc.).

### • Les avantages de l'utilisation des amendements

« L'agriculture sans utilisation de matière organique n'est qu'une comédie ». Ce proverbe chinois dépeint bien l'importance qui doit être portée à la matière organique. La matière organique est essentielle à la production agricole et la régulation du fonctionnement de plusieurs mécanismes environnementaux :

- Les amendements organiques une fois incorporés dans le sol constituent les précurseurs de la matière organique du sol, c'est-à-dire de l'humus. Elles viennent donc augmenter le stock de matière organique du sol. Cette matière organique du sol va s'associer aux argiles pour renforcer la structure du sol et constituer le grenier ou le garde manger du sol (complexe absorbant). Ainsi, le sol peut mieux stocker les nutriments évitant ainsi leurs pertes, l'eau et prévenir l'érosion.
- Les amendements organiques sont sources de nutriments pour les plantes : La décomposition de la matière organique après son incorporation dans le sol libère les éléments nutritifs des plantes. A la différence des engrais, les éléments nutritifs contenus dans les fertilisants organiques bien qu'en faible proportion sont très variés et permettent de satisfaire des besoins spécifiques des plantes.
- Les amendements organiques incorporés au sol sont sources d'énergie pour la vie du sol (microbes, animaux du sol) leur permettant d'accomplir les processus biologiques.
- Les amendements organiques permettent la mise à disposition facile de certains nutriments comme le phosphore qui sont facilement piégés par les oxydes de fer et d'aluminium.
- La suppression de la toxicité : La matière organique par des mécanismes physico-chimiques fixe les molécules toxiques évitant donc une large contamination dans les autres compartiments du sol.
- Les amendements organiques sont difficilement remplaçables
- Les amendements organiques peuvent être mobilisés par les producteurs pauvres qui n'ont pas beaucoup de ressources financières.

### • Contraintes liées à l'utilisation des ressources organiques comme amendements

- Parfois ils ne sont pas disponibles en quantité suffisante pour l'agriculteur ;
- La fabrication d'amendements organiques de qualité demande parfois une main d'œuvre importante et de l'eau ;
- Leur volume demande des moyens de transport appropriés.

## Module 3.1.2 : Conserver l'eau et les sols (Procédures)

2 heures

- **Objectif de la session**

- Permettre aux participants de découvrir la contribution des mesures de conservation des eaux et des sols dans la GIFS

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient être capables:

- De connaître l'importance et le rôle des mesures de conservation des eaux et des sols ;
- De connaître les différentes mesures de conservation des eaux et des sols ;
- D'appréhender les impacts positifs des mesures de conservation des eaux et des sols.

- **Points à relever dans cette partie**

- Les mesures de conservation des eaux et des sols contribuent efficacement à la réduction de l'érosion hydrique et éolienne des sols ;
- Les mesures de conservation des eaux et des sols créent les conditions favorables pour la valorisation des nutriments par la plante.

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette session l'animateur procède par une série de questions réponses :

- Quelles sont les mesures de conservations des eaux et des sols que vous connaissez ?
- Quels sont les avantages des mesures de conservation des eaux et des sols ;
- Quelles sont les contraintes des mesures de conservation des eaux et des sols.

La synthèse des réponses est récapitulé sur le tableau conférence ;

En général une visite terrain est indispensable pour mieux visualiser les mesures de conservation des eaux et des sols. Cette sortie peut se combiner avec le compostage sur l'utilisation des ressources organiques (module 3.1.1).

Le formateur explique le support du cours en reprenant les différentes mesures de conservation des eaux et des sols et leurs avantages et contraintes. Ensuite il procède ensuite à sa distribution.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft
- Support de cours
- Photos pour illustrations des mesures de conservation des eaux et des sols.

## Module 3.1.2 : Conserver l'eau et les sols (Support de cours)

### • Importance des mesures de conservation des eaux et des sols

Il est établi que le sol perdu avec l'érosion est environ dix fois supérieur au processus naturel de formation des sols et que la vitesse de la déforestation est 30 fois plus élevée que la planification de reforestation. Les mesures de conservation des eaux et des sols ont pour rôle de réduire la dégradation des sols et de réhabiliter les terres dégradées.

L'objectif visé est d'augmenter l'infiltration de l'eau dans la parcelle et la réduction de l'érosion hydrique et éolienne des sols. Par leur action, ces mesures permettent aux sols de stocker l'eau et de permettre aux plantes de résister aux poches de sécheresse et de mieux valoriser les nutriments.

### • Processus de conservation des eaux et des sols

L'érosion hydrique et éolienne des sols est le stade ultime d'une structure du sol fragilisée qui est facilement emportée par l'eau ou le vent. Le ruissellement intervient quand les quantités d'eau qui tombent dépassent les capacités d'absorption du sol. Dans un sol à structure fragilisée, et exposé aux intempéries, l'éclatement des agrégats du sol par l'énergie cinétique des gouttes d'eau de pluie est le préalable à l'érosion hydrique. Partant des mécanismes de formation de ruissellement, on déduit alors deux manières par lesquelles le ruissellement peut être amoindri :

- En augmentant la capacité de stockage en eau de la surface du sol par l'accroissement de sa rugosité ;
- En augmentant les capacités d'infiltration de l'eau dans le sol ce qui revient à l'amélioration entre autres de la structure du sol.

### • Les différentes mesures de conservation des eaux et des sols

Plusieurs mesures du type mécanique ou biologique permettent de contribuer efficacement à la conservation des eaux et des sols. Il s'agit notamment :

- De l'installation de plante de couverture ou une bonne gestion de résidus de récoltes (paillage ou mulching) peuvent permettre une réduction des ruissellements ;
- Des mesures physiques/mécaniques peuvent être aussi utilisées pour réduire les ruissellements. Il s'agit notamment de l'installation de barrières de natures diverses le long de courbes de niveau pour créer des obstacles aux ruissellements et donner plus de temps à l'eau de s'infiltrer. On peut citer les diguettes en terre, les cordons pierreux, bandes enherbées, digues filtrantes, etc. (Planche 2);
- Les différentes formes de travail du sol (scarifiage, labour, sous-solage, Zai, les demi-lunes, etc.) ont été évaluées et trouvées efficaces pour augmenter l'infiltration et la détention superficielle de l'eau et donc pour réduire les pertes d'eau par ruissellement ;

### • Impact des mesures de conservation des eaux et des sols

L'application des mesures de conservation des eaux et des sols et leurs impacts sur la réduction des pertes en sol et en nutriments ont fait l'objet de plusieurs investigations. La faiblesse de la fertilité intrinsèque du sol combinée avec l'encroûtement et les pluies agressives fait que plus de 40 % des sols dans la zone Sahélienne d'Afrique sont très sensibles au ruissellement avec la perte de un à huit tonnes

de sol perdu par an et par hectare. Les mesures de conservation des eaux et des sols permettent de réduire le ruissellement de 70 % et les pertes en sol de 80 %. Les pertes en nutriments et en matière organique sont considérablement réduites avec une amélioration du stockage de l'eau du sol. Au niveau de la production céréalière, les mesures de conservation des eaux et des sols permettent d'accroître les rendements en année pluviométrique déficitaire de 100 à 300 %.

La combinaison de l'utilisation combinée de la matière organique (compost) de l'engrais avec les mesures de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées) est essentielle à une meilleure valorisation de l'eau et des nutriments par les plantes.

La contrainte principale de la mise en œuvre des mesures de conservations des eaux et des sols sont surtout la main d'œuvre et très souvent les coûts de transport pour la mobilisation des matériaux pour la construction des barrières physiques.



**Planche 2 :** En haut à gauche : digue filtrante ; En bas à gauche : cordons pierreux ; En haut à droite : bande enherbée à *Andropogon gayanus* ; En bas à droite : application du Zaï dans la production du mil.

## Session 3.2 : Promouvoir les processus biologiques des sols

### Module 3.2.1 Les apports et la valorisation des nutriments par les microorganismes (Procédures)

1 heure

- **Objectif de la session**

- Permettre aux participants de découvrir la contribution des processus biologiques du sol aux apports et à la valorisation des nutriments

- **Résultats attendu de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient :

- Découvrir les mécanismes le processus de la fixation biologique symbiotique de l'azote ;
- Connaître l'importance des champignons mycorhizes;

- **Points à relever dans cette partie**

- La contribution importante de la fixation de l'azote par les légumineuses ;
- La nécessité d'un bon choix des espèces légumineuses pour avoir des résultats substantiels ;
- La contribution des légumineuses est importante quand le sol n'est pas carencé en phosphore.
- La facilitation de la nutrition des plantes par les champignons mycorhizes ;

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette session l'animateur procède par une série de questions réponses :

- Quels rôles jouent les organismes vivants dans le sol ?
- Citer des espèces de légumineuses fixatrices d'azote que vous connaissez ?
- Comment augmenter et valoriser la contribution des légumineuses fixatrices d'azote ?

La synthèse des réponses est récapitulé sur le tableau conférence ;

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

### **Notes complémentaires pour le formateur**

Il s'avère donc que parmi les herbacées légumineuses les plus performantes en matière de fixation de l'azote atmosphérique sont surtout les légumineuses du genre *Mucuna*, *Cajanus cajan*, du haricot (*Vigna unguiculata*) et dans une moindre mesure en fonction des variétés, le soja (*Glycine max*).

Le choix des espèces légumineuses devraient aussi prendre en compte leur utilité alimentaire ou dans l'élevage (fourrage) dans le but de motiver l'adoption par les producteurs.

La contribution des légumineuses est optimale avec les apports de phosphore. Les légumineuses plantées sur des sols carencés en phosphore fixent moins l'azote.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft
- Support de cours

## Module 3.2.1 Apports et valorisation des nutriments par les microorganismes (Support de cours)

### • Composition et fonction de la vie du sol

Les organismes du sol (faune et flore) jouent un rôle très déterminant dans le développement et le maintien des caractères physiques et chimiques des sols.

Les organismes du sol sont responsables de plusieurs processus biologiques qui incluent:

- La décomposition de la matière organique ;
- L'apport et le recyclage des nutriments ;
- La bioturbation ;
- La suppression des maladies du sol.

Les services fournis par les organismes du sol peuvent être utilisés pour résoudre des problèmes qui se posent à l'environnement, sécuriser la production agricole et réduire l'extension de la dégradation des sols.

Suivant leur taille les organismes du sol sont classés en:

- Microflore (exemple: champignons)
- Microfaune (exemple: bactéries)
- Mesofaune (exemple: collembole)
- Macrofaune (exemple: vers de terre, termites)

Suivant les fonctions, trois groupes peuvent être distingués:

- La population racinaire (organismes du sol affectant positivement ou négativement la croissance des plantes au niveau des racines: mycorhize, bactéries symbiotiques, nématode) ;
- Les décomposeurs: comprend la microflore, la micro/mesofaune régulant plusieurs activités des micro-organismes et des prédateurs de ces micro-organismes. Ce groupe regroupe également certains meso/macrofaune qui broient et incorporent la litière dans le sol sans une réelle modification physique du sol ;
- Les ingénieurs de l'écosystème: comprend la meso et la macro-faune qui créent des habitats pour les autres organismes en travaillant le sol. Les vers de terre, les termites les fourmis sont considérés comme les ingénieurs de l'écosystème les plus importants à cause de la grande influence de leurs activités sur les autres espèces ;

### • La contribution des légumineuses

Certains arbres, arbustes, herbacées ont la capacité de fixer l'azote de l'air et de le rendre disponible aux cultures par une association gagnante-gagnante avec des microbes spéciaux du sol notamment des bactéries. Cette association se remarque physiquement par la présence de nodosités sur les racines de ces plantes : la plante offre ses racines comme habitat, et les microbes fixent l'azote de l'air (de la nourriture) pour la plante. Les plantes qui ont ce pouvoir sont appelées des **légumineuses** fixatrices d'azote. Les données montrent qu'il est possible à travers les plantes légumineuses de contribuer à hauteur de 15 à 200 kg d'azote à l'hectare dans les systèmes de production agricole.

Les légumineuses herbacées utilisées comme plantes de couverture fixe suffisamment d'azote à travers la fixation symbiotique pour satisfaire les besoins d'une production de maïs. En Afrique, les principales espèces de légumineuses efficaces sont du genre *Mucuna*, *Crotalaria*, *Pueraria*, *Dolichos* et *Desmodium*.

L'utilisation du *Mucuna* dans les jachères de courtes durée en culture intercalaire avec le maïs ou planté pendant la saison sèche connaît une adoption rapide. Le *Mucuna* fixe l'azote et en tant que plante de couverture inhibe les mauvaises herbes envahissantes. Cependant, les jachères courtes de légumineuses herbacées fixent moins d'azote que les jachères de légumineuses ligneuses.

Les jachères améliorées de ligneux et d'herbacées légumineuses sont donc d'excellentes options pour une bonne gestion de la fixation biologique de l'azote. Cependant la fixation potentielle de l'azote par les légumineuses n'est assurée que quand les besoins en phosphore du sol sont satisfaits et que les producteurs acceptent de mettre leur terre pour des rotations céréales-jachères.

Une attention doit être portée sur les aspects suivants :

- Les légumineuses à grain comme le soja et l'arachide peuvent fixer en effet l'azote avec des quantités considérables si les conditions sont favorables, mais la majorité de cet azote est récoltée avec les grains et avec les résidus. Les fanes d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) peuvent contenir plus de 160 kg d'azote à l'hectare et sont riches en azote car la plante est récoltée quand elle est encore verte. Malgré tout, il faut que les résidus puissent être incorporés au sol pour que la contribution en azote soit substantielle.
- Les légumineuses comme le pois d'angole (*Cajanus cajan* (L.)) et certaines variétés de haricot (*Vigna unguiculata* (L.)) qui peuvent perdre des quantités substantielles de biomasse sous forme de racines ou de feuilles qui tombent avant la récolte sont très performantes dans la restitution de l'azote fixé. En culture pure, le pois d'angole peut contribuer pour plus de 40 kg d'azote à l'hectare sous forme de feuilles tombées avec un effet substantiel sur la culture de rotation.
- En culture mixte ou intercalaire entre légumineuses et céréales, le transfert de l'azote fixé par la légumineuse est plus importante pour la culture de rotation que directement sur la culture associée ou intercalaire.

### • La contribution des champignons mycorhize

D'autres organismes comme les champignons du sol ont la capacité de contribuer à l'approvisionnement en certains nutriments comme le phosphore en prolongeant grâce à leurs filaments les racines des plantes et en favorisant l'absorption des nutriments. Le rôle de ces organismes est très déterminant pour la croissance et les rendements de plusieurs cultures.

En outre, ces organismes jouent un rôle capital dans la structure du sol par leur participation à la formation d'agrégats stables du sol. Cependant, leur rôle peut être annulé par la mise en œuvre des mauvaises pratiques qui déstructurent le sol ou l'application de produits de synthèse qui modifient l'environnement chimique du sol.

## Module 3.2.2 La contribution de la macrofaune du sol (Procédures)

1 heure

- **Objectif de la session**

- Permettre aux participants de découvrir la contribution de la macrofaune à l'entretien de la fertilité des sols

- **Résultat attendu de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient être capables:

- De comprendre que les termites, les vers de terre, les fourmis, etc. sont utiles à l'entretien et au maintien de la fertilité des sols ;

- **Points à relever dans cette partie**

- L'importance de la macrofaune dans l'amélioration des propriétés physiques du sol ;
- Le rôle de la macrofaune dans le recyclage des nutriments ;
- La contribution de la macrofaune dans la réhabilitation des terres dégradées.

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette session l'animateur procède par une série de question réponses.

La synthèse des réponses est récapitulé sur le tableau conférence ;

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft
- Support de cours

## Module 3.2.2 La contribution de la macrofaune du sol (Support de cours)

- **Importance de la macrofaune du sol**

Un certain nombre d'organismes du sol particulièrement les vers de terre, les termites, les coléoptères, les fourmis, etc. appelés sous le nom de macrofaune constituent une part importante de la chaîne alimentaire et joue un rôle crucial comme « ingénieur des écosystèmes ». Pour avoir un sol productif, il est important d'avoir un sol avec des propriétés physiques favorables à la pénétration des racines et qui améliorent l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Les processus de décomposition de la matière organique sont des éléments importants du fonctionnement des sols. La macrofaune du sol constitue un maillon clé de ce système.

- **Rôle dans l'amélioration des propriétés physiques**

Au niveau de l'amélioration des propriétés physiques, les termites et les vers de terre jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la porosité des sols à travers les galeries qu'ils creusent dans les sols et la décomposition de la litière. Par les déjections des turricules, les vers de terre participent également à la formation d'agrégats stable participant au renforcement de la structure du sol.

- **Rôle dans le recyclage des nutriments**

Sous climat sub-humide, les vers de terre peuvent rejeter entre 250 à 1250 tonnes par hectare de turricules par an et de 30-70 tonnes par an en climat semi-aride participant également à la minéralisation et à la mise à disposition des nutriments des plantes. Le taux de nutriments dans les turricules de vers de terre est parfois plus de cinq fois plus important que les nutriments du sol environnant. La remontée de la terre par leurs turricules des couches profondes du sol réduit les pertes et participent au recyclage des nutriments. Les termites sont responsables de la décomposition des matériaux organiques les plus coriaces et très lignifiés. Des expériences ont montré que sans l'intervention des termites, il est parfois impossible aux microorganismes décomposer les pailles à l'intervalle d'une session de culture.

- **Rôle dans la réhabilitation des terres dégradées**

L'une des contributions les plus spectaculaires est la contribution de la macrofaune du sol et notamment des termites à la réhabilitation des terres encroûtées dégradées en combinaison avec le paillage. Sur ces sols encroûtés, dégradés et dénudés, le ruissellement de l'eau peut atteindre 99%. Les termites sont attirés par la paille et dans leur action de décomposition de la paille, ils détruisent la croûte en créant de nombreux pores qui permettent l'infiltration de l'eau et la réhabilitation de la végétation en l'espace d'une saison hivernale (Planche 3). Dans les parcelles où le paillage (mulching) a été appliqué sur ces sols encroûtés et dénudés et où les termites ont été exclus avec l'application de pesticides, la réhabilitation du sol n'a pas été effective dans le même. Ceci démontre bien que l'efficacité du paillage dans l'amélioration des propriétés physiques et biologique des sols est liée à la contribution effective des animaux du sol.

Vu que certaines espèces de termites peuvent provoquer des dégâts sur les cultures, le paillage se fait bien avant trois mois avant les semis, permettant aux termites d'assurer leur travail avant les semis.



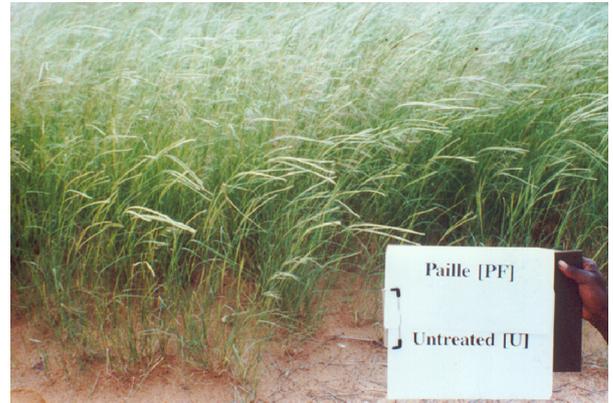
Sol encroûté, dénudé, dégradé du nord du Burkina Faso



L'application du paillage a attiré les termites qui ont détruit la croûte et couvert des pores favorisant l'infiltration de l'eau en même temps que la décomposition de la paille



Le même sol avec le paillage mais avec l'exclusion des termites. On note que le paillage seul ne suffit pas pour une réhabilitation rapide du sol dégradé sans les termites.



Avec la contribution des termites, on observe une régénération du sol du sol dans l'intervalle d'une seule saison pluvieuse avec une décomposition complète de la paille facilitant la libération des nutriments.

**Planche 3 : Réhabilitation des sols par le paillage et l'action des termites**

## Session 3.3 : Gérer les apports en nutriments

### Module 3.3.1 Les apports de nutriments par les ressources organiques (Procédures)

1 heure

- **Objectif de la session**

- Permettre aux participants de connaître la contribution des ressources organiques aux apports de nutriments dans le sol

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient être capables:

- L'importance de la fourniture et du recyclage des nutriments des ressources organiques ;
- De comprendre l'importance de la qualité des ressources organiques sur la libération des nutriments des ressources organiques ;
- Être en mesure de déduire par eux-mêmes les limites des apports des nutriments à travers les ressources organiques.

- **Points à relever dans cette partie**

- L'importance de la qualité des ressources organiques ;
- Les notions de minéralisation et de mobilisation des nutriments ;

- **Procédures d'animation**

Pour l'animation de cette session l'animateur procède par une série de questions réponses :

- En quoi les apports de nutriments par les ressources organiques sont-ils importants ?
- Comment apprécie-t-on la qualité des ressources organiques ?
- Quelle est l'importance de la qualité des ressources organiques sur les mécanismes d'apports ?

La synthèse des réponses est récapitulée sur le tableau conférence ;

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

- **Matériel nécessaire**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft
- Support de cours

## Module 3.3.1 Les apports de nutriments par les ressources organiques (Support de cours)

### • Importance des apports en nutriments des ressources organiques

- La fertilisation organique contribue à l'approvisionnement du sol en nutriments en plus de son rôle d'amendement des sols traité dans le module 3.1.1. L'importance d'un fertilisant organique comme fournisseur de nutriments est déterminée par le taux de libération des nutriments, qui à son tour dépend de la vitesse de décomposition de la ressource organique et de sa teneur en nutriments.
- Les ressources organiques permettent le **recyclage des nutriments** : dans l'exploitation agricole, l'exportation des résidus de récolte peuvent constituer des **sources de pertes** des éléments nutritifs car pour produire, les plantes prélèvent les nutriments dans le sol. Il est donc important que ces résidus de récoltes puissent être gérés de manière à restituer le maximum de nutriments qui a été prélevé par les plantes.

En considérant les valeurs moyennes par exemples des taux de nutriments dans les résidus de récoltes au regard des **volumes** produits, les ressources organiques peuvent constituer en effet des **sources importantes de nutriments** (Tableau 3). Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes des nutriments majeurs dans les résidus de récoltes en Afrique sub-saharienne.

**Tableau 3:** Composition moyenne des nutriments majeurs dans les résidus de récoltes

	Mil	Sorgho	Maïs	Riz
Azote (g/kg)	7	6,5	6,6	6,2
Phosphore (g/kg)	0,9	0,8	0,8	1,1
Potassium (g/kg)	20,9	10,9	11,6	19,9

### • Processus de mise à disposition des nutriments des ressources organiques

Une grande partie des nutriments (N, P et S) dans les fertilisants organiques se trouve comme constituants des molécules organiques et, sous cette forme, ne sont pas accessibles aux plantes. Les composés organiques sont convertis en une forme assimilable pour les plantes par les microorganismes (bactéries et champignons), qui utilisent les composés organiques pour deux buts : comme carburant (source d'énergie) et comme matériaux de construction pour leurs propres tissus.

Quand le fertilisant organique est riche en N, P et S facilement accessible, les microorganismes vont utiliser une partie pour leurs propres besoins et le surplus va être converti en une forme minérale qui peut être alors absorbée par les plantes. Le processus de conversion des molécules organiques en molécules inorganiques s'appelle la **minéralisation**.

Lorsque le fertilisant organique ne contient pas assez de N, P et S facilement accessible immédiatement pour couvrir les besoins des microorganismes, ils vont mobiliser tout ce qu'ils peuvent trouver comme N, P et S dans leur environnement immédiat. Beaucoup de fertilisants organiques utilisés comme fertilisants organiques ont une faible teneur en N par rapport au carbone. L'application de tels fertilisants organiques entraîne une **immobilisation** de l'azote qui est l'élément le plus important que les microorganismes ont besoin pour leur survie car entrant dans la constitution de leurs

parois cellulaires. L'immobilisation laisse moins de N (temporairement) disponible pour les plantes. On parle dans ce cas de **faim d'azote**. Il faut attendre la décomposition complète de ces fertilisants et la mort des microorganismes pour que les nutriments soient mis à la disposition des plantes. Les fertilisants organiques de ce type doivent être prétraités par exemple en effectuant un compostage avant l'application au champ.

Le critère le plus utilisé pour caractériser la qualité des ressources organiques est le **rapport carbone/azote (C/N)**. Quand ce rapport est inférieur à 30, on considère que le fertilisant organique va se décomposer facilement. Mais quand ce rapport est supérieur à 30, il est préférable de les composter ou de les utiliser autrement qu'un enfouissement direct au champ.

Un autre paramètre est la quantité de **lignine** (bois) dans le fertilisant organique. Plus le taux de lignine est élevé, plus le fertilisant organique va se décomposer lentement et peut créer une faim d'azote.

Dans le cas de l'utilisation des ressources ligneuses, l'appréciation de la couleur peut ne pas être suffisante à cause du bois (lignine) contenu dans ces ressources organiques. Une autre appréciation sur la dureté de la ressource comme par exemple s'il est facilement cassable ou si les feuilles se déchirent facilement sont ajoutés pour prendre en compte le taux de lignine.

Le dernier paramètre qui est pris en compte est le taux de **polyphénols** qui sont des composés aromatiques qu'on retrouve parfois dans les organes de certaines plantes légumineuses. Avec ces composantes, ces légumineuses bien qu'ayant des taux d'azote élevés, un C/N bas avec un taux de lignine faible ne se décomposent pas rapidement. Pour les techniciens, des analyses sont possibles pour aller à ce niveau de détails. Mais pour les producteurs, il est parfois difficile et peut être pratique d'appréhender le taux de polyphénols au goûter tel que parfois proposé (dessèchent la bouche au goûter). Cette variante peut ne pas être prise en compte surtout pour l'appréciation des ressources organiques autres que les ressources agro- forestières.

## • **Les différentes sources de nutriments des fertilisants organiques**

### - **Résidus agricoles**

- Résidus de récolte ou de défrichage (paille, feuilles, broussailles, etc.) ;
- Déjections des animaux (bouses de vaches, fientes de poule, fumier, purin, lisier, etc.) ;
- Compost (mélanges de résidus végétaux et animaux fermentés) ;
- Engrais verts (cultures de légumineuses ou autres plantes incorporées dans le sol) ;

### - **Résidus de la transformation des produits végétaux**

- Fibres (de l'industrie papetière), de tourteaux pressés (de graines d'oléagineux) ;
- Matériaux ligneux (écorce, sciure, etc.) ;
- Mélasses (de sucrerie).

### - **Résidus de la transformation de produits animaux**

- Sang, cornes et sabots, poudre d'os
- poudre de cuir, etc.

### - **Déchets urbains**

- Ordures ménagères compostées
- Boues d'épurations, urines, fèces.

### - **Inoculants du sol**

- Microorganismes vivants.

## Module 3.2.2 Les apports de nutriments par les engrais (Procédures)

3 heures

### • Objectifs de la session

- Permettre aux participants de connaître les différents types d'engrais ;
- Identifier les avantages et les contraintes de l'utilisation des engrais ;
- Permettre aux participants de connaître mieux les principes de formulation des engrais ;
- Apprendre aux participants les bonnes pratiques d'application des engrais.

### • Résultat attendu de cette section

A la fin de cette session, les participants devraient être capables:

- De faire une classification des engrais ;
- D'expliquer la formulation des engrais ;
- De choisir judicieusement le type d'engrais souhaité ;
- Découvrir les avantages et les limites de l'utilisation des engrais.

### • Points importants à relever dans cette partie

- La formulation des engrais ;
- Les avantages et limites des engrais
- Les méthodes appropriées d'application des engrais

### • Procédures d'animation

L'animation de cette session se déroule en deux étapes :

Pendant la première étape, le formateur procède par une série de questions réponses.

La synthèse des réponses est récapitulée sur le tableau conférence ;

Le formateur explique le support du cours et illustre les différentes étapes avec les supports visuels (engrais, sacs d'engrais pour les formules, etc.) mais ne distribue pas pour le moment le support de cours.

Pendant la deuxième étape, les participants sont repartis en groupe et les exercices pratiques sont traités en groupe. Chaque groupe fait après la restitution de ses travaux. Le formateur procède ensuite à la correction des exercices pratiques.

### Réponse exercice pratique 1

Le moyen le plus simple est de diviser les nombres imprimés sur le sac de 50 kg par 2 et ceux marqués sur le sac de 25 kg par 4. Ainsi dans un sac de 50 kg dont la formule est 15-5-20, nous aurons les quantités suivantes d'éléments nutritifs:

15/2 : 7.5 kg N (quantité d'azote)

5/2 : 2.5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (quantité de phosphate)

20/2 : 10 kg K<sub>2</sub>O (quantité de potassium)

Au total 20 kg d'éléments fertilisants pour un sac de 50 kg d'engrais.

### **Réponse exercice pratique 2**

1<sup>ère</sup> question : 46 divisé par 2 est égal à 23 : la division par 2 correspond au poids du sac : 50 kg.

Chaque sac contient donc 23 kg d'azote.

60 divisé par 23 est égal à 2.6. Ainsi, à peu près deux sacs et deux tiers d'un sac du produit sont nécessaires pour couvrir un hectare.

2.6 sacs x 50 kg : un total de 130 kg d'urée, doit être appliqué par hectare.

2<sup>ème</sup> question : Si la superficie du champ est de 500 m<sup>2</sup> la quantité requise d'urée est un vingtième de celle pour un hectare soit 6½ kg (pour rappel, un hectare fait 100m x 100m (soit 10 000 m<sup>2</sup>)).

### **Réponse exercice pratique 3**

Si vous utilisez uniquement cet engrais, vous appliquerez, si vous voulez atteindre les doses :

- deux fois trop de phosphore et de potassium (perte économique et risque pour l'environnement) ;
- soit seulement la moitié d'azote nécessaire (d'où carence) ;

Dans ce cas:

- soit vous achetez un engrais 15-15-15 pour fertiliser votre culture, et achetez un autre engrais ne contenant que de l'azote simple.

Le formateur procède maintenant la distribution du support de cours.

#### **• Matériel nécessaire et support visuel**

- Tableau conférence ou tableau noir
- Markers
- Flip charts
- Colle papier
- Papier Kraft
- Support de cours
- Exercices pratiques imprimés séparément ;
- Sacs vides d'engrais de différents types et de différentes formulations ;
- Des échantillons de différents types d'engrais.

## Module 3.2.2 Les apports de nutriments par les engrais (Support de cours)

La diminution du stock de nutriments du sol survient quand les apports en éléments nutritifs au sol sous forme d'engrais, de matière organique, etc. est inférieur aux nutriments qui sont prélevés par les plantes ou qui sont perdus. On dit que les producteurs font une exploitation minière de leur sol. Une exploitation minière signifie que le producteur investit très peu dans le sol mais qu'il veut tirer le maximum de bénéfices de son sol.

Les engrais minéraux constituent une des sources de nutriments qui peuvent permettre de recapitaliser le stock de nutriments du sol.

### • La classification des engrais

Les engrais sont classés selon les critères suivants :

- **Selon la méthode de production :** On distinguera les **engrais naturels** (exemple les phosphates naturels) et les **engrais de synthèse** qui sont fabriqués à partir de procédés industriels (exemple : l'urée)
- **Selon le nombre de nutriments :** On distinguera les **engrais simples** qui contiennent un seul nutriment (exemple : l'urée qui ne contient que de l'azote) et les **engrais composées** à plusieurs nutriments avec deux (binaires), trois nutriments (ternaires) et plus (exemple : NPK qui contient de l'azote, du phosphore et du potassium) (Tableau 4).
- **Selon le type de combinaison :** On distinguera les **engrais de mélange**, c'est à dire un mélange physique de deux ou plusieurs engrais simples ou composés et les **engrais complexes** dans lesquels deux nutriments ou plus sont combinés chimiquement (exemple : les phosphates d'ammonium).
- **Selon l'état physique :** On distinguera les **engrais solides** (qui peuvent être cristallisés, pulvérulent ou en granulés), les **engrais liquides** qui peuvent être des solutions ou des suspensions, les **engrais gazeux** qui sont des liquides sous pression (exemple : l'ammoniac).
- **Selon le mode d'action :** On distingue des **engrais rapides** qui sont solubles dans de l'eau et immédiatement disponible pour les plantes et les **engrais lents** exigeant une transformation sous forme soluble.

### • Qu'est-ce qu'il y a dans le sac ?

Les principaux éléments nutritifs qu'on trouve dans les engrais sont l'azote (N) le phosphore (P) et le potassium (K). On y rencontre aussi des engrais qui contiennent du calcium, du soufre, du bore et du chlore. Les teneurs de chacun des éléments en kg pour 100 kg d'engrais sont imprimées sur le sac sous forme d'azote (N), d'oxyde de phosphore ( $P_2O_5$ ) et d'oxyde de potasse ( $K_2O$ ). Ceci est appelé, **la formule de l'engrais**.

Par exemple un engrais qui a une formule 14-23-14 contient 14 kg d'azote (N), 23 kg d'oxyde phosphore ( $P_2O_5$ ) et 14 kg d'oxyde de potasse ( $K_2O$ ) pour 100 kg de produit. On utilise aussi le terme d'unité fertilisante qui est égale à un kg de N, un kg  $P_2O_5$  ou d'oxyde de potasse ( $K_2O$ ).

Occasionnellement, le phosphore et le potassium peuvent être exprimés en termes de P ou de K. Les conversions d'une forme à une autre peuvent être faites en utilisant les formules suivantes :

$$\% P = \% P_2O_5 \times 0,44$$

$$\% K = \% K_2O \times 0,83$$

$$\% P_2O_5 = \% P \times 2,3$$

$$\% K_2O = \% K \times 1,2$$

## • Comment choisir un engrais?

Des engrais de différentes formules d'engrais sont fabriqués parce que différentes cultures exigent des quantités différentes de chaque éléments nutritifs. L'efficacité de ces engrais varie avec le sol, les cultures et les conditions d'application. Le choix de l'engrais dépendra de plusieurs facteurs qui sont :

- **La richesse du sol :** quand il est possible par des analyses de sol de savoir quel nutriment manque au sol et quel nutriment est en abondance, le choix peut porter sur un engrais qui contient plus le nutriment manquant et moins le nutriment qui est disponible ;
- **Le type de culture :** Les cultures n'ont pas les mêmes besoins. Par exemple les plantes légumineuses comme l'arachide n'ont seulement besoin de l'azote qu'au début de leur croissance comme starter. Une application importante d'azote produira beaucoup de feuilles et très peu de gousses. Il faut donc choisir son engrais en fonction des besoins de la plante à cultiver.

Les besoins des variétés améliorées sont donnés dans la fiche technique de la variété. Le producteur peut demander cette fiche à l'achat de la semence. En général, les cultures dont la production est aérienne (céréales, légumes feuilles, légumes fruits, arbres fruitiers, etc.) demandent beaucoup d'azote et de phosphore. Les plantes à tubercules (patate, igname, etc.) demandent un plus de potassium.

- **Du coût de l'unité fertilisante :** La fertilisation est un investissement qui doit être rationalisé. Ce qui nous intéresse dans les engrais c'est leur teneur en éléments nutritifs. Quand on a le choix entre plusieurs types d'engrais contenant les nutriments voulus le coût de l'unité fertilisante peut être calculé. Le coût de l'unité fertilisante (N ou  $P_2O_5$  ou  $K_2O$ ) est déterminé en divisant le prix de l'engrais par sa teneur en éléments nutritifs. A cause des grandes fluctuations des prix des engrais dans le marché international, la comparaison des prix doit être faite avant tout achat d'engrais.

**Tableau 4:** Types d'engrais couramment utilisés et leurs caractéristiques

Engrais	Teneur en Azote (% N)	Teneur en Phosphore (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Teneur en Potassium (%K <sub>2</sub> O)	Teneur en Calcium (% CaO)	Teneur en Soufre (% S)
<b>Engrais simples</b>					
Ammonitrate	33-34	-	-	-	-
Urée	46	-	-	-	-
Sulfate d'ammoniaque	21	-	-	-	24
Superphosphate simple (SSP)	-	18-20	-	-	-
Superphosphate triple (TSP)	-	45	-	-	-
Sulfate de potasse	-	-	48-50	-	-
Chlorure de potasse	-	-	40-60	-	-
Phosphate naturel (Burkina phosphate)	-	25	-	34	-
<b>Engrais composés</b>					
Mono-Ammonium phosphate (MAP)	11	55	-	2	1-3
Di-ammonium phosphate (DAP)	18	46	-	-	-
Ammonium sulfophosphate	19	38	-	-	1-14
Nitrate de potassium	13	-	44	0,5	0,2
Nitrate de calcium	16	-	-	34	-
NPK (exemple)	14	23	14		6

**Tableau 5:** Avantages et inconvénients des principaux types d'engrais et leur effet à long terme sur le pH du sol

Engrais	Avantages	Inconvénients	Effet à long terme sur le pH du sol
Ammonitrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> immédiatement disponible, parmi les engrais solides, second après l'urée en teneur d'azote	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (moitié de sa teneur) est lessivable et soumis à la dénitrification dans les sols chauds et humides ; stockage difficile ; absorbe l'eau de l'air et durcit après exposition à l'air	Modérément acide
Urée	Solubilité élevée ; non lessivable après sa transformation sous forme de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ; moins de risque de brûlures des feuilles en cas de pulvérisation foliaire.	Lessivable après les pluies ou irrigation juste après apport ; risque de perte de NH <sub>3</sub> par volatilisation si pas incorporé dans le sol.	Modérément acide
Sulfate d'ammoniaque	Effet acidifiant désirable pour les sols basiques; contient du soufre	Teneur faible en azote ; acidité résiduelle élevée pour les sols acides ; risque de perte de NH <sub>3</sub> par volatilisation si pas incorporé dans le sol	Fortement acide
Superphosphate simple (SSP)	Apporte du phosphore et du calcium	Moins riche en phosphore ; forme pulvérulente moins pratique pour l'épandage	Pas d'effet
Superphosphate triple (TSP)	Riche en phosphore		Pas d'effet
Sulfate de potasse	Apporte du soufre	Plus cher que le chlorure de potasse	Pas d'effet
Chlorure de potasse	Moins cher que le sulfate de potasse	Effet salinisant ; à éviter pour les cultures sensibles à la salinisation	Pas d'effet
Phosphate naturel (Burkina phosphate)	Moins cher	Solubilisation lente	Pas d'effet
Mono-Ammonium phosphate (MAP)	Phosphore complètement soluble dans l'eau. Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Effet acidifiant désirable pour les sols basiques	Acidité résiduelle élevée pour les sols acides	Fortement acide
Di-ammonium phosphate (DAP)	Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Pas cher	Eviter le contact avec les semences	Acide
Ammonium sulfophosphate (ASP)	Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Apporte du soufre	Pas très souvent disponible sur le marché	Acide
Nitrate de potassium	Bonne source d'azote et de potassium	Cher, très souvent pas disponible sur le marché	Basique
Nitrate de calcium	Bonne source d'azote et de calcium	Très souvent pas disponible sur le marché	Basique
NPK (exemple)	Bonne source d'azote, de phosphore et de potassium ; largement disponible sur le marché	Acidité résiduelle pour les sols acides	Acide

## • Comment appliquer les engrais ?

Les apports d'engrais se font en deux types d'apports : Les **engrais de fond** sont apportés avant le semis pour les cultures annuelles et avant la reprise de végétation pour les cultures pérennes. Les **engrais de couverture**, généralement azotés, sont appliqués en pleine végétation en un ou plusieurs apports.

### - Les apports de fond

Les engrais phosphatés sont rapidement immobilisés dans la sol après application. Ainsi, la réponse de la culture à un apport de phosphore et/ou de potassium avant le semis est meilleure par rapport à celui effectué en couverture. Seule une partie de l'azote est apportée en fond.

### - Les applications en couverture

Parce que le besoin en azote varie avec la phénologie de la culture (stade de croissance) et qu'il y a un risque de lessivage de l'azote, on préfère fractionner les apports pour les faire coïncider avec la période de grand besoin. Ces apports sont généralement faits sous forme d'engrais azotés simples. Plusieurs facteurs influencent la décision d'apport d'engrais de couverture.

#### ➤ *La texture du sol*

Une fois qu'on connaît la quantité d'engrais de couverture à apporter, le nombre d'apports et la dose de chaque apport doivent tenir compte de la texture du sol. En sol léger, plusieurs applications de N sont nécessaires pour réduire les pertes d'azote par lessivage et pour maximiser le rendement. En sol lourd, moins d'applications de N sont souhaitables.

#### ➤ *Le pH du sol*

La volatilisation de l'ammoniac est plus importante à partir du sulfate d'ammoniaque et de l'urée en sol basique et surtout calcaire. Afin d'éviter ces pertes, il est recommandé d'enfouir correctement les engrais après un travail du sol approprié. Les engrais apportés au sol ont des effets sur le pH du sol (voir Tableau 4). Les engrais acidifiants sont à éviter sur sols acides car la diminution de pH dans ces sols va entraîner une concentration excessive de l'aluminium, du fer et du manganèse à des niveaux toxiques pour les plantes. Ces engrais, par contre, améliorent la disponibilité de certains éléments nutritifs tels que le phosphore, le fer, le manganèse, le zinc et le cuivre dans les sols basiques.

#### ➤ *Le climat*

Le choix de l'engrais de couverture est aussi influencé par les précipitations et la température. L'entraînement de l'azote par de fortes précipitations (ou irrigation) nécessite des apports fréquents de faibles doses. Les températures élevées favorisent la volatilisation de l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ) sous forme d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ).

## • Les avantages liés à l'utilisation des engrais

Parmi les avantages des engrais on peut citer :

- La facilité de recapitaliser rapidement le stock de nutriments du sol ;
- L'accroissement significatif des rendements des cultures ;
- La concentration élevée en nutriments dans un faible volume de produit ;
- La facilité de manutention à cause du faible volume.

## • Les inconvénients de l'utilisation des engrais

L'utilisation des engrais entraîne deux types de conséquences qui peuvent comporter des risques sanitaires (atteinte à la santé de l'homme) ou des risques environnementaux (dégâts sur les écosystèmes). On peut citer :

- Quand l'eau n'est pas maîtrisée, les cultures peuvent brûler ;
- La pollution du sol par les métaux lourds comme le cadmium ;
- La pollution des eaux souterraines notamment avec les nitrates ce qui affecte la potabilité de l'eau et l'augmentation des dangers sur la santé ;
- La pollution des rivières, des marres et des eaux côtières, ce qui peut entraîner l'eutrophisation (développement rapide des végétaux aquatiques avec fermentation organique limitant la disponibilité en oxygène) et affecter la vie des poissons et autres animaux aquatiques ;
- L'acidification des sols (Tableau 5);
- La pollution importante de l'air pendant la fabrication ( $\text{CO}_2$ ) et au champ à travers la dénitrification et la volatilisation de l'ammoniac et contribue au réchauffement climatique.
- Les coûts élevés limitant l'accessibilité aux petits producteurs ;
- La disponibilité des engrais n'est pas toujours assurée.

### **Exercice pratique 1 :**

Dans un sac de 50 kg de NPK dont la formule est de 15-5-20, quel est le moyen le plus simple de calculer la quantité des éléments nutritifs contenus dans un sac d'engrais?

**Exercice pratique 2 :** La recommandation pour une culture donnée est d'appliquer 60 kg N par hectare sous forme d'urée qui contient 46% de N.

1<sup>ère</sup> question : Combien de sacs de 50 kg il faut prévoir?

2<sup>ème</sup> question : Quelle quantité d'urée utiliser pour un champ de 500 m<sup>2</sup> ?

**Exercice pratique 3.** Quand la recommandation est d'utiliser un engrais 60-30-30, que se passe-t-il si vous utilisez un engrais 15-15-15 ?

## Module 3.2.3 Améliorer l'efficacité des apports de nutriments (Procédures)

2 heures

- **Objectifs de la session**

- Permettre aux participants de maîtriser les bases et concepts de la gestion de l'efficacité des apports ;
- Donner des outils d'aide à la décision pour l'optimisation de l'utilisation des ressources organiques et minérales.

- **Résultats attendus de cette section**

A la fin de cette session, les participants devraient être capables:

- Expliquer comment l'utilisation des ressources organiques et minérales peut être optimisée ;
- De faire une utilisation des outils d'aide à la décision pour la gestion des ressources organiques ;
- De percevoir l'importance des pratiques culturales et des types de semences dans la gestion optimale des nutriments.

- **Points importants à relever dans cette partie**

- Mettre l'accent sur les origines des pertes et les solutions à y remédier ;
- Permettre des exercices pratiques pour l'utilisation des outils d'aide à la décision pour l'utilisation des ressources organiques ;
- Faire percevoir l'importance de l'intégration des de l'utilisation des ressources organiques, minérales, des interactions biologiques et des pratiques culturales dans l'amélioration de l'efficacité des apports ;
- Insister sur comment les ressources organiques peuvent être mieux gérées et l'utilisation optimisée ;

- **Procédures d'animation**

La session se déroule en travaux de groupes. Les participants sont divisés en groupe et chaque doit répondre à la question suivante :

Comment l'efficacité des apports organiques et minéraux peut être optimisée dans l'exploitation agricole ?

Chaque groupe restitue les résultats de ses travaux suivis de discussions.

Une synthèse participative est ensuite réalisée par le formateur.

Le formateur explique le support du cours et procède ensuite à sa distribution.

## **Module 3.2.3 Améliorer l'efficacité des apports de nutriments (Support de cours)**

L'amélioration de l'efficacité des apports des nutriments a pour objectifs de maximiser les avantages des différentes sources de nutriments et de minimiser les effets négatifs de chacune d'elles. En outre l'amélioration de l'efficacité des apports intègre les méthodes de réduction des pertes et qui favorisent la valorisation des apports.

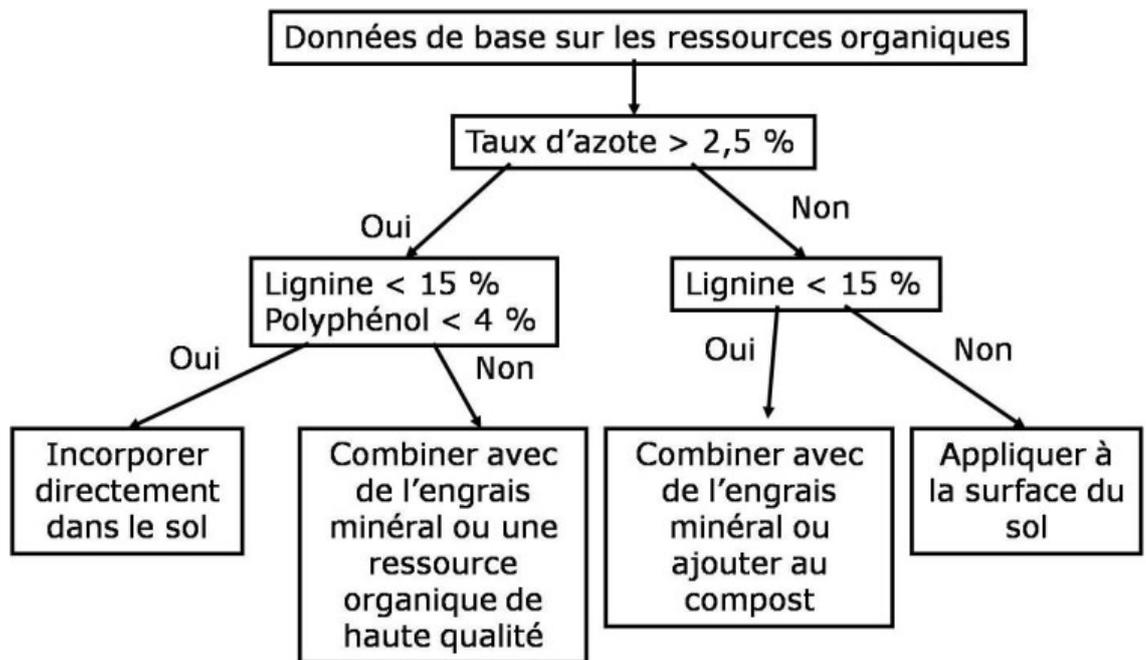
- **Améliorer l'efficacité de l'utilisation des résidus de récoltes**

L'utilisation des résidus de récoltes dans l'exploitation agricole constitue un recyclage d'une partie des nutriments qui ont été prélevés par les cultures.

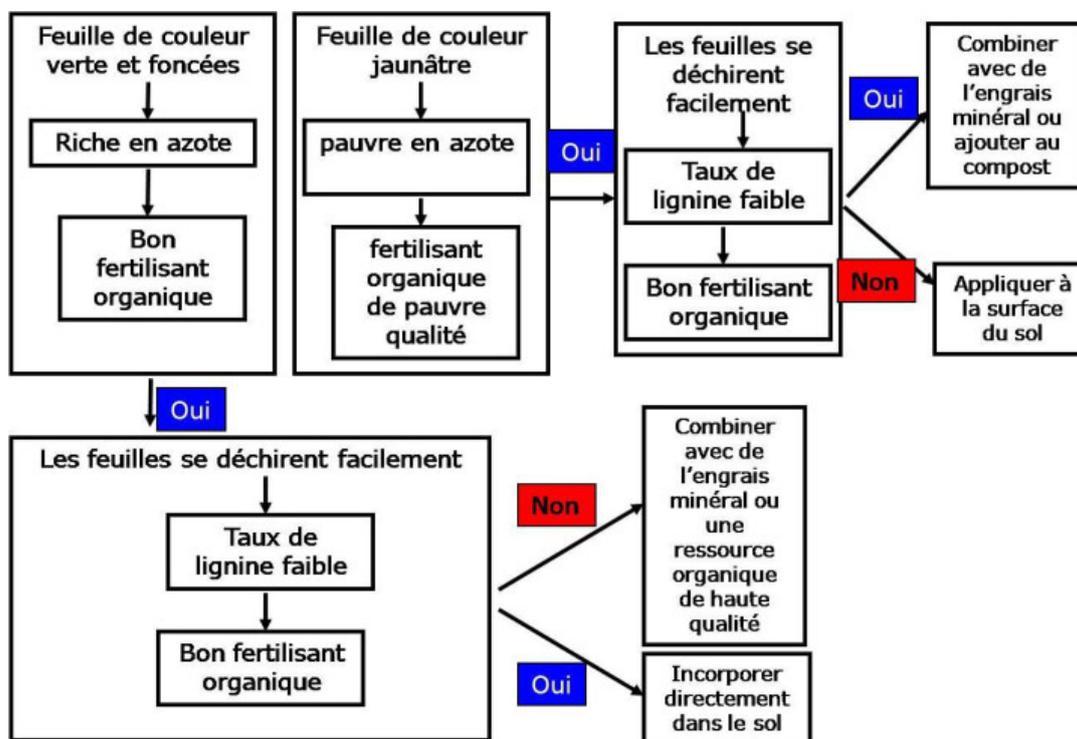
Une bonne gestion des résidus de récoltes doit nécessairement tenir compte de la qualité de la ressource. Comme nous l'avons déjà vu dans le module 3.2.2, le rapport C/N, le taux de lignine (bois) et de polyphénols dans une moindre mesure sont utilisés comme critère de qualité.

Sur le terrain, au champ, l'appréciation visuelle du rapport C/N tient surtout à la couleur de la ressource organique. Une ressource végétale de couleur jaune signifie que le rapport C/N est élevé. Par contre, s'il est vert (à l'état sec ou frais) cela veut dire que le rapport C/N est faible. Les résidus de récoltes (tiges de sorgho, de mil, paille de riz, broussaille, etc.) ont généralement des rapports C/N supérieur à 30. Il n'est donc pas recommandé de les enfouir directement au champ à moins que cet enfouissement se fasse trois à quatre mois avant les semis.

Des outils d'aide à la décision ont été conçus pour faciliter une meilleure gestion intégrée optimale des résidus de récoltes. Les figures 3 et 4 ci-dessous sont des outils d'aide à la décision pour les techniciens et pour les producteurs pour l'utilisation des ressources organiques et donnent la démarche à suivre dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité des sols.



**Figure 3 :** Outil d'aide à la décision à l'usage des techniciens pour l'utilisation des fertilisants organiques végétales dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité des sols



**Figure 4 :** Outil d'aide à la décision à l'usage des producteurs pour l'utilisation des fertilisants organiques végétales dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité des sols

- **Améliorer l'efficacité de l'utilisation des fertilisants organiques d'origine animale**

Quand les résidus de récoltes sont utilisés pour l'alimentation des animaux (tiges, fanes d'arachide, de haricot, etc.) l'utilisation des fertilisants organiques d'origine animale constituent aussi un recyclage des éléments nutritifs des plantes. Il est conseillé que ceux-ci soient compostés (Planche 4) avec les fertilisants organiques d'origine végétale qui se décompose lentement (paille, résidus de récoltes, etc.).

Le compostage a pour objectifs :

- Désinfecter la matière organique. En effet l'élévation importante de la température pendant le processus de compostage permet d'éliminer la plupart des germes pathogènes et des graines de mauvaises herbes ;
- Augmenter la quantité de matière organique de bonne qualité au regard de la faible disponibilité des déjections animales ;
- Augmenter la qualité de la matière organique à cause de la décomposition lente des ressources végétales de faible qualité (C/N élevé) mais qui sont pourtant abondantes.

Il est très recommandé d'intégrer les phosphates naturels dans le compost car cela facilite leur application au champ du fait de leur état poudreux. En outre, l'intégration des phosphates naturels a le potentiel d'augmenter leur dissolution rapide améliorant ainsi la qualité du compost surtout en l'élément qui manque parfois le plus au sol c'est-à-dire le phosphore.



Compostage aérobie en fosse



Compostage aérobie en tas : édification du tas

**Planche 4 :** Techniques de compostage en fosse et en tas

- **Réduire les pertes liées à l'érosion et au lessivage**

L'érosion hydrique et l'érosion par le vent entraînent avec elles les nutriments du sol. Le moyen le plus efficace pour réduire les pertes est de maximiser sur la couverture du sol à travers le paillage (mulching) et l'utilisation des plantes de couvertures. La mise en place des mesures anti-érosives comme les cordons pierreux, les bandes enherbées ou les digues filtrantes sont efficaces pour réduire l'érosion hydrique des sols et des nutriments.

L'intégration de bandes végétatives pérennes le long des mesures anti-érosives permet de stabiliser le sol et permette par le biais de l'enracinement profonds de la végétation pérenne d'absorber les nutriments lessivés qui vont être restitués à la surface du sol à travers la chute des feuilles. Les amendements du sol comme discutés dans la session 3.1.1 ainsi qu'une bonne gestion de l'exploitation comme un bon système de drainage permettent de réduire considérablement les pertes par lessivage.

- **Réduire les pertes par volatilisation de l'azote**

Les engrais azotés non enfouis dans le sol se perdent par volatilisation c'est-à-dire sous forme gaz. Pour supprimer la volatilisation, les engrais azotés doivent être complètement enfouis avec le travail du sol (Labour, poquets, etc.). Les amendements organiques favorisent également une bonne fixation de l'azote et réduisent ainsi sa volatilisation. En outre, une utilisation combinée des engrais azotés et des ressources organiques est la clé principale pour une utilisation efficace et la réduction des pertes des engrais azotés.

- **Favoriser la rotation des cultures**

La monoculture est l'une des pratiques culturales qui entraînent la dégradation des sols et une mauvaise valorisation des potentialités physiques, chimiques et biologiques des sols. Les cultures n'ont pas les mêmes besoins en éléments nutritifs. Ainsi, la rotation des cultures permet aux nutriments qui ne sont pas utilisés par l'une des cultures d'être valorisés par la culture suivante. De plus, la rotation favorise une bonne exploitation des couches du sol, rompt les cycles de certaines maladies et de ravageurs et recapitalise biologiquement certains nutriments comme l'azote quand les plantes légumineuses sont intégrées dans le plan rotation. La rotation avec une plante légumineuse au moins un fois tous les trois ans est recommandée pour une bonne santé des sols.

- **Choisir des espèces qui valorisent les nutriments**

Les efforts d'amélioration de la fertilité des sols doivent être accompagnés par le choix de semences appropriées qui valorisent les intrants et la qualité du sol. Ainsi, pour que d'un point de vue économique les efforts de recapitalisation de la fertilité des sols soient rentables, l'utilisation de variétés améliorées localement adaptées au milieu et prenant en compte le contexte social dans la satisfaction des besoins des populations soient utilisées pour faire une meilleure valorisation des nutriments apportés aux sols.

## Partie 4 : Plan de Retour et Evaluation de la Formation

### Session : 4.1 Plan de retour (Procédures)

1h 30 mn

#### • Vulgarisation des méthodes de GIFS

Il est important de réaliser qu'il est pratiquement impossible que les sessions de formation puissent concerner tous les groupes de producteurs ou les techniciens et animateurs vulgarisateurs. Ainsi la méthode de formation en cascade peut être conseillée.

**Pour les producteurs formateurs :** des programmes de restitution de la formation aux membres de leur groupement ou communauté peuvent être programmés dès leur retour de la formation. Il est important que le producteur formateur puisse être appuyé par un animateur qui a suivi la formation afin de corriger si nécessaire en cas d'oubli du producteur de certains éléments importants de la formation. Ces séances de restitution sont prévues se tenir en un jour au maximum deux jours pour tenir compte des activités des producteurs.

Il s'agira donc pour chaque participant de donner des périodes approximatives qui seront précisées par la suite par les paysans formateurs où ces séances de restitution pourront être réalisées. L'ensemble des propositions de période est synthétisé sur le tableau conférence.

**Les techniciens vulgarisateurs :** deux types d'approches sont conseillés :

- Organiser des sessions de formation à l'intention des autres techniciens de sa zone d'intervention. Cependant l'accompagnement financier de ce type d'action est indispensable.
- Réalisation de champs écoles paysans (CEP) en collaboration avec les producteurs sur lesquels des techniques de GIFS pourront être appliquées avec des évaluations périodiques avec les producteurs.

Ces méthodes peuvent concerner en fonction des préoccupations de chaque zone:

- L'association de la production du maïs avec le Mucuna ;
- Les méthodes et les doses appropriées d'application des engrais sur une culture céréalière (sorgho, mil, maïs, riz, cultures maraichères);
- La combinaison entre les engrais chimiques et les ressources organiques sur la production du (sorgho, mil, maïs, riz, cultures maraichères);
- La fabrication et l'utilisation du compost seul et combiné avec les engrais minéraux sur la production du maïs;
- L'impact de l'utilisation des engrais phosphatés ou des phosphates naturels sur les légumineuses et son impact sur la production d'une culture céréalière de rotation ;
- L'utilisation combinée des ouvrages anti-érosifs, de la matière organique et des engrais ;
- Etc.

En fonction des conditions spécifiques le protocole de démonstrations pourront être ajustés.

## Session : 4.2 Evaluation et clôture de la formation (Procédures)

1h 30 mn

Les formateurs souhaitent la bienvenue aux participants à cette dernière session de la formation sur la GIFS et donnent les grandes lignes du déroulement de la session.

### • Evaluation de la formation

L'évaluation de la formation comporte deux volets :

- 1) **Evaluation de l'atteinte des attentes des personnes formées** : la liste des attentes répertoriées au début de la formation est reprise et le formateur les reprend une à une pour rappeler ces attentes exprimées en plénière. L'évaluation globale des attentes est prise en compte dans la fiche d'évaluation de la formation.
- 2) **Evaluation du contenu et du déroulement de la formation** : La fiche d'évaluation s'adapte aussi bien pour des techniciens que pour des producteurs. Les thèmes de formation sont repris sur la fiche d'évaluation (voir fiche d'évaluation) et les participants donnent leurs appréciations sur la fiche. La méthodologie, les outils pédagogiques, le respect des horaires sont évalués. Les conditions de séjour, les repas, les visites terrains, etc. En fonction des activités supplémentaires menées, la fiche peut être adaptée.

Les fiches sont anonymes. Elles sont ensuite collectées et dépouillées. Le niveau de satisfaction des participants est ensuite évalué en calculant la note de satisfaction comme suit :

**Note /20 des thèmes où les participants sont insatisfaits** = somme des notes de la colonne « insatisfait » /nombre des participants (même avec ceux qui ont 0 / 20 d'insatisfaction) x 100.

**Note /20 des thèmes où les participants satisfaits** = somme des notes de la colonne « satisfait » /nombre des participants (même avec ceux qui ont 0 / 20 de satisfaction)

**Note /20 des thèmes où les participants sont très satisfaits** = somme des notes de la colonne « très satisfait » /nombre des participants (même avec ceux qui ont 0 / 20 de très satisfait).

**Exemple** : Si la note global d'insatisfaction est de 5/20. Cela veut dire que globalement sur les 20 thèmes évalués, seulement cinq (5) non pas été jugés satisfaisants par les participants.

La somme de la note **SATISFAIT** + **TRES SATISFAIT** donne l'évaluation de la satisfaction globale de la formation.

L'évaluation peut également se faire sous-thème (Conditions pratiques, Déroulement de la formation, Notions de base, Appliquer la GIFS).

- **Présentation du manuel de formation, clôture de la formation, remise des attestations et manuels de formation**

- **Présentation des manuels de formation**

Les organisateurs présentent le manuel de formation en précisant que tout ce qui a été dit pendant la formation est contenu dans le manuel. Cependant, il est important de préciser que le manuel n'est qu'un guide pour l'animation d'une formation sur la GIFS. Les adaptations en fonction des situations, l'expérience, les compétences et les qualités d'animation de chaque facilitateur doivent être mises à contribution pour la réussite de la formation.

- **Allocutions**

Les organisateurs clôturent la formation en remerciant les participants pour leur participation aux débats et le climat de travail qui a régné pendant la formation. Il est parfois intéressant de demander à un représentant des participants d'intervenir au nom des participants suivi d'une intervention d'un représentant des formateurs. Dans le cas d'une formation de producteurs, une intervention d'une représentante des femmes est aussi recommandée.

Finalement, les organisateurs de la formation clôture la formation en souhaitant un bon retour aux participants et annonce la remise des attestations.

- **Remise des attestations**

Les attestations de formation sont remises à chaque participant à tour de rôle. Il est important d'annoncer aux participants que l'ordre de remise n'est pas rangée afin d'éviter toute frustration. En fonction du contexte, les formateurs peuvent choisir par exemple de commencer la remise des attestations aux les femmes, ou aux personnes les plus âgées ou d'un certain rang (chef du village ou chef de terres) plus précisément dans les formations des producteurs.

Une photo de famille clôture la formation. Les organisateurs pourraient veiller à ce que cette photo de famille puisse parvenir aux participants en fonction des moyens disponibles.

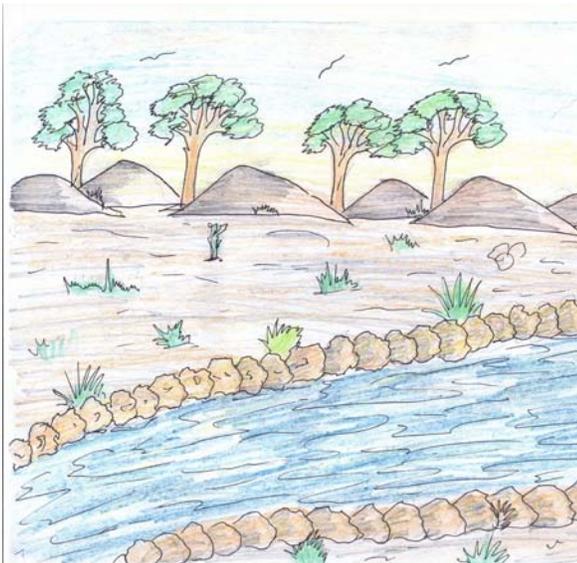
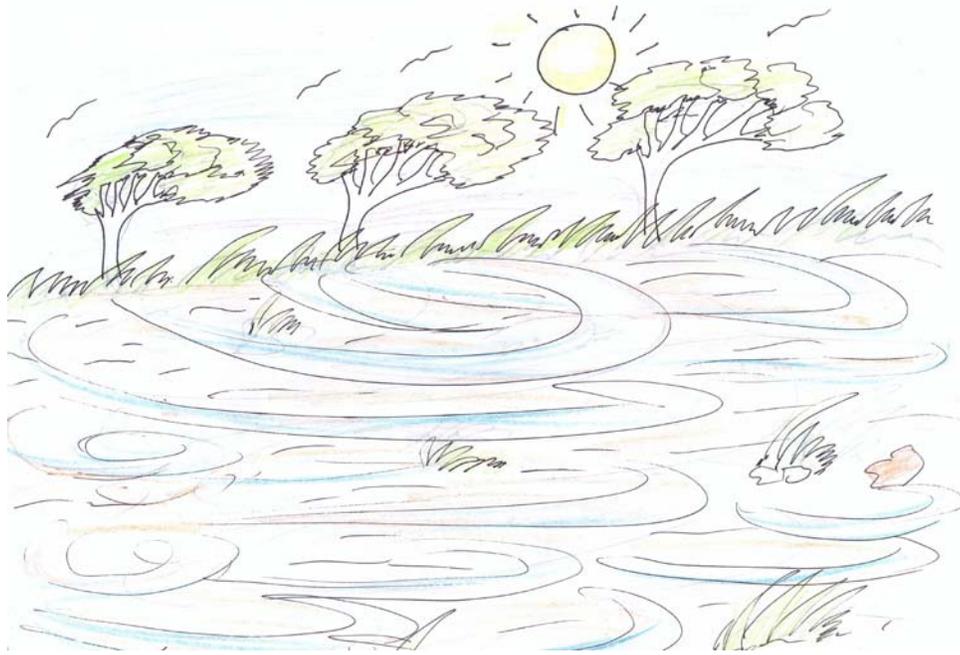
La liste actualisée des adresses des participants (y compris des formateurs) préalablement établie est également donnée aux participants afin de permettre la poursuite des échanges après la formation.

## Session : 4.2. Fiche d'évaluation de la formation

<b>Thèmes d'évaluation</b>	 (non satisfait)	 (satisfait)	 (très satisfait)
Cadre de travail (Salle)			
Conditions de séjour (repas, logement)			
<b>Total conditions pratiques</b>			
Respect des horaires			
Méthodologie et outils pédagogiques			
Supports pratiques (Visites terrain, travaux pratiques, etc.)			
<b>Total déroulement de la formation</b>			
Session 2.1 : Connaissance du sol et de son origine			
Session 2.2 : Importance du sol et ses fonctions			
Session 2.3 : Définition de la fertilité du sol ?			
Session 2.4: La dégradation des sols			
Session 2.5 : Les nutriments des plantes			
Session 2.6 : Qu'est-ce que la gestion intégrée de la fertilité des sols ?			
Session 2.7: Pourquoi la gestion intégrée de la fertilité des sols ?			
<b>Total notions de base sur la GIFS</b>			
Module 3.1.1 Les amendements organiques			
Module 3.1.2 Conserver l'eau et les sols			
Module 3.2.1 Les processus biologiques d'apports et de valorisation des nutriments			
Module 3.2.2 La contribution de la faune du sol			
Module 3.3.1 Les apports de nutriments par les ressources organiques			
Module 3.3.2 Les apports de nutriments par les engrais			
Module 3.3.3 Améliorer l'efficacité et l'utilisation des apports de nutriments			
Session 4.1 Plan de retour			
<b>Total Appliquer la GIFS</b>			
<b>TOTAL</b>	/ 20	/20	/20
<b>Globalement, la formation a-t-elle comblé vos attentes ?</b>			
<b>Comment la formation peut être améliorée ?</b>			
<b>Autres commentaires</b>			

# Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS) :

## Manuel de l'Apprenant



Association CEAS-Burkina

# TABLE DES MATIERES

Introduction au manuel de l'apprenant .....	3
Première Partie : Notions de base sur la Gestion intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS) .....	4
1. Connaissance du sol et de son origine .....	4
2 : Importance du sol et ses fonctions .....	8
3. Définition de la fertilité du sol ? .....	10
4. La dégradation des sols .....	11
5. Les nutriments des plantes .....	14
6. Qu'est-ce que la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS)? .....	16
7. Pourquoi la gestion intégrée de la fertilité des sols ? .....	17
Deuxième Partie : Appliquer la GIFS .....	18
2.1 Les amendements organiques .....	18
2.2 Conserver l'eau et les sols.....	20
2.3 Promouvoir les processus biologiques des sols .....	22
- Apports et valorisation des nutriments par les microorganismes .....	22
- La contribution de la macrofaune du sol .....	25
2.4 : Gérer les apports en nutriments .....	27
- Les apports de nutriments par les ressources organiques .....	27
- Les apports de nutriments par les engrais.....	29
- Améliorer l'efficacité des apports de nutriments.....	37

# Introduction au manuel de l'apprenant

Le manuel de l'apprenant sur la gestion intégrée de la fertilité des sols a été préparé par le projet ATP, en collaboration avec l'Association Centre Ecologique Albert Schweitzer du Burkina Faso.

L'objectif global du manuel de l'apprenant est de permettre aux personnes formées de bénéficier d'un support simple et pratique afin de permettre l'application des différents concepts de la gestion intégrée de la fertilité des sols sur le terrain.

Ce manuel est destiné aux groupes de producteurs et des acteurs à la base qui seront formés par les formateurs qui eux disposent d'un manuel de formation en gestion intégrée de la fertilité des sols.

Le support manuel donne les informations de base ainsi que les principes de la gestion intégrée de la fertilité des sols. Les illustrations ne concernent que quelques aspects clés des concepts qui sont développés dans le manuel.

Ce manuel est subdivisé en deux parties : Une première partie qui donne d'abord des notions sur la gestion intégrée de la fertilité des sols et une deuxième partie qui montre comment appliquer concrètement sur le terrain la gestion intégrée de la fertilité des sols.

# Première Partie : Notions de base sur la Gestion intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS)

## 1. Connaissance du sol et de son origine

### • Qu'est-ce que le sol ?

Le sol est cette couche de « terre » en général meuble ou friable et peu épaisse (quelques centimètres à plusieurs mètres) qui recouvre presque en continu une grande partie de la terre. On dit que le sol est la peau de la partie de la terre qui n'est pas couverte par l'eau. On marche sur sa surface, les plantes y poussent et s'en nourrissent et de nombreux animaux y vivent.

Les savants ont permis aujourd'hui de faire découvrir et connaître les sols, de savoir comment ils vivent et comment ces sols pourraient à la fois être mieux utilisés et mieux protégés. Le sol peut être utilisé pendant longtemps et toujours permettre aux hommes de se nourrir mais cela dépend de comment il est utilisé.

En Hébreu, le mot « sol » se dit « Adâmah » ; or là est l'origine d'un autre mot : « Adam » le premier homme. Ainsi, déjà dans les écritures saintes est exprimée la continuité entre l'homme et le sol. De même au Japon, il existe des temples shintoïstes dédiés au sol. Le signe japonais « sol » symbolise la plante enracinée. Cette vénération du sol témoigne encore de la conscience de l'importance de son mystère : le sol est donc la racine même de l'humanité.

### • D'où vient le sol ?

Pour les croyants, c'est Dieu qui a créé la terre. Mais tout comme la mangue qui provient du manguier ou la banane qui provient du bananier le sol a aussi une origine. Les savants ont pu montrer que se sont les roches (par exemple le granite est une roche) qui ont enfanté le sol. Mais comment ? Ils ont montré que les roches qui subissent la chaleur du soleil, les vents, les pluies et l'influence des racines des arbres finissent par pourrir. La pourriture des roches donnent les sols.

### • Qu'est-ce qu'il y a dans le sol ?

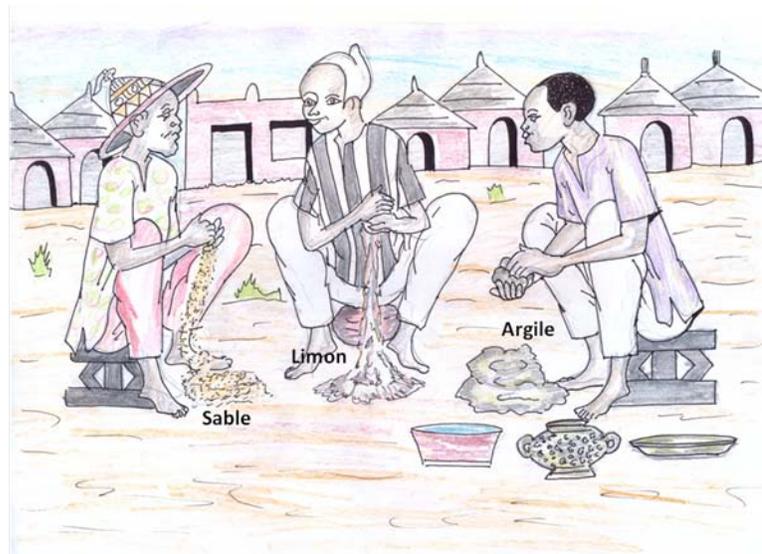
Le sol contient:

- De éléments solides qu'on appelle aussi « éléments minéraux » (exemple : le sable);
- De l'eau ;
- De l'air ;
- Les êtres vivants comme les microbes, les petits animaux qui vivent dans le sol ainsi que les pourritures des êtres vivants qui meurent qu'on appelle aussi « matière organique ».

## - Les éléments solides ou élément minéraux

Quand on regarde le sol à vue d'œil, les éléments minéraux semblent représenter la totalité du sol. Mais ils représentent en réalité la moitié du volume du sol. Ces différents minéraux existent en différentes tailles. Des plus gros au plus petit on distingue les sables, les limons et l'argile.

Par exemple, le sable fait du bruit à l'oreille quand on le frotte entre les deux doigts. Il passe facilement entre les doigts et n'est pas élastique. Le limon est général salissant. L'argile est collante et élastique quand elle est humide.



La quantité du sable, de limon et d'argile d'un sol est appelé sa « **texture** ».

La manière dont les sables, les limons et l'argile s'entassent, s'assemblent dans le sol est appelé sa « **structure** ». Si par exemple dans un sol, il y a plus d'argile que de sable, l'entassement des éléments minéraux va être différent d'un sol qui a plus de sable.

Les différents types d'entassement va donner des capacités différents aux sols de garder l'eau, de laisser circuler l'air, de laisser pénétrer les racines, etc.

Les animaux qui vivent aussi dans le sol vont aussi influencer cette capacité du sol.

Cette capacité du sol est appelé ses « **propriétés physiques** ».

## - L'eau

L'eau occupe généralement le quart du volume du sol même si sa quantité peut varier grandement dans le temps et d'un endroit en un autre. Avec très peu d'eau, le sol se dessèche et se fendille ; avec beaucoup d'eau, le sol devient boueux.

## - L'air

Quand on verse de l'eau sur le sol, on peut observer des bulles. C'est l'air contenu dans le sol qui s'échappe pour laisser la place à l'eau. L'air dans un sol dont l'assemblage des éléments minéraux permet d'avoir des vides, occupe un autre quart du volume du sol et contient de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote et du carbone en plusieurs formes gazeuses. Plus le sol contient beaucoup de vides, plus sa capacité de rétention de l'eau et de l'air est bénéfique aux plantes et aux êtres vivants qui vivent dans le sol.

## - La matière organique

La matière organique occupe une petite partie du volume du sol habituellement compris entre 1 et 6 %. Cette quatrième composante du sol comprend :

- La matière organique non vivante : elle provient de la croissance, de la reproduction, de la mort et de la pourriture des plantes, des animaux, des microbes. Quand cette matière organique est bien décomposée, il donne une couleur noirâtre au sol et on ne peut plus la séparer des éléments minéraux. La matière organique est devenue de **l'humus**.
- Les petits animaux et des microbes qui constituent les êtres vivants du sol.
- Les racines des plantes ;

Les petits animaux, les microbes et les racines des plantes activement permettent au sol d'être habitable pour la croissance des plantes et des autres espèces.

Le sol est également caractérisé par la nature de ses couches et comment ces couches sont entassées. En fonction de l'entassement des couches le comportement et la fertilité du sol peut être différent.

### • Comment le sol est organisé ?

Les couches les plus importantes d'un sol de bas en haut sont :

A la base du sol se trouve la roche qui a donné naissance au sol. Cette couche qu'on appelle R n'est pas très utile pour les plantes. Quand elle est plus ou moins en surface, elle peut constituer un obstacle pour la pénétration des racines.

Au dessus de la roche est la couche C. C'est la couche qui s'est développée directement sur la roche mère. Cette couche C demeure le moins friable et a connu le moins de changement comparé à tous les autres couches car possédant encore beaucoup ressemblance avec la roche mère. Du fait qu'elle est en profondeur, cette couche accumule des éléments qui sont facilement solubles en provenance des couches superficielles comme le calcium, les sels etc. Quand le degré de transformation de cette couche est avancé, les éléments nutritifs qu'elle contient peuvent être accessibles aux plantes. Quand elle est

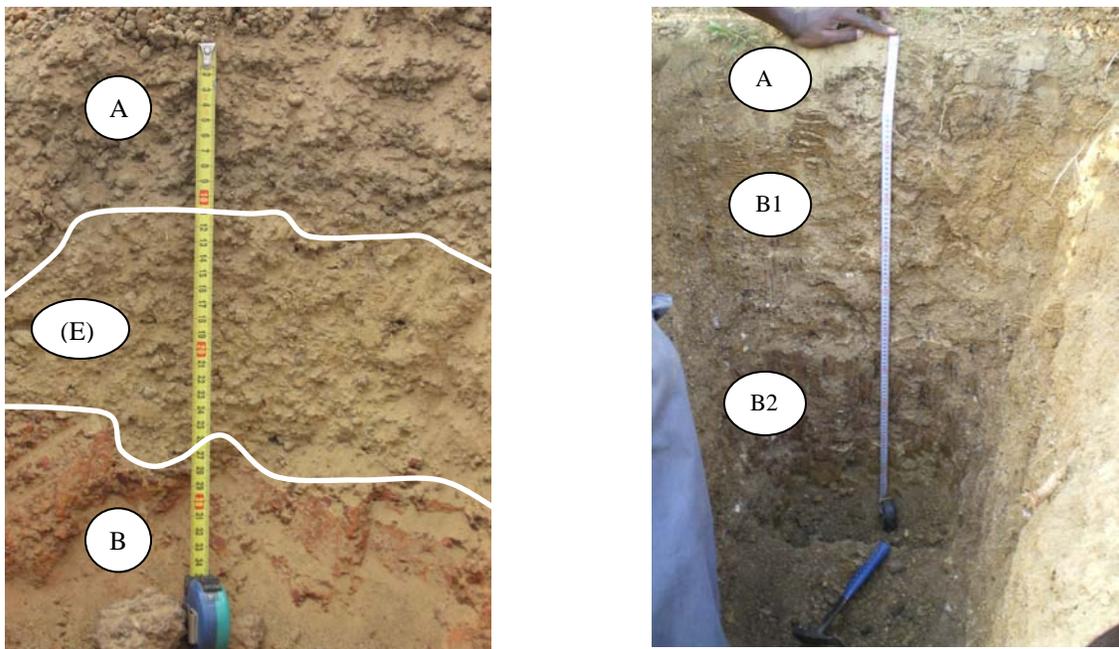
encore dure, et superficielle elle peut également constituer un obstacle pour la pénétration des racines et la circulation de l'eau.

La couche qui se trouve au dessus de la couche C est appelé couche B. Cette couche se compose éléments libérés par la roche mère et des matériaux qui proviennent des couches supérieures y incluent de l'humus. Les couches B sont des couches d'accumulation de matières comme les argiles, le fer, etc. (Planche 1). L'utilité des couches B pour les plantes dépendent du type de produits accumulés et de la profondeur de ces couches. L'accumulation des éléments comme le fer peut constituer un obstacle important à la pénétration des racines (latérite) (Planche 1), à la circulation de l'eau et à l'accès aux éléments nutritifs par la plante.

La couche qui est en surface est appelée couche A (Planche 1). Elle contient généralement plus de matière organique qui lui donne une couleur plus sombre. Si la couche A est épaisse, cela veut dire qu'on a un sol. Les éléments contenus dans la couche A se subit des transformations en fonction du milieu et certains éléments peuvent être entraînés par l'eau et se retrouver dans les couches en profondeur.

Entre la couche A et la couche B, il peut se constituer une autre couche qu'on appelle la couche E. Cette couche est une zone de perte de matière notamment des argiles, du fer, de l'Aluminium. Sa couleur est généralement plus claire que la couche A et la couche B.

Dans les zones de forêt, une couche O peut se constituer au dessus de la couche A et se compose de racines de plantes et des débris de feuilles et de bois morts. La plus grande partie de cette couche n'est pas décomposé et l'origine des différentes matières organiques sont faciles à distinguer.



**Planche 1 : A gauche :** Sol à couche B d'accumulation de fer se développant en cuirasse ferrugineuse constituant un obstacle pour les racines. **A droite :** sol profond à couches B1 d'accumulation d'argile et B2 d'accumulation d'argile et de calcaire (taches blanches). A gauche, au milieu, début de formation d'une horizon E.

## 2 : Importance du sol et ses fonctions

### • Importance du sol

Dans le monde entier, tout le monde utilise le sol, chacune à sa manière : agriculture, élevage, forêts, minerais (fer, aluminium, argiles, or, etc.), matériaux de construction, fondations et soubassement des maisons, des routes, épandage des déchets agricoles, industriels, urbains, cimetières, etc. Le sol fait partie du quotidien des hommes. Pour les sociétés humaines, le sol est source de vie et la vie s'y termine : par l'intermédiaire des plantes et des animaux, le sol nourrit les hommes ; la santé et leur vie en dépendent.

Aucune société dans le monde ne s'est développée sans une utilisation des sols. Comme la population augmente, quand l'intensité d'utilisation des sols dépasse les capacités des sols alors le sol se dégrade, n'arrive plus à produire suffisamment. Partout dans le monde, on a beaucoup d'exemples de sols gravement modifiés, gravement blessés, suite à leur exploitation.

La bonne gestion de la fertilité des sols est donc nécessaire pour garantir aux producteurs une utilisation durable des sols car les sols constituent l'essentiel de la vie des populations rurales car elles tirent leurs richesses et leur nourriture de la terre.

### • Les fonctions du sol

Les fonctions du sol sont multiples et justifient notre attention. Par rapport à la vie et à la santé, le sol remplit quatre fonctions principales :

#### - La fonction biologique ou entretien de la vie

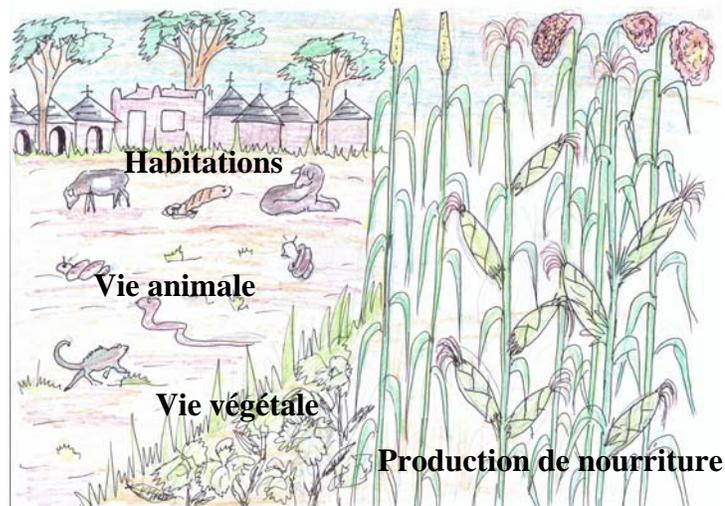
Dans le sol on trouve de nombreuses espèces animales et végétales. Pour certains insectes, pour devenir adulte, leurs larves passent d'abord dans le sol. L'homme lui-même doit soit existence au sol.

#### - La fonction alimentaire ou fourniture de nourriture

Tous les éléments nécessaires pour nourriture l'homme sont tirés du sol, par exemple comme le Calcium qui constitue l'essentiel de nos os, le fer qui est un constituant essentiel du sang etc. Il accumule, puis met à la disposition des plantes et des animaux, la majeure partie de ces éléments, y compris l'air, l'eau. Le sol joue, en somme, le rôle de garde manger qui, selon les cas, est plus ou moins grand et plus ou moins rempli ; de même il retient l'eau qu'il rend aux plantes en fonctions de leurs besoins. Au total, une grande partie de ce que les plantes mangent, boivent, respirent, vient du sol ; et pas seulement des 10 ou 20 cm supérieurs du sol : les plantes utilisent, directement ou indirectement, la totalité de l'épaisseur du sol, jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. L'homme qui se nourrit des plantes et des animaux, est donc bien totalement dépendant des sols.

## - La fonction matériau

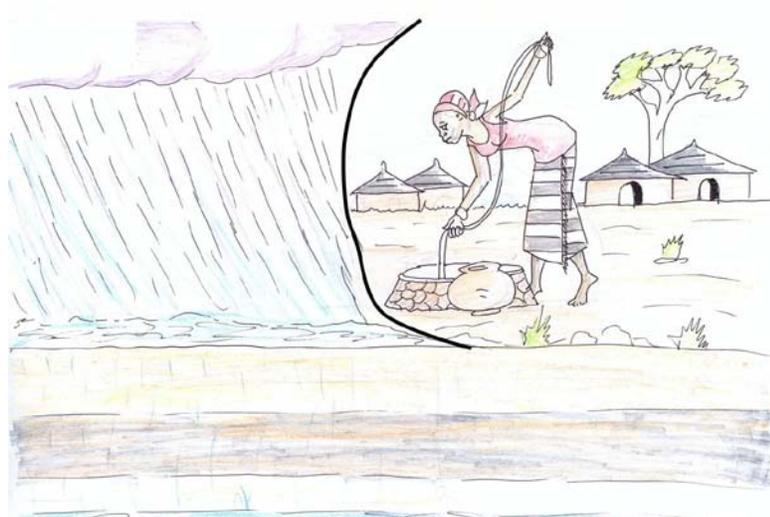
Souvent, le sol sert de matériau de constructions (arènes, cuirasses ferrugineuses, croûtes calcaires, argiles, etc.). Il est à la fois support et matériaux de bâtiments, de routes, de barrages, de canaux, de poteries, etc. Beaucoup de minerais viennent du sol : bauxite (aluminium, fer, or, etc.). Le sol est donc essentiel aux hommes.



Les hommes utilisent le sol pour construire des maisons, le sol abrite plusieurs animaux, supporte les arbres permet aux hommes de cultiver pour avoir leur nourriture

## - La fonction filtre

Quand il pleut, l'eau pénètre dans le sol. C'est grâce aux petits trous qui sont dans le sol que le sol filtre l'eau. L'eau des puits, des sources, des rivières a préalablement traversé le sol ; les petits trous dans le sol favorisent la constitution de l'eau potable dans les puits. L'eau, en le traversant le sol, se transforme ; la qualité des eaux dépend de la nature des sols.



Quand il pleut l'eau qui rentre dans le sol est filtrée par les couches du sol et permet aux hommes d'avoir de l'eau potable quand ils creusent les puits.

### 3. Définition de la fertilité du sol ?

Quand un sol peut fournir suffisamment de nourriture, de l'eau et de l'oxygène aux plantes, on dit qu'il est fertile.

En, effet au niveau physique, un sol fertile doit pouvoir assurer une bonne implantation des plantes c'est à dire, permettre aux racines des plantes de bien s'enraciner. Un bon sol doit pouvoir aussi permettre aux racines de respirer et doit pouvoir aussi garder suffisamment l'humidité nécessaire pour la croissance des plantes. La quantité de sable, de limon, d'argile et de matière organique et de la porosité conditionnent les aptitudes physiques des sols.

Un bon sol doit aussi pouvoir fournir suffisamment de la nourriture pour alimenter les plantes en nutriments sans quel cela nuisent aux plantes. On parle de fertilité chimique. Les quantités de nutriments qui circulent dans un système sol-plante dépendent de la quantité de chaque élément présent dans le sol.

La fertilité d'un sol prend aussi en compte sa capacité à entretenir la vie. On parle de fertilité biologique. Cela se remarque dans l'abondance et la diversité des animaux du sol et de la capacité de ces organismes à assurer la décomposition de la matière organique, à aérer le sol et à contribuer à la mise à disposition des éléments nutritifs aux plantes ainsi que la suppression des maladies.

Caractériser la fertilité d'un sol par seulement sa capacité à produire reste donc incomplète. En effet, la capacité de production dépend de plusieurs facteurs comme la technicité du producteur ainsi que des pratiques qui ont été appliquées à ce sol. En plus, la fertilité du sol doit être également prise dans son contexte climatique.



Maïs cultivé sur deux types de sol. A gauche, sol fertile permettant un bon développement du maïs, à droite sol pauvre entraînant une production médiocre du maïs.

## 4. La dégradation des sols

### • Qu'est-ce qui favorise la dégradation des sols ?

Avant de parler des causes de dégradation des sols, il est important de savoir les éléments qui ne sont pas les causes mais qui favorisent la dégradation des sols : On distingue trois éléments.

#### - Les conditions de l'environnement

Les conditions environnementales avec les éléments du climat comme la pluviométrie, la température, les vents, le rythme des saisons mais aussi la nature de la végétation, la position topographique, la pente en place sont des éléments qui favorisent la dégradation des sols. Ces conditions affectent également indirectement la dégradation des sols par leurs effets sur la qualité et la résilience du sol.

#### - La qualité même du sol

La qualité intrinsèque d'un sol est liée à la nature de la roche mère qui lui a donné naissance imprimant donc sa texture, sa structure, sa porosité ainsi que sa fertilité chimique et biologique. Cette qualité du sol est un facteur qui expose ou pas le sol à la dégradation. La qualité du sol est affectée par les conditions environnementales et les différentes manières d'exploiter le sol.

#### - La capacité du sol à se guérir

La capacité d'un sol à se guérir ou encore sa résilience se définit comme sa capacité à se restaurer après avoir subi des dommages suites à des perturbations venues de l'extérieur; résultat des effets physiques, biologiques et chimiques combinés. La résilience d'un sol lui permet d'équilibrer les processus de dégradation et de restauration qui affectent ce sol. Elle est une adaptation évolutive du sol en réponse à des perturbations. La situation où la perturbation (nature, fréquence, intensité) peut conduire à un état au delà duquel le retour à l'état de départ n'est plus possible dans un intervalle de temps convenable: le seuil d'irréversibilité. La résilience du sol a donc un impact direct sur sa dégradation. Elle est affectée par les modes de gestion et les conditions environnementales.

### • Quelles sont les causes de la dégradation des sols ?

Les causes s'entendent les conditions directes qui entraînent la dégradation des sols. Par ses activités, l'homme transforme le milieu où il vit, dont il vit. Les causes de la dégradation des sols peuvent se résumer en la mauvaise **gestion des sols**. Cette mauvaise gestion peut être de nature **technique** comme les mauvaises pratiques agricoles, la déforestation, les systèmes de culture et d'élevage inadaptés, etc. La mauvaise gestion des sols peut être également de nature **socio-économique** comme la faiblesse des capacités institutionnelles, la mauvaise réglementation sur la gestion du foncier, la pauvreté ou le marché qui peuvent influencer profondément la gestion des sols. Enfin, cette mauvaise gestion peut être de nature **politique**. Cela peut englober les situations d'instabilité politique (guerre civile, guerre entre états, disputes de leadership au niveau local, etc.) où les règles de gestion des ressources naturelles ne sont plus respectées mais également concerner les politiques inadaptées de gestion des ressources naturelles et particulièrement des sols.

## • **Processus et conséquences de la dégradation des sols**

La conséquence ultime de la dégradation des sols est la perte totale de sa fertilité et de la biodiversité.

Le processus de dégradation des sols peut être de nature physique à savoir :

- La fragilisation des structures (le sol s'effrite facilement et sa cohésion diminue);
- L'encroûtement (les couches superficielles deviennent imperméables à l'eau);
- Le tassement et le compactage (l'utilisation d'engins lourds pour travailler le sol, ou le travail du sol quand il est trop humide entraîne un tassement qui ne favorise pas la pénétration des racines;
- L'érosion des sols (le facilement est emporté par l'eau de ruissellement et par le vent)

Le processus de la dégradation des sols peut être de nature chimique. On peut citer :

- L'acidification ;
- La salinisation (on retrouve beaucoup de sels dans les sols);
- La diminution de la capacité de stockage des nutriments (CEC) ;
- Le lessivage et la volatilisation (l'eau entraîne facilement les particules fines du sol en bas ainsi que des nutriments ; la volatilisation est évaporation sous forme de gaz de certains éléments nutritifs comme l'azote);
- L'appauvrissement des sols en éléments minéraux.

Le processus de la dégradation des sols peut être biologique à savoir :

- La réduction de la biodiversité (le nombre d'espèces végétales et animales diminue);
- La diminution de la matière organique du sol.

## • **Conséquences bio-physiques de la dégradation des sols**

Au niveau bio-physique la dégradation des sols :

- Modifie, détruit les structures et les porosités ;
- Perturbe le cheminement des racines ;
- Change les régimes hydriques et modifient le sens des circulations qui deviennent de plus en plus latérales ;
- Accentue les ruissellements superficiels;
- Réduit l'alimentation des puits et des sources;
- Augmente les fréquences des crues brutales des rivières;
- Déclenche des entraînements nouveaux de matière, des appauvrissements de surface et en profondeur ;
- Modifie le sol épurateur en sol pollueur des eaux, des plantes, des animaux, des hommes ;
- Réduise ou annule les capacités du sol à produire c'est-à-dire de jouer sa fonction alimentaire.

Au niveau socio-économique, les agriculteurs les plus pauvres ne savent pas, ne peuvent pas réagir face à la baisse de productivité d'un sol ou face à la nécessité, pour survivre, d'augmenter la productivité. Ces agriculteurs sont, progressivement, éliminés ; partout dans le monde, bien des échecs agricoles, bien des exodes ruraux (vers les villes ou vers d'autres terres) résultent, partiellement, de la dégradation des sols.

Les agriculteurs les plus riches pensent qu'en utilisant beaucoup d'engrais, de pesticides, de tracteurs, etc. ils vont pouvoir résoudre le problème. Malheureusement, tout est utilisé n'importe comment, sous la pression des vendeurs d'intrants, des banquiers, etc. Mais, cette baisse de la fertilité avec la dégradation des sols ne peut pas être surmontée que par plus d'engrais, plus de pesticides.

A cela il faut ajouter la dégradation de l'environnement engendrée par cette agriculture de plus en plus artificielle (une agriculture de produits chimiques): pollution chimique des eaux, appauvrissements biologiques des milieux terrestres et aquatiques, etc.



**Quand le sol devient nu, cela accélère sa dégradation par l'eau, par le vent. Les rayons du soleil qui tapent directement le sol favorise l'évaporation de l'eau, donc son assèchement. Plus rien de pousse, et le sol fini par être inexploitable.**

## 5. Les nutriments des plantes

### • Quels sont les nutriments essentiels pour les plantes ?

Les plantes ont besoin d'air, d'eau, de lumière et de nutriments pour leur croissance. On peut assez facilement influencer sur certains de ces besoins. Cependant, l'agriculteur ne peut agir que sur les quantités de nutriments et parfois d'eau. La nutrition des plantes peut facilement être améliorée en apportant des nutriments nécessaires.

- Les plantes ont besoin de 16 nutriments pour leur croissance. Le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont fournis par l'air et l'eau. Les 13 autres éléments sont apportés par le sol. Ils sont classés en éléments majeurs (macro-éléments) et mineurs (ou oligo-éléments), compte tenu des quantités nécessaires. De plus, certaines plantes exigent des nutriments comme le sodium (Na), le silicium, ou le cobalt.
- Les macro-éléments sont au nombre de six. Leurs teneurs minimales dans la plante sont de 2 à 30 g. On distingue trois éléments majeurs et 3 éléments secondaires. Les éléments majeurs sont nécessaires à presque à toutes les cultures et dans presque tous les sols. Ce sont : N (l'azote), P (phosphore) et K (potassium).
  - L'azote est le constituant fondamental des protéines et de la chlorophylle (pigment donnant leur couleur verte aux plantes). Joue un rôle de premier plan dans la croissance des plantes. L'azote sert aussi de nourriture aux micro-organismes du sol.
  - Le phosphore joue un rôle important dans la croissance des racines, l'implantation des jeunes plants, la floraison, la production et le mûrissement des fruits, la photosynthèse, la respiration et la croissance générale de la plante.
  - Le potassium circule dans toutes les parties la plante. Il assure le transport des sucres, la pénétration de l'eau dans les tissus de la plante et la rigidité des tiges. Il augmente aussi la résistance générale de la plante (froid, maladies, insectes, etc.). Il contribue également à l'initiation des boutons floraux (fleurs) et à la fructification (initiation des fruits). Le potassium joue un rôle important dans la production des plantes à racines (tubercules, etc.).
- Les éléments secondaires sont nécessaires pour certaines cultures sur certains sols. Ce sont : S (soufre), Ca (Calcium), Mg (Magnésium).
- Les oligo-éléments au nombre de sept (7) pour lesquels les teneurs critiques dans les plantes sont de 0,3-50 mg de matière sèche. Parmi les sept, cinq sont des métaux et deux sont des non métaux. Les métaux sont : Fe (Fer), Mn (Manganèse), Zn (Zinc), Cu (Cuivre), Mo (Molybdène).
- Les non métaux sont : Cl (Chlore), B (Bore).

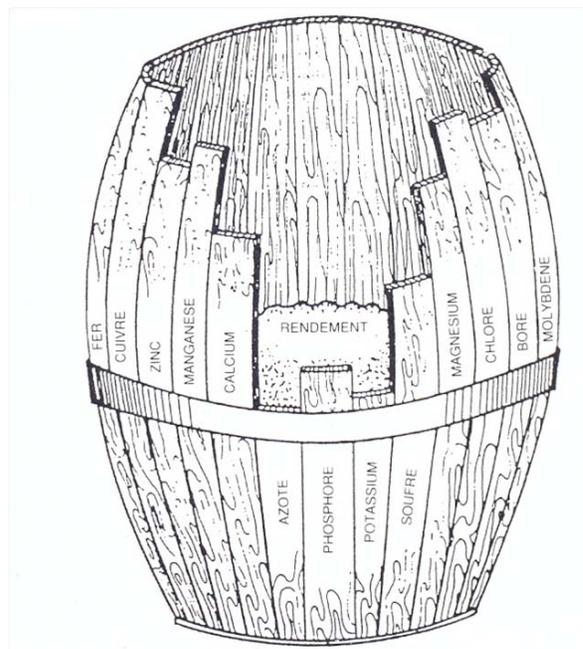
- Quelques autres nutriments minéraux ont un effet bénéfique sur certaines plantes, mais ne sont pas essentiels. Ce sont :
  - Na (sodium) : peut remplacer K pour certaines cultures ;
  - Si (Silicium) : pour renforcer par exemple les tiges de céréales pour qu'elle résiste à la verse (à l'action du vent) ;
  - Co (Cobalt) : surtout pour renforcer la fixation de l'azote par les légumineuses (arachide, pois, haricot, etc.);
  - Cl (Chlore) : utiles pour certaines cultures en quantités plus grandes que nécessaire, pour la régulation osmotique et une résistance plus grande à certains champignons ;
  - Al (Aluminium) : peut être utile pour certaines plantes comme le théier.

● **Y a-t-il une relation entre les nutriments et les rendements ?**

L'influence des quantités des nutriments essentiels disponibles sur la croissance est illustrée par la loi du minimum de Liebig (Figure 2). Ce modèle de croissance ne s'applique que si les nutriments limitent la croissance, c'est-à-dire lorsque d'autres facteurs comme l'humidité disponible et la conduite de la culture ne la limitent pas.

Les douves représentent les différents nutriments nécessaires aux plantes. Le rendement d'une culture est déterminé par la douve la plus courte qui représente le nutriment le plus limitant. Dans la Figure 4, c'est l'azote. Les plantes n'ont pas besoin des mêmes quantités de tous les nutriments et la longueur des douves indique les éléments qui limitent la croissance des plantes le plus souvent.

Le niveau de rendement ne peut être relevé qu'en augmentant l'apport du nutriment (accroissement de la longueur de la douve). Le rendement peut progresser jusqu'à un autre niveau pour lequel un autre nutriment devient limitant.

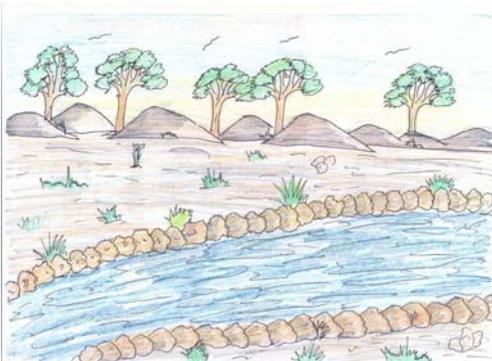


**Figure 2 :** Loi du minimum de Liebig. Les rendements des cultures ne peuvent être supérieurs au niveau autorisé par le nutriment le plus limitant.

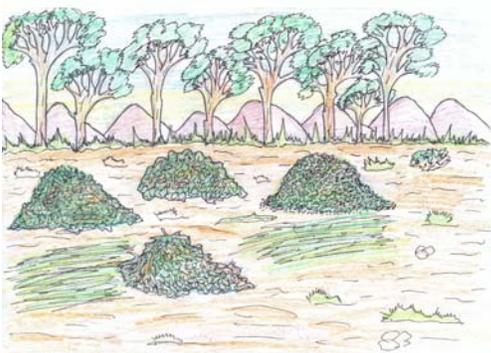
## 6. Qu'est-ce que la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS)?

- La gestion intégrée de la fertilité des sols est une approche qui combine l'utilisation des engrais et des amendements pour améliorer les propriétés physiques et biologiques des sols, reconstituer le stock des éléments nutritifs et accroître les rendements des cultures.
- Elle intègre toutes les pratiques de gestion de la fertilité des sols localement adaptées et appropriables qui optimisent l'efficacité des engrais, des ressources organiques et permettant une utilisation durable des sols.

L'amélioration de la santé des sols est essentiel pour renverser la tendance négative de la production agricole et des revenus agricoles. La gestion de la matière organique et l'utilisation judicieuse des engrais, **mais jamais seul**, contribue à résoudre les problèmes liés à la fertilité des sols au niveau des producteurs.



Conserver et protéger les sols est le premier pas dans la gestion intégrée de la fertilité des sols



L'utilisation de la matière organique est essentielle pour une gestion intégrée de la fertilité des sols réussie



L'utilisation des engrais permettent d'augmenter le niveau des rendements. Quand les conditions de conservation, d'utilisation de la matière organique et de semences améliorées qui valorise les nutriments ne sont pas remplies, les engrais sont faiblement rentabilisés.

## 7. Pourquoi la gestion intégrée de la fertilité des sols ?

Il n'y a pas de doute que l'application des engrais seul peut induire une amélioration significative des rendements des cultures mais avec une faible efficacité qui est trop coûteuse pour des producteurs pauvres et non durable d'un point de vue environnemental.

Ainsi, la gestion optimale des sols demande une gestion optimale des ressources organiques qui agissent comme amendements et sources de nutriments et des intrants minéraux et de la matière organique même du sol. Chacune de ces ressources contribue séparément mais mieux encore, ces ressources interagissent entre elles et génèrent des bénéfices supplémentaires en terme de rendement supplémentaire, d'amélioration de l'état de la fertilité du sol et / ou une réduction des pertes des nutriments dans l'environnement.

La GIFS intègre l'utilisation conjointe des ressources organiques et minérales, les pratiques culturales appropriées et la dimension socio-économique à savoir une adaptation locale des approches en tenant compte des capacités et de l'environnement économique des acteurs en valorisant les bénéfices de chaque composante. Ainsi :

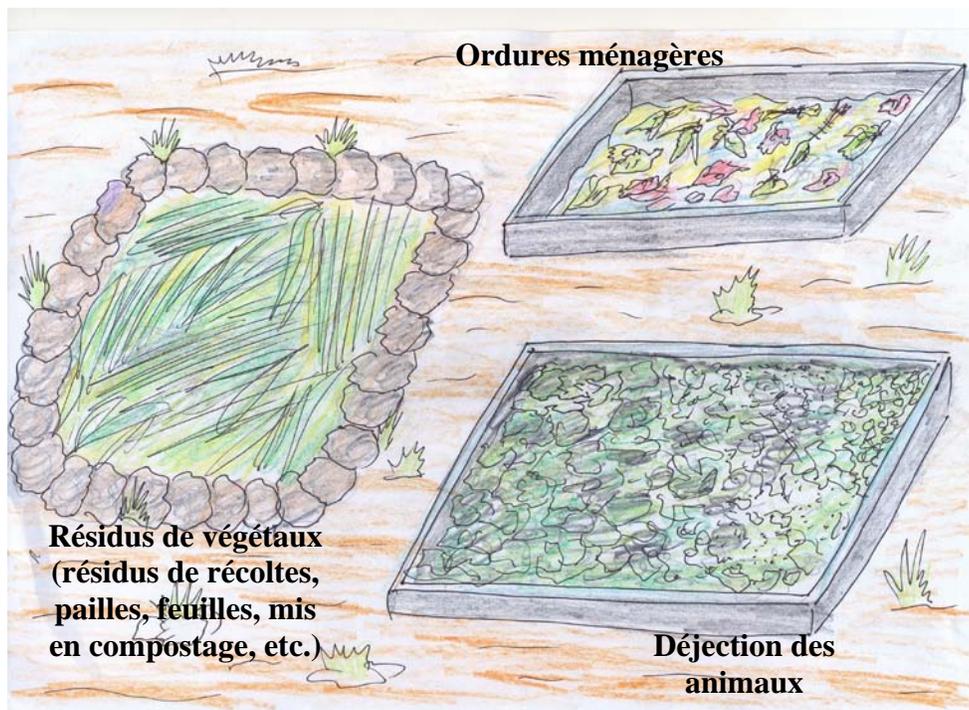
- Les ressources organiques en plus de leur rôle de pourvoyeur de nutriments, amendent les sols c'est-à-dire qu'elles améliorent les qualités du sol créant ainsi les conditions favorables pour le développement des plantes.
- Les engrais minéraux sont des concentrations d'éléments nutritifs bien précis des plantes tandis que les ressources organiques comme le fumier, les résidus de récoltes ou le compost contiennent une gamme variée d'éléments nutritifs des plantes y compris les éléments qui même à faible dose sont essentiels pour la croissance des plantes (oligo-éléments) ;
- Dans les conditions d'agriculture familiale ou d'agriculture à petite échelle, les producteurs pauvres n'ont pas les capacités financières pour se procurer suffisamment d'engrais pour leurs exploitations ;
- Dans certaines conditions, l'insuffisance de la matière organique en quantité peut limiter son utilisation au niveau des exploitations agricoles ;
- L'utilisation conjointe des ressources organiques peut entraîner des synergies et permettre une valeur ajoutée au niveau des rendements et une réduction des pertes préjudiciables pour l'environnement. Cela veut dire que les rendements et avantages obtenus en combinant les deux sources de nutriments sont plus élevés que la somme des rendements et avantages des deux intrants appliqués séparément.
- Les technologies sont choisies en fonction de leur adaptabilité locale, des capacités et de l'environnement économique des acteurs.

## Deuxième Partie : Appliquer la GIFS

### 2.1 Les amendements organiques

- **Les types d'amendements organiques**

Les amendements organiques se composent des, résidus de récolte ou de défrichage (paille, feuilles, broussaille, etc.), des déjections des animaux (bouses de vaches, fientes de poule, fumier, purin, lisier, etc.), des composts (mélanges de résidus végétaux et animaux fermentés), des engrais verts (cultures de légumineuses ou autres plantes incorporées dans le sol), de sous produits agroalimentaires (mélasses, tourteaux, etc.), de déchets urbains et ménagers (ordures ménagères, les déchets organiques solides urbains, etc.).



- **Les avantages de l'utilisation des amendements**

« L'agriculture sans utilisation de matière organique n'est qu'une comédie ». Ce proverbe chinois dépeint bien l'importance qui doit être portée à la matière organique. La matière organique est essentielle à la production agricole et la régulation du fonctionnement de plusieurs mécanismes environnementaux :

- Les amendements organiques une fois incorporés dans le sol constituent permettent la constitution de l'humus. Elles viennent donc augmenter le stock de matière organique du sol. Cette matière organique du sol va s'associer aux argiles pour renforcer la structure du sol et constituer le grenier ou le garde manger du sol (complexe absorbant). Ainsi, le sol peut mieux stocker les nutriments évitant ainsi leurs pertes, l'eau et prévenir l'érosion.

- Les amendements organiques sont sources de nutriments pour les plantes : La décomposition de la matière organique après son incorporation dans le sol libère les éléments nutritifs des plantes. A la différence des engrais, les éléments nutritifs contenus dans les fertilisants organiques bien qu'en faible proportion sont très variés et permettent de satisfaire des besoins spécifiques des plantes.
- Les amendements organiques incorporés au sol sont sources d'énergie pour la vie du sol (microbes, animaux du sol) leur permettant d'accomplir les processus biologiques.
- Les amendements organiques permettent la mise à disposition facile de certains nutriments comme le phosphore qui sont facilement piégés par les oxydes de fer et d'aluminium.
- La suppression de la toxicité : La matière organique par des mécanismes physico-chimiques fixe les molécules toxiques évitant donc une large contamination dans les autres compartiments du sol.
- Les amendements organiques sont difficilement remplaçables
- Les amendements organiques peuvent être mobilisés par les producteurs pauvres qui n'ont pas beaucoup de ressources financières.

- **Contraintes liées à l'utilisation des ressources organiques comme amendements**

- Parfois ils ne sont pas disponibles en quantité suffisante pour l'agriculteur ;
- La fabrication d'amendements organiques de qualité demande parfois une main d'œuvre importante et de l'eau ;
- Leur volume demande des moyens de transport appropriés.

## 2.2 Conserver l'eau et les sols

### • Importance des mesures de conservation des eaux et des sols

Il est établi que le sol perdu avec l'érosion est environ dix fois supérieur au processus naturel de formation des sols et que la vitesse de la déforestation est 30 fois plus élevée que la planification de reforestation.

Les mesures de conservation des eaux et des sols ont pour rôle de réduire la dégradation des sols et de réhabiliter les terres dégradées.

L'objectif visé est d'augmenter l'infiltration de l'eau dans la parcelle et la réduction de l'érosion hydrique et éolienne des sols. Par leur action, ces mesures permettent aux sols de stocker l'eau et de permettre aux plantes de résister aux poches de sécheresse et de mieux valoriser les nutriments.

### • Processus de conservation des eaux et des sols

L'érosion hydrique (par l'eau) et éolienne (par le vent) des sols est le stade ultime d'une structure du sol fragilisée qui est facilement emporté par l'eau ou le vent. Le ruissellement intervient quand les quantités d'eau qui tombent dépassent les capacités d'infiltration dans le sol. Dans un sol à structure fragilisée, et exposé aux intempéries, l'éclatement des mottes du sol par les gouttes d'eau de pluie est le favorise l'érosion par l'eau. Partant des mécanismes de formation de ruissellement, on déduit alors deux manières par lesquelles le ruissellement peut être amoindri :

- En augmentant la capacité de stockage en eau de la surface du sol par l'accroissement de sa rugosité (éviter que le sol soit lisse en surface) ;
- En augmentant les capacités d'infiltration de l'eau dans le sol ce qui revient à l'amélioration entre autres de la structure du sol.

### • Les différentes mesures de conservation des eaux et des sols

Plusieurs mesures du type mécanique où biologique permettent de contribuer efficacement à la conservation des eaux et des sols. Il s'agit notamment :

- De l'installation de plante de couverture ou une bonne gestion de résidus de récoltes (paillage ou mulching) peuvent permettre une réduction des ruissellements ;
- Des mesures physiques/mécaniques peuvent être aussi utilisées pour réduire les ruissellements. Il s'agit notamment de l'installation de barrières de natures diverses le long de courbes de niveau pour créer des obstacles aux ruissellements et donner plus de temps à l'eau de s'infiltrer. On peut citer les diguettes en terre, les cordons pierreux, bandes enherbées, digues filtrantes, etc. (Planche 2);
- Les différentes formes de travail du sol (scarifiage, labour, sous-solage, Zai, les demi-lunes, etc.) ont été évaluées et trouvées efficaces pour augmenter l'infiltration et la détention superficielle de l'eau et donc pour réduire les pertes d'eau par ruissellement ;

### • Impact des mesures de conservation des eaux et des sols

L'application des mesures de conservation des eaux et des sols et leurs impacts sur la réduction des pertes en sol et en nutriments ont font l'objet de plusieurs études. La faiblesse de la fertilité même du sol combiné avec l'encroûtement et les pluies agressives fait que plus 40 % des sols dans la zone

Sahélienne d’Afrique sont très sensibles au ruissellement avec la perte de un à huit tonnes de sol perdu par an et par hectare. Les mesures de conservation des eaux et des sols permettent de réduire le ruissellement de 70 % et les pertes en sol de 80 %. Les pertes en nutriments et en matière organique sont considérablement réduites avec une amélioration du stockage de l’eau du sol. Au niveau de la production céréalière, les mesures de conservation des eaux et des sols permettent d’accroître les rendements en année pluviométrique déficitaire de 100 à 300 %.

La combinaison de l’utilisation combinée de la matière organique (compost), de l’engrais avec les mesures de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées) est essentielle à une meilleure valorisation de l’eau et des nutriments par les plantes.

La contrainte principale de la mise en œuvre des mesures de conservations des eaux et des sols sont surtout la main d’œuvre et très souvent les coûts de transport pour la mobilisation des matériaux pour la construction des barrières physiques.



**Planche 2** : En haut à gauche : digue filtrante ; En bas à gauche : cordons pierreux ; En haut à droite : bande enherbée à *Andropogon gayanus* ; En bas à droite : application du Zaï dans la production du mil.

## 2.3 Promouvoir les processus biologiques des sols

### - Apports et valorisation des nutriments par les microorganismes

#### • Composition et fonction de la vie du sol

Les organismes du sol ou vie du sol (faune et flore) jouent un rôle très déterminant dans le développement et le maintien des caractères physiques et chimiques des sols.

Les organismes du sol sont responsables de plusieurs processus biologiques qui incluent:

- La décomposition de la matière organique ;
- L'apport et le recyclage des nutriments ;
- La bioturbation (aération du sol par les galeries et habitats);
- La suppression des maladies du sol.

Les services fournis par les organismes du sol peuvent être utilisés pour résoudre des problèmes qui se posent à l'environnement, sécuriser la production agricole et réduire l'extension de la dégradation des sols.

Suivant leur taille les organismes du sol sont classés en:

- Microflore (exemple: champignons)
- Microfaune (exemple: bactéries)
- Mesofaune (exemple: collembole)
- Macrofaune (exemple: vers de terre, termites)

Suivant les fonctions, trois groupes peuvent être distingués:

- La population racinaire (organismes du sol affectant positivement ou négativement la croissance des plantes au niveau des racines: mycorhize, bactéries symbiotiques, nématodes) ;
- Les décomposeurs: comprend la microflore, la micro/mesofaune régulant plusieurs activités des micro-organismes et des prédateurs de ces micro-organismes. Ce groupe regroupe également certains meso/macrofaune qui broient et incorporent la litière dans le sol sans une réelle modification physique du sol ;
- Les ingénieurs de l'écosystème: comprend la meso et la macro-faune qui créent des habitats pour les autres organismes en retravaillant le sol. Les vers de terre, les termites les fourmis sont considérés comme les ingénieurs de l'écosystème les plus importants à cause de la grande influence de leurs activités sur les autres espèces ;



Vers de terre



Termites

## • La contribution des légumineuses

Certains arbres, arbustes, herbacées ont la capacité de fixer l'azote de l'air et de le rendre disponible aux cultures par une association gagnante-gagnante avec des microbes spéciaux du sol notamment des bactéries. Cette association se remarque physiquement par la présence de nodosités sur les racines de ces plantes : la plante offre ses racines comme habitat, et les microbes fixent l'azote de l'air (de la nourriture) pour la plante. Les plantes qui ont ce pouvoir sont appelées des **légumineuses** fixatrices d'azote.



Légumineuses fixatrices d'azote : A gauche parcelle de soja ; A droite parcelle de haricot

Les données montrent qu'il est possible à travers les plantes légumineuses de contribuer à hauteur de 15 à 200 kg d'azote à l'hectare dans les systèmes de production agricole.

Les légumineuses herbacées utilisées comme plantes de couverture fixe suffisamment d'azote à travers la fixation symbiotique pour satisfaire les besoins d'une production de maïs. En Afrique, les principales espèces de légumineuses efficaces sont du genre *Mucuna*, *Crotalaria*, *Pueraria*, *Dolichos* et *Desmodium*.

L'utilisation du *Mucuna* dans les jachères de courte durée en culture intercalaire avec le maïs ou planté pendant la saison sèche connaît une adoption rapide. Le *Mucuna* fixe l'azote et en tant que plante de couverture inhibe les mauvaises herbes envahissantes. Cependant, les jachères courtes de légumineuses herbacées fixent moins d'azote que les jachères de légumineuses ligneuses.

Les jachères améliorées de ligneux et d'herbacées légumineuses sont donc d'excellentes options pour une bonne gestion de la fixation biologique de l'azote. Cependant la fixation potentielle de l'azote par les légumineuses n'est assurée que quand les besoins en phosphore du sol sont satisfaits et que les producteurs acceptent de mettre leur terre pour des rotations céréales-jachères.

Une attention doit être portée sur les aspects suivants :

- Les légumineuses à grain comme le soja et l'arachide peuvent fixer en effet l'azote avec des quantités considérables si les conditions sont favorables, mais la majorité de cet azote est récoltée avec les grains et avec les résidus. Les fanes d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) peuvent contenir

plus de 160 kg d'azote à l'hectare et sont riches en azote car la plante est récoltée quand elle est encore verte. Malgré tout, il faut que les résidus puissent être incorporés au sol pour que la contribution en azote soit substantielle.

- Les légumineuses comme le pois d'angole (*Cajanus cajan* (L.) et certaines variétés de haricot (*Vigna inguiculata* (L.)) qui peuvent perdre des quantités substantiels de biomasse sous forme de racines ou de feuilles qui tombent avant la récolte sont très performantes dans la restitution de l'azote fixé. En culture pure, le pois d'angole peut contribuer pour plus de 40 kg d'azote à l'hectare sous forme de feuilles tombées avec un effet substantiel sur la culture de rotation.
- En culture mixte ou intercalaire entre légumineuses et céréales, le transfert de l'azote fixé par la légumineuse est plus importante pour la culture de rotation que directement sur la culture associée ou intercalaire.

Il s'avère donc que parmi les herbacées légumineuses les plus performantes en matière de fixation de l'azote atmosphérique sont surtout les légumineuses du genre *Mucuna*, *Cajanus cajan*, du haricot (*Vigna inguiculata*) et dans une moindre mesure en fonction des variétés, le soja (*Glycine max*).

Le choix des espèces légumineuses devraient aussi prendre en compte leur utilité alimentaire ou dans l'élevage (fourrage) dans le but de motiver l'adoption par les producteurs.

La contribution des légumineuses est optimale avec les apports de phosphore. Les légumineuses plantées sur des sols carencés en phosphore fixent moins l'azote.

## ● **La contribution des champignons mycorhize**

D'autres organismes comme les champignons du sol ont la capacité de contribuer à l'approvisionnement en certains nutriments comme le phosphore en prolongeant grâce à leurs filaments les racines des plantes et en favorisant l'absorption des nutriments. Le rôle de ces organismes est très déterminant pour la croissance et les rendements de plusieurs cultures.

En outre, ces organismes jouent un rôle capital dans la structure du sol par leur participation à la formation d'agrégats stables du sol. Cependant, leur rôle peut être annulé par la mise les mauvaises pratiques qui déstructurent le sol ou l'application de produit de synthèse qui modifient l'environnement chimique du sol.

## - **La contribution de la macrofaune du sol**

### • **Importance de la macrofaune du sol**

Un certain nombre d'organismes du sol particulièrement les vers de terre, les termites, les coléoptères, les fourmis appelés sous le nom de macrofaune constituent une part importante de la chaîne alimentaire et joue un rôle crucial comme « ingénieur des écosystèmes ». Pour avoir un sol productif, il est important d'avoir un sol avec des propriétés physiques favorables à la pénétration des racines et qui améliorent l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Les processus de décomposition de la matière organique sont des éléments importants du fonctionnement des sols. La macrofaune du sol constitue un maillon clé de ce système.

### • **Rôle dans l'amélioration des propriétés physiques**

Au niveau de l'amélioration des propriétés physiques, les termites et les vers de terre jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la porosité des sols (vides du sol) à travers les galeries qu'ils creusent dans les sols et la décomposition de la litière. Par les déjections des turricules, les vers de terre participent également à la formation d'agrégats stables participant au renforcement de la structure du sol.

### • **Rôle dans le recyclage des nutriments**

Sous climat sub-humide, les vers de terre peuvent rejeter entre 250 à 1250 tonnes par hectare de turricules par an et de 30-70 tonnes par an en climat semi-aride participant également à la minéralisation et à la mise à disposition des nutriments des plantes. Les turricules de vers de terre sont cinq fois plus fertiles que le sol environnant. La remontée de la terre par leurs turricules des couches profondes du sol réduit les pertes et participent au recyclage des nutriments.

Les termites sont responsables de la décomposition des matériaux organiques les plus coriaces et très lignifiés (difficiles à décomposer). Des expériences ont montré que sans l'intervention des termites, il est parfois impossible aux microorganismes décomposer les pailles à l'intervalle d'une session de culture.

### • **Rôle dans la réhabilitation des terres dégradées**

L'une des contributions les plus spectaculaires est la contribution de la macrofaune du sol et notamment des termites à la réhabilitation des terres encroûtés dégradés en combinaison avec le paillage. Sur ces sols encroûtés, dégradés et dénudés, le ruissellement de l'eau peut atteindre 99%. Les termites sont attirés par la paille et dans leur action de décomposition de la paille, ils détruisent la croûte en créant de nombreux pores (trous) qui permettent l'infiltration de l'eau et la réhabilitation de la végétation en l'espace d'une saison hivernale (Planche 3). Dans les parcelles où le paillage (mulching) a été appliqué sur ces sols encroûtés et dénudés et où les termites ont été exclus avec l'application de pesticides, la réhabilitation du sol n'a pas été effective dans le même temps. Ceci démontre bien que l'efficacité du paillage dans l'amélioration des propriétés physiques et biologiques des sols est liée à la contribution effective des animaux du sol.

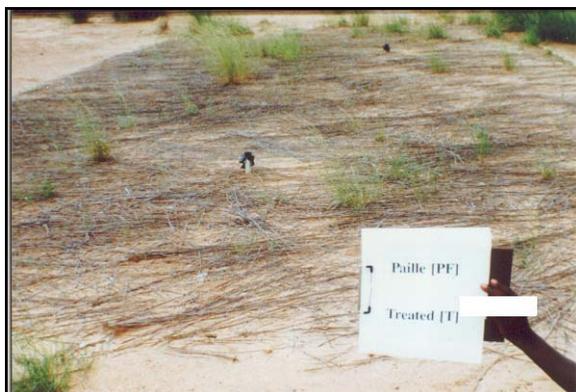
Vu que certaines espèces de termites peuvent provoquer des dégâts sur les cultures, le paillage se fait bien avant les semis c'est-à-dire trois mois avant les semis, permettant aux termites d'assurer leur travail avant les semis.



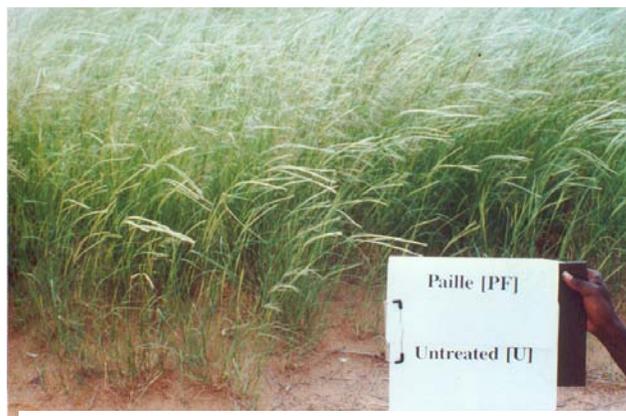
Sol encroûté, dénudé, dégradé du nord du Burkina Faso



L'application du paillage a attiré les termites qui ont détruit la croûte et couvert des pores favorisant l'infiltration de l'eau en même temps que la décomposition de la paille



Le même sol avec le paillage mais avec l'exclusion des termites. On note que le paillage seul ne suffit pas pour une réhabilitation rapide du sol dégradé sans les termites.



Avec la contribution des termites, on observe une régénération du sol du sol dans l'intervalle d'une seule saison pluvieuse avec une décomposition complète de la paille facilitant la libération des nutriments.

**Planche 3 : Réhabilitation des sols par le paillage et l'action des termites**

## 2.4 : Gérer les apports en nutriments

### - Les apports de nutriments par les ressources organiques

#### • Importance des apports en nutriments des ressources organiques

- La fertilisation organique contribue à l’approvisionnement du sol en nutriments en plus de son rôle d’amendement des sols. L’importance d’un fertilisant organique comme fournisseur de nutriments est déterminée par la quantité de nutriments qu’elle contient et la vitesse de libération de ces nutriments.
- Les ressources organiques permettent le **recyclage des nutriments** : dans l’exploitation agricole, l’exportation des résidus de récolte peuvent constituer des **sources de pertes** des éléments nutritifs car pour produire, les plantes prélèvent les nutriments dans le sol. Il est donc important que ces résidus de récoltes puissent être gérés de manière à restituer le maximum de nutriments qui a été prélevé par les plantes.

En considérant les valeurs moyennes par exemples des taux de nutriments dans les résidus de récoltes au regard des **volumes** produits, les ressources organiques peuvent constituer en effet des **sources importantes de nutriments** (Tableau 3). Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes des nutriments majeurs dans les résidus de récoltes en Afrique sub-saharienne.

**Tableau 3:** Composition moyenne des nutriments majeurs dans les résidus de récoltes

	<b>Mil</b>	<b>Sorgho</b>	<b>Maïs</b>	<b>Riz</b>
Azote (g/kg)	7	6,5	6,6	6,2
Phosphore (g/kg)	0,9	0,8	0,8	1,1
Potassium (g/kg)	20,9	10,9	11,6	19,9

#### • Processus de mise à disposition des nutriments des ressources organiques

Une grande partie des nutriments (N, P et S) dans les fertilisants organiques ne sont pas accessibles aux plantes. Les composés organiques sont convertis en une forme utilisable pour les plantes par les microorganismes (bactéries et champignons), qui utilisent les composés organiques pour deux buts : comme carburant (source d’énergie) et comme matériaux de construction pour leurs propres tissus.

Quand le fertilisant organique est riche en N, P et S facilement accessible, les microorganismes vont utiliser une partie pour leurs propres besoins et ce qui reste va être converti en une forme minérale qui peut être alors absorbée par les plantes. Le processus de conversion des molécules organiques en molécules inorganiques s’appelle la **minéralisation**.

Lorsque le fertilisant organique ne contient pas assez de N, P et S facilement accessible immédiatement pour couvrir les besoins des microorganismes, ils vont mobiliser tout ce qu’ils peuvent trouver comme N, P et S dans leur environnement immédiat. Beaucoup de fertilisants organiques utilisés comme fertilisants organiques ne contiennent pas beaucoup d’azote par rapport au carbone. L’application de tels fertilisants organiques entraîne une **immobilisation** de l’azote qui est l’élément le plus important que les microorganismes ont besoin pour leur survie car entrant dans la constitution de

leurs parois cellulaires. L'immobilisation laisse moins de N (temporairement) disponible pour les plantes. On parle dans ce cas de **faim d'azote**. Il faut attendre la décomposition complète de ces fertilisants et la mort des microorganismes pour que les nutriments soient mis à la disposition des plantes. Les fertilisants organiques de ce type doivent être prétraités par exemple en effectuant un compostage avant l'application au champ.

## • Comment connaître la qualité des ressources organiques ?

Le critère le plus utilisé pour caractériser la qualité des ressources organiques est le **rapport carbone/azote (C/N)**. Quand ce rapport est inférieur à 30, on considère que le fertilisant organique va se décomposer facilement. Mais quand ce rapport est supérieur à 30, il est préférable de les composter ou de les utiliser autrement qu'un enfouissement direct au champ.

Un autre paramètre est la quantité de **lignine** (bois) dans le fertilisant organique. Plus le taux de lignine est élevé, plus le fertilisant organique va se décomposer lentement et peut créer une faim d'azote. Dans le cas de l'utilisation des ressources ligneuses, l'appréciation de la couleur peut ne pas être suffisante à cause du bois (lignine) contenu dans ces ressources organiques. Une autre appréciation sur la dureté de la ressource comme par exemple s'il est facilement cassable ou si les feuilles se déchirent facilement sont ajoutés pour prendre en compte le taux de lignine.

Le dernier paramètre qui est pris en compte est le taux de **polyphénols** qui sont des composés aromatiques qu'on retrouve parfois dans les organes de certaines plantes légumineuses. Avec ces composantes, ces légumineuses bien qu'ayant des taux d'azote élevés, un C/N bas avec un taux de lignine faible ne se décomposent pas rapidement. Pour les techniciens, des analyses sont possibles pour aller à ce niveau de détails. Mais pour les producteurs, il est parfois difficile et peut pratique d'appréhender le taux de polyphénols au goûter tel que parfois proposé (dessèchent la bouche au goûter). Cette variante peut ne pas être prise en compte surtout pour l'appréciation des ressources organiques autres que les ressources agro- forestières.

## • Les différentes sources de nutriments des fertilisants organiques

- **Résidus agricoles**
  - Résidus de récolte ou de défrichage (paille, feuilles, broussailles, etc.) ;
  - Déjections des animaux (bouses de vaches, fientes de poule, fumier, purin, lisier, etc.) ;
  - Compost (mélanges de résidus végétaux et animaux fermentés) ;
  - Engrais verts (cultures de légumineuses ou autres plantes incorporées dans le sol) ;
- **Résidus de la transformation des produits végétaux**
  - Fibres (de l'industrie papetière), de tourteaux pressés (de graines d'oléagineux) ;
  - Matériaux ligneux (écorce, sciure, etc.) ;
  - Mélasses (de sucrerie).
- **Résidus de la transformation de produits animaux**
  - Sang, cornes et sabots, poudre d'os
  - poudre de cuir, etc.
- **Déchets urbains**
  - Ordures ménagères compostées
  - Boues d'épurations, urines, fèces.

- **Inoculants du sol**
  - Microorganismes vivants.
- **Les apports de nutriments par les engrais**

La diminution du stock de nutriments du sol survient quand les apports en éléments nutritifs au sol sous forme d'engrais, de matière organique, etc. est inférieur aux nutriments qui sont prélevés par les plantes ou qui sont perdus. On dit que les producteurs font une exploitation minière (exploiter sans restituer) de leur sol. Une exploitation minière signifie que le producteur investi très peu dans le sol mais qu'il veut tirer le maximum de bénéfices de son sol.

Les engrais minéraux constituent une des sources de nutriments qui peuvent permettre de recapitaliser le stock de nutriments du sol.

### ● **La classification des engrais**

Les engrais sont classés selon les critères suivants :

- **Selon la méthode de production** : On distinguera les **engrais naturels** (exemple les phosphates naturels) et les **engrais de synthèse** qui sont fabriqués à partir de procédés industriels (exemple : l'urée)
- **Selon le nombre de nutriments** : On distinguera les **engrais simples** qui contiennent un seul nutriment (exemple : l'urée qui ne contient que de l'azote) et les **engrais composées** à plusieurs nutriments avec deux (binaires), trois nutriments (ternaires) et plus (exemple : NPK qui contient de l'azote, du phosphore et du potassium) (Tableau 4).
- **Selon le type de combinaison** : On distinguera les **engrais de mélange**, c'est à dire un mélange physique de deux ou plusieurs engrais simples ou composés et les **engrais complexes** dans lesquels deux nutriments ou plus sont combinés chimiquement (exemple : les phosphates d'ammonium).
- **Selon l'état physique** : On distinguera les **engrais solides** (qui peuvent être cristallisés, pulvérulent ou en granulés), les **engrais liquides** qui peuvent être des solutions ou des suspensions, les **engrais gazeux** qui sont des liquides sous pression (exemple : l'ammoniac).
- **Selon le mode d'action** : On distingue des **engrais rapides** qui sont solubles dans de l'eau et immédiatement disponible pour les plantes et les **engrais lents** exigeant une transformation sous forme soluble.

### ● **Qu'est-ce qu'il y a dans le sac ?**

Les principaux éléments nutritifs qu'on trouve dans les engrais sont l'azote (N) le phosphore (P) et le potassium (K). On y rencontre aussi des engrais qui contiennent du calcium, du soufre et du chlore. Les teneurs de chacun des éléments en kg pour 100 kg d'engrais sont imprimées sur le sac sous forme d'azote (N), d'oxyde de phosphore ( $P_2O_5$ ) et d'oxyde de potasse ( $K_2O$ ). Ceci est appelé, **la formule de l'engrais**.

Par exemple un engrais qui a une formule 14-23-14 contient 14 kg d'azote (N), 23 kg d'oxyde phosphore ( $P_2O_5$ ) et 14 kg d'oxyde de potasse ( $K_2O$ ) pour 100 kg de produit. On utilise aussi le terme d'unité fertilisante qui est égale à un kg de N, un kg  $P_2O_5$  ou d'oxyde de potasse ( $K_2O$ ).

Occasionnellement, le phosphore et le potassium peuvent être exprimés en termes de P ou de K. Les conversions d'une forme à une autre peuvent être faites en utilisant les formules suivantes :

$$\% P = \% P_2O_5 \times 0,44$$

$$\% K = \% K_2O \times 0,83$$

$$\% P_2O_5 = \% P \times 2,3$$

$$\% K_2O = \% K \times 1,2$$



**Illustrations :** Sac d'engrais azoté (urée) à 46 % et d'engrais composés NPK de formule 14-23-14

## • Comment choisir un engrais?

Différentes formules d'engrais sont fabriqués parce que différentes cultures exigent des quantités différentes de chaque éléments nutritifs. L'efficacité de ces engrais varie avec le sol, les cultures et les conditions d'application. Le choix de l'engrais dépendra de plusieurs facteurs qui sont :

- **La richesse du sol :** quand il est possible par des analyses de sol de savoir quel nutriment manque au sol et quel nutriment est en abondance, le choix peut porter sur un engrais qui contient plus le nutriment manquant et moins le nutriment qui est disponible ;
- **Le type de culture :** Les cultures n'ont pas les mêmes besoins. Par exemple les plantes légumineuses comme l'arachide n'ont seulement besoin de l'azote qu'au début de leur croissance comme starter. Une application importante d'azote produira beaucoup de feuilles et très peu de gousses. Il faut donc choisir son engrais en fonction des besoins de la plante à cultiver.

Les besoins des variétés améliorées sont donnés dans la fiche technique de la variété. Le producteur peut demander cette fiche à l'achat de la semence. En général, les cultures dont la production est aérienne (céréales, légumes feuilles, légumes fruits, arbres fruitiers, etc.) demandent beaucoup d'azote et de phosphore. Les plantes à tubercules (patate, igname, etc.) demandent un plus de potassium.

- **Du coût de l'unité fertilisante :** La fertilisation est un investissement qui doit être rationalisé. Ce qui nous intéresse dans les engrais c'est leur teneur en éléments nutritifs. Quand on a le choix entre plusieurs types d'engrais contenant les nutriments voulus le coût de l'unité fertilisante peut être calculé. Le coût de l'unité fertilisante (N ou  $P_2O_5$  ou  $K_2O$ ) est déterminé en divisant le prix de

l'engrais par sa teneur en éléments nutritifs. A cause des grandes fluctuations des prix des engrais dans le marché international, la comparaison des prix doit être faite avant tout achat d'engrais.

**Tableau 4:** Types d'engrais couramment utilisés et leurs caractéristiques

Engrais	Teneur en Azote (% N)	Teneur en Phosphore (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Teneur en Potassium (%K <sub>2</sub> O)	Teneur en Calcium (% CaO)	Teneur en Soufre (% S)
<b>Engrais simples</b>					
Ammonitrate	33-34	-	-	-	-
Urée	46	-	-	-	-
Sulfate d'ammoniaque	21	-	-	-	24
Superphosphate simple (SSP)	-	18-20	-	-	-
Superphosphate triple (TSP)	-	45	-	-	-
Sulfate de potasse	-	-	48-50	-	-
Chlorure de potasse	-	-	40-60	-	-
Phosphate naturel (Burkina phosphate)	-	25	-	34	-
<b>Engrais composés</b>					
Mono-Ammonium phosphate (MAP)	11	55	-	2	1-3
Di-ammonium phosphate (DAP)	18	46	-	-	-
Ammonium sulfophosphate	19	38	-	-	1-14
Nitrate de potassium	13	-	44	0,5	0,2
Nitrate de calcium	16	-	-	34	-
NPK (exemple)	14	23	14		6

**Tableau 5:** Avantages et inconvénients des principaux types d'engrais et leur effet à long terme sur le pH du sol

Engrais	Avantages	Inconvénients	Effet à long terme sur le pH du sol
Ammonitrate	NO <sub>3</sub> immédiatement disponible, parmi les engrais solides, second après l'urée en teneur d'azote	NO <sub>3</sub> (moitié de sa teneur) est lessivable et soumis à la dénitrification dans les sols chauds et humides ; stockage difficile ; absorbe l'eau de l'air et durcit après exposition à l'air	Modérément acide
Urée	Solubilité élevée ; non lessivable après sa transformation sous forme de NH <sub>4</sub> ; moins de risque de brûlures des feuilles en cas de pulvérisation foliaire.	Lessivable après les pluies ou irrigation juste après apport ; risque de perte de NH <sub>3</sub> par volatilisation si pas incorporé dans le sol.	Modérément acide
Sulfate d'ammoniaque	Effet acidifiant désirable pour les sols basiques; contient du soufre	Teneur faible en azote ; acidité résiduelle élevée pour les sols acides ; risque de perte de NH <sub>3</sub> par volatilisation si pas incorporé dans le sol	Fortement acide
Superphosphate simple (SSP)	Apporte du phosphore et du calcium	Moins riche en phosphore ; forme pulvérulente moins pratique pour l'épandage	Pas d'effet
Superphosphate triple (TSP)	Riche en phosphore		Pas d'effet
Sulfate de potasse	Apporte du soufre	Plus cher que le chlorure de potasse	Pas d'effet
Chlorure de potasse	Moins cher que le sulfate de potasse	Effet salinisant ; à éviter pour les cultures sensibles à la salinisation	Pas d'effet
Phosphate naturel (Burkina phosphate)	Moins cher	Solubilisation lente	Pas d'effet
Mono-Ammonium phosphate (MAP)	Phosphore complètement soluble dans l'eau. Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Effet acidifiant désirable pour les sols basiques	Acidité résiduelle élevée pour les sols acides	Fortement acide
Di-ammonium phosphate (DAP)	Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Pas cher	Eviter le contact avec les semences	Acide
Ammonium sulfophosphate (ASP)	Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Apporte du soufre	Pas très souvent disponible sur le marché	Acide
Nitrate de potassium	Bonne source d'azote et de potassium	Cher, très souvent pas disponible sur le marché	Basique
Nitrate de calcium	Bonne source d'azote et de calcium	Très souvent pas disponible sur le marché	Basique
NPK (exemple)	Bonne source d'azote, de phosphore et de potassium ; largement disponible sur le marché	Acidité résiduelle pour les sols acides	Acide

## • **Comment appliquer les engrais ?**

Les apports d'engrais se font en deux types d'apports : Les **engrais de fond** sont apportés avant le semis pour les cultures annuelles et avant la reprise de végétation pour les cultures pérennes. Les **engrais de couverture**, généralement azotés, sont appliqués en pleine végétation en un ou plusieurs apports.

### - **Les apports de fond**

Les engrais phosphatés sont rapidement immobilisés dans la sol après application. Ainsi, la réponse de la culture à un apport de phosphore et/ou de potassium avant le semis est meilleure par rapport à celui effectué en couverture. Seule une partie de l'azote est apportée en fond.

### - **Les applications en couverture**

Parce que le besoin en azote varie avec la phénologie de la culture (stade de croissance) et qu'il y a risque de lessivage de l'azote, on préfère fractionner les apports pour les faire coïncider avec la période de grand besoin. Ces apports sont généralement faits sous forme d'engrais azotés simples. Plusieurs facteurs influencent la décision d'apport d'engrais de couverture.

#### ➤ *La texture du sol*

Une fois qu'on connaît la quantité d'engrais de couverture à apporter, le nombre d'apports et la dose de chaque apport doivent tenir compte de la texture du sol. En sol léger, plusieurs applications de N sont nécessaires pour réduire les pertes d'azote par lessivage et pour maximiser le rendement. En sol lourd, moins d'applications de N sont souhaitables.

#### ➤ *Le pH du sol*

La volatilisation de l'ammoniac est plus importante à partir du sulfate d'ammoniaque et de l'urée en sol basique et surtout calcaire. Afin d'éviter ces pertes, il est recommandé d'enfouir correctement les engrais après un travail du sol approprié. Les engrais apportés au sol ont des effets sur le pH du sol (voir Tableau 4). Les engrais acidifiants sont à éviter sur sols acides car la diminution de pH dans ces sols va entraîner une concentration excessive de l'aluminium, du fer et du manganèse à des niveaux toxiques pour les plantes. Ces engrais, par contre, améliorent la disponibilité de certains éléments nutritifs tels que le phosphore, le fer, le manganèse, le zinc et le cuivre dans les sols basiques.

#### ➤ *Le climat*

Le choix de l'engrais de couverture est aussi influencé par les précipitations et la température. L'entraînement de l'azote par de fortes précipitations (ou irrigation) nécessite des apports fréquents de faibles doses. Les températures élevées favorisent la volatilisation de l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ) sous forme d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ).

## • Les avantages liés à l'utilisation des engrais

Parmi les avantages des engrais on peut citer :

- La facilité de recapitaliser rapidement le stock de nutriments du sol ;
- L'accroissement significatif des rendements des cultures ;
- La concentration élevée en nutriments dans un faible volume de produit ;
- La facilité de manutention à cause du faible volume.

## • Les inconvénients de l'utilisation des engrais

L'utilisation des engrais entraîne deux types de conséquences qui peuvent comporter des risques sanitaires (atteinte à la santé de l'homme) ou des risques environnementaux (dégâts sur les écosystèmes). On peut citer :

- La pollution du sol par les métaux lourds comme le cadmium ;
- La pollution des eaux souterraines notamment avec les nitrates ce qui affecte la potabilité de l'eau et l'augmentation des dangers sur la santé ;
- La pollution des rivières, des marres et des eaux côtières, ce qui peut entraîner l'eutrophisation (développement rapide des végétaux aquatiques avec fermentation organique limitant la disponibilité en oxygène) et affecter la vie des poissons et autres animaux aquatiques ;
- L'acidification des sols (Tableau 5);
- La pollution importante de l'air pendant la fabrication ( $\text{CO}_2$ ) et au champ à travers la dénitrification et la volatilisation de l'ammoniaque et contribue au réchauffement climatique.
- Les coûts élevés limitant l'accessibilité aux petits producteurs ;
- La disponibilité des engrais n'est pas toujours assurée.

### Exercice pratique 1 :

Dans un sac de 50 kg de NPK dont la formule est de 15-5-20, quel est le moyen le plus simple de calculer la quantité des éléments nutritifs contenus dans un sac d'engrais?

**Exercice pratique 2 :** La recommandation pour une culture donnée est d'appliquer 60 kg N par hectare sous forme d'urée qui contient 46% de N.

1<sup>ère</sup> question : Combien de sacs de 50 kg il faut prévoir?

2<sup>ème</sup> question : Quelle quantité d'urée utilisée pour un champ de 500 m<sup>2</sup> ?

**Exercice pratique 3.** Quand la recommandation est d'utiliser un engrais 60-30-30, que se passe-t-il si vous utilisez un engrais 15-15-15 ?

### **Réponse exercice pratique 1**

Le moyen le plus simple est de diviser les nombres imprimés sur le sac de 50 kg par 2 et ceux marqués sur le sac de 25 kg par 4. Ainsi dans un sac de 50 kg dont la formule est 15-5-20, nous aurons les quantités suivantes d'éléments nutritifs:

15/2 : 7.5 kg N (quantité d'azote)

5/2 : 2.5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (quantité de phosphate)

20/2 : 10 kg K<sub>2</sub>O (quantité de potassium)

Au total 20 kg d'éléments fertilisants pour un sac de 50 kg d'engrais.

### **Réponse exercice pratique 2**

1<sup>ère</sup> question : 46 divisé par 2 est égal à 23 : la division par 2 correspond au poids du sac : 50 kg.

Chaque sac contient donc 23 kg d'azote.

60 divisé par 23 est égal à 2.6. Ainsi, à peu près deux sacs et deux tiers d'un sac du produit sont nécessaires pour couvrir un hectare.

2.6 sacs x 50 kg : un total de 130 kg d'urée, doit être appliqué par hectare.

2<sup>ème</sup> question : Si la superficie du champ est de 500 m<sup>2</sup> la quantité requise d'urée est un vingtième de celle pour un hectare soit 6½ kg (pour rappel, un hectare fait 100m x 100m (soit 10 000 m<sup>2</sup>)).

### **Réponse exercice pratique 3**

Si vous utilisez uniquement cet engrais, vous appliquerez, si vous voulez atteindre les doses :

- deux fois trop de phosphore et de potassium (perte économique et risque pour l'environnement) ;
- soit seulement la moitié d'azote nécessaire (d'où carence) ;

Dans ce cas:

- soit vous achetez un engrais 15-15-15 pour fertiliser votre culture, et achetez un autre engrais ne contenant que de l'azote simple.

## - Améliorer l'efficacité des apports de nutriments

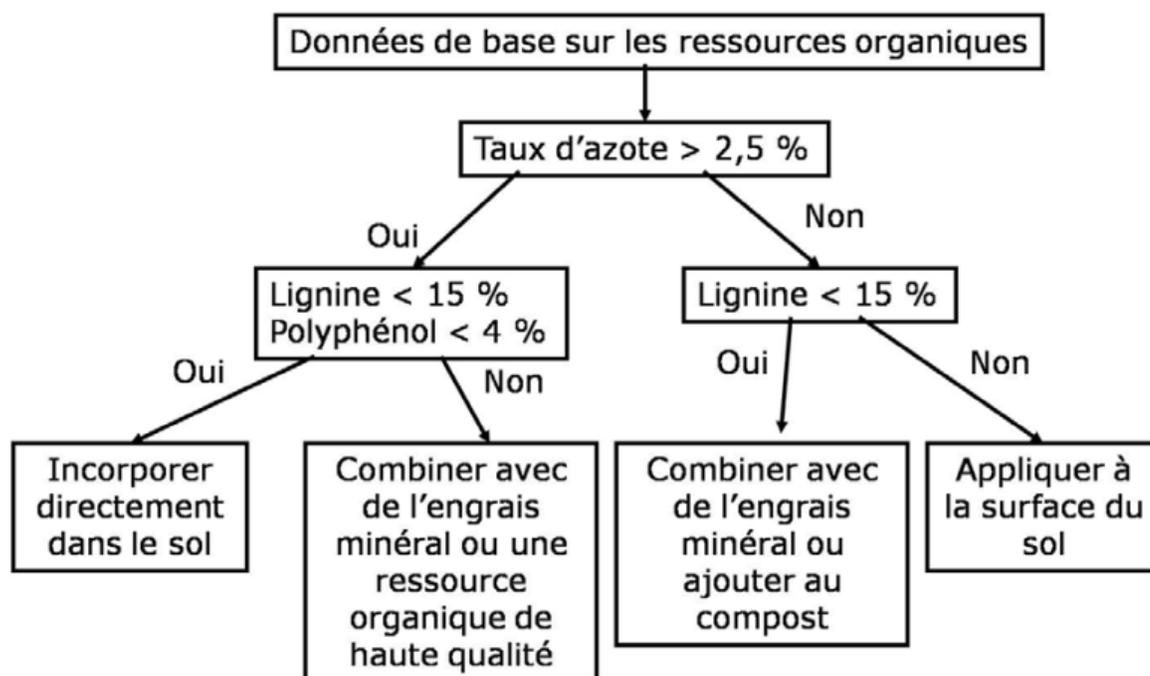
L'amélioration de l'efficacité des apports des nutriments a pour objectifs de maximiser les avantages des différentes sources de nutriments et de minimiser les effets négatifs de chacune d'elles. En outre l'amélioration de l'efficacité des apports intègre les méthodes de réduction des pertes et qui favorisent la valorisation des apports.

### • Améliorer l'efficacité de l'utilisation des résidus de récoltes

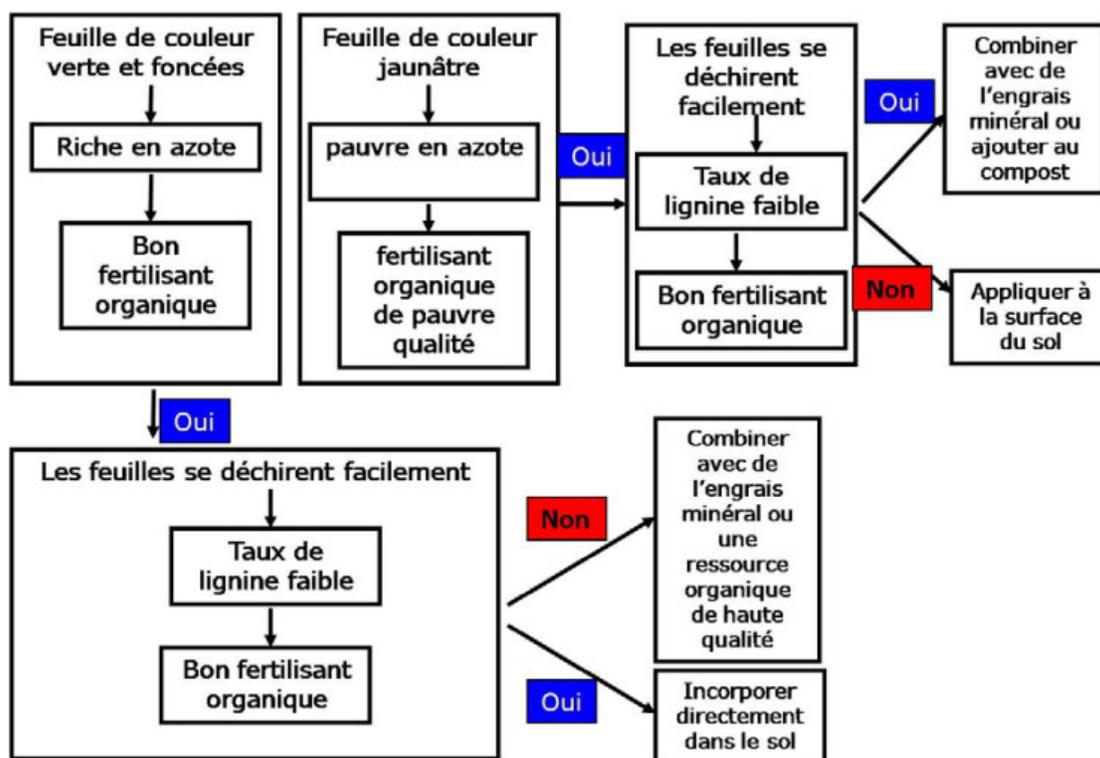
L'utilisation des résidus de récoltes dans l'exploitation agricole constitue un recyclage d'une partie des nutriments qui ont été prélevés par les cultures. Une bonne gestion des résidus de récoltes doit nécessairement tenir compte de la qualité de la ressource.

Sur le terrain, au champ, l'appréciation visuelle du rapport C/N tient surtout à la couleur de la ressource organique. Une ressource végétale de couleur jaune signifie que le rapport C/N est élevé. Par contre, s'il est vert (à l'état sec ou frais) cela veut dire que le rapport C/N est faible. Les résidus de récoltes (tiges de sorgho, de mil, paille de riz, broussaille, etc.) ont généralement des rapports C/N supérieur à 30. Il n'est donc pas recommandé de les enfouir directement au champ à moins que cet enfouissement se fasse trois à quatre mois avant les semis.

Des outils d'aide à la décision ont été conçus pour faciliter une meilleure gestion intégrée optimale des résidus de récoltes. Les figures 3 et 4 ci-dessous sont des outils d'aide à la décision pour les techniciens et pour les producteurs pour l'utilisation des ressources organiques et donnent la démarche à suivre dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité des sols.



**Figure 3 :** Outil d'aide à la décision à l'usage des techniciens pour l'utilisation des fertilisants organiques végétales dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité des sols



**Figure 4 :** Outil d'aide à la décision à l'usage des producteurs pour l'utilisation des fertilisants organiques végétales dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité des sols

- **Améliorer l'efficacité de l'utilisation des fertilisants organiques d'origine animale**

Quand les résidus de récoltes sont utilisés pour l'alimentation des animaux (tiges, fanes d'arachide, de haricot, etc.) l'utilisation des fertilisants organiques d'origine animale constituent aussi un recyclage des éléments nutritifs des plantes. Il est conseillé que ceux-ci soient compostés (Planche 4) avec les fertilisants organiques d'origine végétale qui se décompose lentement (paille, résidus de récoltes, etc.).

Le compostage a pour objectifs :

- D'assainir la matière organique. En effet l'élévation importante de la température pendant le processus de compostage permet d'éliminer la plupart des germes pathogènes et des graines de mauvaises herbes ;
- D'augmenter la quantité de matière organique de bonne qualité au regard de la faible disponibilité des déjections animales
- D'augmenter la qualité de la matière organique à cause de la décomposition lente des ressources végétales de faible qualité (C/N élevé) mais qui sont pourtant abondantes.

Il est très recommandé d'intégrer les phosphates naturels dans le compost car cela facilite leur application au champ du fait de leur état poudreux. En outre, l'intégration des phosphates naturels a le

potentiel d'augmenter leur dissolution rapide améliorant la qualité du compost surtout en l'élément qui manque parfois le plus au sol c'est-à-dire le phosphore.



Compostage aérobie en fosse



Compostage aérobie en tas : édification du tas

#### **Planche 4 : Techniques de compostage en fosse et en tas**

- **Réduire les pertes liées à l'érosion et au lessivage**

L'érosion hydrique (par l'eau) et l'érosion par le vent entraînent avec elles les nutriments du sol. Le moyen le plus efficace pour réduire les pertes est de maximiser sur la couverture du sol à travers le paillage (mulching) et l'utilisation des plantes de couvertures. La mise en place des mesures anti-érosives comme les cordons pierreux, les bandes enherbées ou les digues filtrantes sont efficaces pour réduire l'érosion des sols et des nutriments.

L'intégration de bandes végétales pérennes le long des mesures anti-érosives permet de stabiliser le sol et permette par le biais de l'enracinement profonds de la végétation pérenne d'absorber les nutriments lessivés qui vont être restitués à la surface du sol à travers la chute des feuilles. Les amendements du sol comme ainsi qu'une bonne gestion de l'exploitation comme un bon système de drainage permettent de réduire considérablement les pertes par lessivage.

- **Réduire les pertes par volatilisation de l'azote**

Les engrais azotés non enfouis dans le sol se perdent par volatilisation c'est-à-dire sous forme gaz. Pour supprimer la volatilisation, les engrais azotés doivent être complètement enfouis avec le travail du sol (Labour, poquets, etc.). Les amendements organiques favorisent également une bonne fixation de l'azote et réduisent ainsi sa volatilisation. En outre, une utilisation combinée des engrais azotés et des ressources organiques est la clé principale pour une utilisation efficace et la réduction des pertes des engrais azotés.

- **Favoriser la rotation des cultures**

La monoculture (pratiquer la même culture sur plusieurs années sur la même parcelle) est l'une des pratiques culturales qui entraînent la dégradation des sols et une mauvaise valorisation des potentialités physiques, chimiques et biologiques des sols. Les cultures n'ont pas les mêmes besoins en éléments nutritifs. Ainsi, la rotation des cultures permet aux nutriments qui ne sont pas utilisés par l'une des cultures d'être valorisés par la culture suivante. De plus, la rotation favorise une bonne exploitation des couches du sol, rompt les cycles de certaines maladies et de ravageurs et recapitalise biologiquement certains nutriments comme l'azote quand les plantes légumineuses sont intégrées dans le plan rotation. La rotation avec une plante légumineuse au moins un fois tous les trois ans est recommandée pour une bonne santé des sols.

- **Choisir des espèces qui valorisent les nutriments**

Les efforts d'amélioration de la fertilité des sols doivent être accompagnés par le choix de semences appropriées qui valorisent les intrants et la qualité du sol. Ainsi, pour que d'un point de vue économique les efforts de recapitalisation de la fertilité des sols soient rentables, l'utilisation de variétés améliorées localement adaptées au milieu et prenant en compte le contexte social dans la satisfaction des besoins des populations soient utilisées pour faire une meilleure valorisation des nutriments apportés aux sols.