

AGRODOK 2

GERER LA FERTILITÉ DU SOL

Par:
Laura van Schöll

Première édition en français: 1985
Quatrième édition révision: 1998

Traduit par: Josiane Bardon

AVANT-PROPOS

Nous remercions d'abord et tout particulièrement Rob Leijder, Stephan Mantel et Jan Vlaar pour leurs précieux commentaires. Nous remercions également les illustrateurs, Barbera van Oranje et Daniel van Buren.

Cet Agrodok est une édition révisée qui englobe deux Agrodoks publiés précédemment (Agrodok 2: 'Fertilité du sol', et Agrodok 28: 'Engrais vert'). Nous les avons réunis car l'engrais vert offre aux petits exploitants agricoles une possibilité supplémentaire d'améliorer la fertilité du sol. En plus du fumier et des engrais chimiques, des pratiques agricoles comme l'utilisation d'engrais vert peuvent contribuer largement à lutter contre les problèmes de fertilité.

Toute la série des Agrodoks est publiée par Agromisa à Wageningen, aux Pays-Bas. Vous pouvez commander des Agrodoks, mais aussi correspondre directement avec le service d'information d'Agromisa pour trouver des réponses à des questions spécifiques concernant l'agriculture.

Rienke Nieuwenhuis
Laura van Schöll
Octobre 1998

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	6
PARTIE I FERTILITÉ DU SOL ET PRATIQUES AGRICOLES		9
2	INTRODUCTION	9
2.1	Pratiques agricoles	9
2.2	La matière organique	10
2.3	Le brûlis	11
2.4	Les conditions locales	12
3	LE PAILLAGE	14
3.1	Les avantages du paillage	14
3.2	Inconvénients et limites du paillage	15
3.3	Méthodes et recommandations	16
4	L'APPORT D'ENGRAIS VERT	17
4.1	Les avantages des engrais verts	17
4.2	Inconvénients et limites des engrais verts	18
4.3	Méthodes et recommandations	19
5	CULTURES ASSOCIÉES	21
5.1	Les avantages des cultures associées	21
5.2	Les inconvénients des cultures associées	23
5.3	Méthode et recommandations	23
6	LES PÉRIODES DE JACHÈRE VERTE	24
6.1	Les avantages des périodes de jachère	24
6.2	Inconvénients	24
6.3	Méthode et recommandations pour les périodes de jachère verte	25
7	L'AGROFORESTERIE	26
7.1	Les avantages de l'agroforesterie	26
7.2	Inconvénients et limites de l'agroforesterie	27
7.3	Méthodes et recommandations	27
7.4	Les systèmes d'agroforesterie dans les régions sèches (arides et semi-arides)	28
7.5	Les systèmes d'agroforesterie dans les régions humides qui sont arrosées presque toute l'année par la pluie (zones sub-humides et humides)	30
PARTIE II LA FERTILITÉ DU SOL ET LA FERTILISATION		35
8	INTRODUCTION: LA BALANCE DES SUBSTANCES NUTRITIVES	35

9	LE COMPOST	36
9.1	Les conditions locales	36
9.2	Les avantages du compostage	37
9.3	Inconvénients et limites du compostage	37
9.4	Méthodes et recommandations	38
9.5	Points importants concernant le compost	40
10	LE FUMIER	42
10.1	Les conditions locales	42
10.2	Les avantages de la conservation et du vieillissement du fumier	43
10.3	Inconvénients de la conservation et du vieillissement du fumier, précautions à prendre	44
10.4	Méthodes et recommandations	44
11	L'UTILISATION D'ENGRAIS CHIMIQUES	48
11.1	Méthodes d'application	48
11.2	Les types d'engrais chimiques	49
11.3	Moment et méthode d'application des engrais par substance nutritive	50
11.4	Le chaulage	53
	PARTIE III CADRE THÉORIQUE	56
12	LES SUBSTANCES NUTRITIVES DES PLANTES	56
12.1	Les macroéléments	57
13	IMPORTANTES CARACTÉRISTIQUES DU SOL	61
13.1	La structure du sol	61
13.2	Les particules solides du sol	62
13.3	Agrégats	63
13.4	Matière organique dans le sol	63
13.5	Organismes du sol	65
13.6	Immobilisation de l'azote (N) et le rapport C:N	66
13.7	Caractéristiques chimiques du sol	67
14	LE DIAGNOSTIC DU SOL	70
14.1	Texture et structure du sol	70
14.2	Niveau de matière organique	73
14.3	Couches imperméables	73
14.4	Réserve de substances nutritives	74
	LITTÉRATURE UTILISÉE	78
	LITTÉRATURE RECOMMANDÉE	79
	ANNEXE 1 PRINCIPAUX TYPES DE SOL DANS LES TROPIQUES	80
	ANNEXE 2 GLOSSAIRE	83

1 INTRODUCTION

Agromisa doit répondre à de nombreuses questions concernant des problèmes agricoles liés directement ou indirectement à des problèmes de fertilité du sol. Les rendements des récoltes ont diminué, et les agriculteurs cherchent à savoir comment retrouver le niveau des récoltes précédentes. Le manque de fertilité du sol entraîne une baisse des rendements et favorise également le développement de nombreuses maladies des plantes. Si la fertilité du sol est médiocre, les cultures manquent de force et deviennent donc plus sensibles aux maladies et aux parasites. La présence de ces derniers entraîne une nouvelle diminution de la productivité et menace encore davantage les moyens d'existence des communautés rurales. On peut éviter ce genre de situation en améliorant la qualité du sol.

La présence de matière organique dans le sol est essentielle pour maintenir sa fertilité. Cette matière organique est composée de matière fraîche organique (résidus de plantes ou de cadavres d'animaux) et d'humus. Les organismes du sol transforment la matière fraîche organique en humus. Cet humus, qui donne une couleur foncée au sol, permet de retenir beaucoup d'eau et de substances nutritives.

Cela signifie que pour maintenir la fertilité du sol, il faut commencer par préserver la matière organique qu'il contient. On peut y parvenir par des pratiques agricoles appropriées et en utilisant du fumier ou du compost. Si le sol est très détérioré, l'utilisation d'engrais chimiques peut devenir nécessaire. Les engrais chimiques permettent de restaurer la fertilité du sol très rapidement, la plante peut les utiliser dès qu'ils sont dissous dans le sol. Par contre, la matière organique demande un certain temps avant de se transformer en humus et de libérer ses matières nutritives.

Cet Agrodok vous fournira des informations sur les pratiques agricoles appropriées, sur l'utilisation d'engrais organiques et chimiques et des informations générales sur des termes souvent utilisés dans la science des sols; et enfin, vous trouverez une procédure permettant de déterminer la qualité du sol.

Cet Agrodok est donc divisé en trois parties:

La partie I décrit les pratiques agricoles appropriées pour maintenir et/ou améliorer la qualité du sol.

La partie II décrit les engrais que l'on peut utiliser pour obtenir des résultats plus rapides mais à un coût plus élevé: nous examinerons à la fois les engrais organiques et chimiques.

La partie III explique certains termes scientifiques fréquemment utilisés dans les textes sur la science des sols, afin d'aider les gens qui veulent en savoir davantage sur ce sujet. Vous y trouverez aussi une procédure permettant de déterminer la qualité du sol.

Partie I Fertilité du sol et pratiques agricoles

Après une introduction sur les pratiques agricoles, la matière organique, le brûlis et les conditions locales, les différentes pratiques agricoles seront décrites avec plus de précision:

- ▶ le paillage est une méthode qui consiste à étaler une couche de matière organique fraîche sur le sol;
- ▶ l'apport d'engrais vert, consiste à enfouir dans le sol de la matière verte fraîche;
- ▶ le système des cultures associées consiste à faire pousser ensemble deux cultures ou plus, sur le même champ;
- ▶ pendant les périodes de jachère verte, on sème ou on stimule des espèces qui ont des qualités supérieures à celles qui pousseraient spontanément pendant cette période;
- ▶ l'agroforesterie comprend toutes les formes d'utilisation du sol dans lesquelles les espèces ligneuses (les arbres et les arbustes) sont cultivées en combinaison avec d'autres cultures.

Partie II Fertilité du sol et engrais

L'utilisation de fumier et de compost contribue à maintenir le niveau de matière organique dans le sol. L'utilisation d'un engrais chimique peut s'avérer nécessaire pour fournir rapidement aux plantes les substances nutritives dont elles ont besoin. Contrairement aux engrais organiques, les engrais chimiques agissent immédiatement sur les plantes; les engrais organiques doivent d'abord se décomposer en substances nutritives avant de pouvoir être utilisés par les plantes. Cela signifie que la matière organique n'a qu'un effet à long terme, tandis que les engrais chimiques agissent immédiatement (en quelques jours ou quelques semaines) sur la fertilité du sol. Toutefois, les engrais chimiques sont épuisés à la fin de la saison ou après quelques saisons, tandis que la

matière organique continue à améliorer la fertilité et la structure du sol. De plus, la présence de matière organique garantit une utilisation plus efficace de l'engrais chimique par les cultures, en l'empêchant d'être lessivé. C'est en fait un gaspillage d'argent d'appliquer un engrais chimique sur un sol pauvre en matière organique, si on ne l'associe pas à des mesures d'augmentation du niveau de matière organique dans le sol.

Partie III Cadre théorique

Cette partie fournit des informations générales sur des termes techniques, les substances nutritives par exemple, et sur des concepts importants dans la science du sol, comme la texture, la structure, la matière organique, les organismes du sol, les agrégats et les propriétés chimiques du sol, comme le pH (potentiel d'Hydrogène) et le CEC (capacité d'échange cationique). On trouvera aussi ces termes dans le glossaire (Annexe 2). De plus, la Partie III permettra de préparer des discussions avec des techniciens ou de mieux comprendre une documentation plus technique.

Vous trouverez une procédure pour évaluer la qualité du sol: elle permet de déterminer un certain nombre de facteurs importants comme la texture et la structure du sol, la présence de couches imperméables, le niveau de matière organique et de vie dans le sol, les réserves de matières nutritives et l'acidité du sol.

Nous avons également inclus une liste d'ouvrages pour ceux qui veulent plus d'informations sur les problèmes de la science du sol.

L'annexe 1 contient une liste des principaux types de sol dans les tropiques.

L'annexe 2 contient le glossaire.

PARTIE I FERTILITÉ DU SOL ET PRATIQUES AGRICOLES

2 INTRODUCTION

2.1 Pratiques agricoles

Il s'agit des méthodes que l'agriculteur peut utiliser avant, pendant et après la période de croissance et qui n'exigent pas l'addition d'un nouvel élément à son exploitation, ni l'achat de nombreux investissements supplémentaires (hormis du matériel pour semer ou pour planter). Ces méthodes comprennent le paillage, l'apport d'engrais vert, les cultures associées, les périodes de jachère verte et l'agroforesterie.

Toutes ces méthodes permettent d'obtenir et de maintenir des conditions optimum dans l'assiette racinaire, où les plantes puisent les substances nutritives et l'humidité nécessaires à une bonne production. Les racines doivent également pouvoir pénétrer dans le sol. Des méthodes comme le paillage, les cultures associées et l'agroforesterie ont pour but de garder le sol couvert afin d'éviter l'évaporation et la déshydratation. Les cultures associées et l'agroforesterie permettent le développement de systèmes racinaires étendus dans le sol; la plantation de différentes plantes aux systèmes racinaires différents, nécessitant des substances nutritives différentes, favorise une meilleure utilisation des substances nutritives présentes et de l'eau. Les arbres qui constituent une partie des systèmes d'agroforesterie, permettent l'utilisation des substances nutritives situées dans des couches plus profondes du sol.

L'apport d'engrais vert et les périodes de jachère verte font nettement augmenter le niveau de matière organique et la disponibilité des matières nutritives libérées par la matière organique décomposée dans le sol. L'utilisation de plantes légumineuses intensifie cette fonction.

2.2 La matière organique

La matière organique joue un rôle important dans la gestion d'une meilleure fertilité du sol. Elle a de nombreuses propriétés qui permettent d'augmenter la fertilité du sol et d'améliorer sa structure. La matière organique retient beaucoup de substances nutritives, ce qui est particulièrement important dans les sols sableux qui en retiennent très peu. Elle retient aussi beaucoup d'eau, si bien que pendant les périodes sèches, les plantes ont plus d'eau à leur disposition et pendant plus longtemps. C'est aussi particulièrement important pour les sols sableux qui retiennent peu d'eau. La matière organique améliore la structure du sol. C'est important pour les sols sableux comme pour les sols argileux, du fait de leur structure médiocre. Enfin, elle stimule la croissance des organismes du sol, qui favorisent l'assimilation des substances nutritives de la matière organique par les plantes.

La matière organique du sol est composée de matière organique fraîche et d'humus. La matière organique fraîche est constituée de restes de plantes et d'animaux non encore décomposés: des racines, des résidus de plantes, des excréments d'animaux et des cadavres. Les organismes du sol transforment la matière fraîche en humus, qu'on appelle aussi matière organique du sol. Des matières nutritives sont libérées au cours de ce processus; la matière organique rend donc les substances nutritives disponibles pour les plantes. L'humus, c'est-à-dire la matière organique du sol, est un matériau complètement décomposé, au point qu'on ne peut plus discerner la matière fraîche d'origine. Il donne une couleur foncée au sol. L'humus est à son tour décomposé par les organismes du sol qui libèrent encore davantage de substances nutritives, mais ce processus prend plus de temps.

Les pratiques agricoles qui contribuent à un équilibre positif de la matière organique sont essentielles pour une bonne fertilité du sol à long terme. La balance de la matière organique doit être équilibrée ou positive, c'est-à-dire que la quantité de matière organique que l'on ajoute doit être égale ou supérieure à la quantité décomposée et donc perdue. Mais il est difficile d'obtenir une balance positive de la matière organique. Cela signifie que si une grande quantité de matière organique est perdue (par érosion par exemple), il est difficile d'augmenter sa quantité dans le sol. Même dans des conditions favorables et avec une bonne gestion des cultures, cela peut prendre un

certain nombre de décennies, surtout si pendant cette période, on a fait pousser des cultures que l'on enlève presque entièrement lors de la récolte.

La vitesse de décomposition de la matière organique dépend en grande partie du climat. S'il est chaud et humide, la matière organique se décompose plus rapidement que s'il est froid ou sec.

2.3 Le brûlis

Le brûlage de la végétation pour préparer la terre aux cultures est une pratique courante. Les avantages en sont grands, car le brûlage de la jachère, des résidus de plantes et des mauvaises herbes épargne beaucoup de travail. La jachère ou les mauvaises herbes ont en grande partie disparu et il n'est plus nécessaire de débroussailler ou de tailler. Les cendres contiennent de nombreuses substances nutritives sous une forme immédiatement utilisable. La première récolte qui suit le brûlage de la jachère est généralement bonne.

Toutefois, après quelques saisons, on constate un effet négatif du brûlis sur le niveau des substances nutritives et sur la fertilité du sol. Les causes en sont diverses. Au cours du brûlage se dégage une grande quantité d'azote (N) et de soufre (S) qui ne sont donc plus disponibles pour les plantes (vous trouverez davantage d'informations sur l'importance de ces substances nutritives dans la Partie III, au Chapitre 12).

Après le brûlage, toutes les substances nutritives stockées dans la végétation se retrouvent dans l'humidité du sol, mais ne peuvent être entièrement utilisées tout de suite. De fortes pluies entraînent avec elles de grandes quantités de N. Le phosphate, sous forme minérale, se fixe sur les particules du sol et n'est donc plus disponible pour les plantes.

Un brûlage régulier des résidus des récoltes fait diminuer la réserve de matière organique fraîche, et donc le niveau de matière organique dans le sol, ce qui a des effets négatifs à long terme sur la fertilité du sol.

Après la combustion, le sol n'a plus de protection, il risque d'être recouvert d'une croûte et de subir une érosion hydrique (par l'eau) et éolienne (par le vent). La cendre est très légère et donc facilement emportée par le vent et l'eau. Les substances nutritives partent avec la cendre et il ne reste plus de réserves dans le sol pour la récolte suivante.

L'absence de couverture du sol risque d'augmenter considérablement sa température pendant la journée, ce qui est très néfaste pour les organismes du sol et la germination des semences. Le sol se dessèche aussi plus rapidement. Le sol devient donc chaud, sec et dépourvu d'organismes du sol, alors que les plantes nécessitent un sol frais, humide et riche en organismes.

2.4 Les conditions locales

Avant de choisir la pratique agricole qui sera la plus efficace, il est important de prendre en considération le climat et les pentes éventuelles du terrain. Dans les zones humides où il pleut tout au long de l'année, une couverture vivante du sol sous forme d'engrais vert est souvent préférable à un paillis. L'engrais vert retient les substances nutritives que la pluie lessiverait en l'absence de culture principale.

Les engrais verts peuvent être également efficaces dans les zones subhumides où il ne pleut pas toute l'année et où l'on peut clairement distinguer des périodes sèches. Toutefois, dans ces zones, l'engrais vert et la culture principale risquent de se concurrencer pour l'eau, ce qui posera un problème. En cas de saison des pluies très courte, si l'engrais vert prend la place d'une culture vivrière ou de rapport, l'agriculteur perdra de la nourriture ou des revenus. L'agriculteur n'utilisera donc l'engrais vert que si ce dernier entraîne une considérable augmentation du rendement des récoltes suivantes qui compense largement les pertes. Le degré d'augmentation du rendement dépend de la situation, il faut donc procéder à des essais sur le terrain par région. Il est important de se rappeler que les engrais verts font faire des économies en remplaçant les engrais chimiques et évitent ensuite une perte de fertilité du sol (et donc de revenus) à long terme, en empêchant l'érosion. Ces avantages ne sont pas toujours directement apparents. Le paillis représente une bonne solution dans

les zones subhumides parce qu'il ne rivalise pas pour l'eau avec la culture principale. On utilise aussi souvent la technique des cultures associées qui permet une meilleure utilisation de l'eau et des substances nutritives, empêche l'érosion et permet d'étaler le risque d'une mauvaise récolte.

Dans les zones de savane semi-arides et sèches, où la saison des pluies est très courte, l'eau est le facteur contraignant le plus important. L'érosion éolienne et hydrique représente un danger sérieux. Le paillis revêt une grande importance dans ces régions parce qu'il augmente le niveau d'humidité du sol en améliorant l'infiltration des eaux et en empêchant la déshydratation du sol. Le problème dans ces régions est de trouver suffisamment de matière organique pour servir de paillis. On utilise surtout la technique des cultures associées pour étaler les risques. Les rendements totaux des différentes cultures ne sont pas toujours plus élevés que ceux de la monoculture dans la même zone. En effet, à cause du manque d'eau, les plantes poussant en cultures associées ne peuvent pas être cultivées plus près les unes des autres que celles de la monoculture. Les engrais verts ne conviennent pas aux zones sèches du fait de leur besoin trop grand en eau.

Dans les zones montagneuses, il est important d'empêcher l'érosion provoquée par le ruissellement de l'eau. Il faut donc absolument que le sol reste couvert le plus possible. Dans les zones où les précipitations sont suffisantes, on peut utiliser des engrais verts et des cultures associées, mais dans les zones plus sèches, le paillage est une meilleure solution.

3 LE PAILLAGE

Définition: le paillage consiste à couvrir le sol de matière organique, comme par exemple des résidus de plantes, de la paille ou des feuilles, ou avec d'autres matériaux: du plastique ou des graviers.

L'objectif du paillage est:

- l'amélioration de l'infiltration;
- la protection du sol de l'érosion hydrique et éolienne et de la déshydratation;
- la prévention de températures élevées du sol;
- l'augmentation du niveau d'humidité dans le sol;

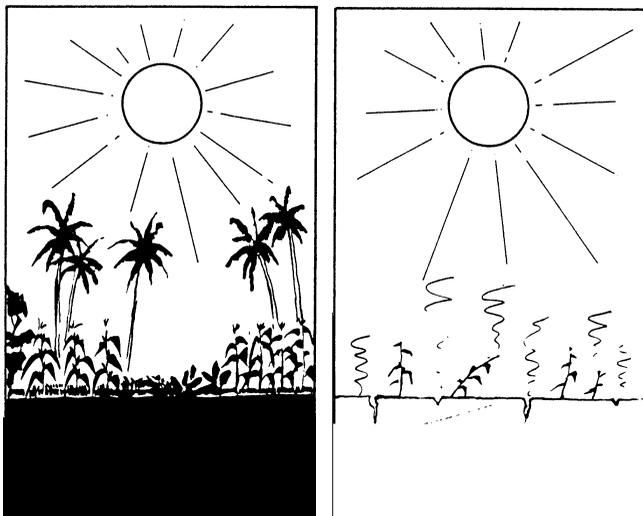
et, s'il s'agit de paillage avec de la matière organique:

- l'augmentation ou la conservation du niveau de matière organique dans le sol;
- une meilleure utilisation des substances nutritives contenues dans les engrais chimiques;
- une stimulation des organismes du sol.

3.1 Les avantages du paillage

- En couvrant le sol d'une couche de paillis on empêche la formation d'une croûte à sa surface. Cela permet à l'eau de pluie de s'infiltrer, et réduit donc l'érosion hydrique. De plus, la couche de paillis empêche les vents violents d'emporter avec eux les particules du sol, elle réduit donc l'érosion éolienne.
- La couche de paillis prévient la déshydratation du sol. En combinaison avec l'augmentation de l'infiltration, cela permet de maintenir dans le sol une teneur en humidité supérieure à celle des sols dépourvus de couche de paillis. Grâce au paillage, les plantes souffriront donc moins vite du manque d'eau pendant la saison sèche.
- Un sol non recouvert peut atteindre des températures très élevées pendant la journée. Une couche de paillis assure une protection du sol contre le soleil et de fait baisser la température pendant la journée, ce qui est propice à la germination des semences et à la croissance des racines et des micro-organismes.

- La couche de paillis empêche le phosphate contenu dans les engrais chimiques d'entrer en contact avec les particules du sol qui fixent le phosphate. Les engrais phosphatés sont donc plus efficaces si on les applique sur une couche de paillis que si on les utilise sur un sol non-protégé (cf. Chapitre 11).



Température du sol 25-30°C!

Température du sol 40-45°C!

Figure 1: La différence entre un sol protégé et un sol non-protégé.

(Source: Wijewardene & Waidyanatha, 1984)

Un avantage supplémentaire du paillis avec des matériaux organiques sur le paillis avec des matériaux non-organiques : la décomposition du paillis augmente le niveau de la matière organique du sol.

3.2 Inconvénients et limites du paillage

- Certains organismes bénéficient à tel point de l'augmentation de la teneur en humidité du sol et de la protection contre les températures élevées, qu'ils prolifèrent sous la couche de paillis. Les escargots par exemple, peuvent se multiplier extrêmement rapidement sous une couche de paillis. Dans les zones subhumides d'Afrique, le paillage provoque une augmentation du nombre des termites qui risquent d'endommager les cultures, notamment le café. Dans ce cas, il est

préférable de rechercher une autre solution, telle l'utilisation de compost (cf. Partie II, Chapitre 11) avec des mesures spécifiques pour protéger le sol de l'érosion hydrique et éolienne (cf. Agrodok 11: 'Le contrôle de l'érosion sous les tropiques').

- L'utilisation de résidus de plantes comme paillis peut augmenter le risque de parasites. C'est particulièrement le cas pour les résidus de maïs, de sorgho, de canne à sucre et de coton, surtout si ces plantes ne poussent pas en alternance avec une autre culture. Des organismes nuisibles comme les chenilles mineuses des tiges peuvent survivre dans les tiges et poser des problèmes au cours de la saison suivante. On peut limiter cet effet en enfouissant les résidus de plantes dans le sol, en faisant paître du bétail, en ajoutant du compost, ou en pratiquant des cultures alternées.

3.3 Méthodes et recommandations

Il faut appliquer le paillis avant le début de la saison des pluies, car le sol est alors plus vulnérable. On peut semer les graines à travers la couche de paillis en les déposant dans de petites ouvertures pratiquées auparavant. Il faut ensuite refermer ces ouvertures pour éviter que les oiseaux ne repèrent la présence des semences. La couche de paillis ne doit pas être trop épaisse. Il suffit qu'on ne puisse presque plus voir le sol. Si la couche est trop épaisse, les pousses auront du mal à atteindre la surface. On peut aussi semer les graines en rangées que l'on aura dégagées en labourant ou en écartant le paillis.

4 L'APPORT D'ENGRAIS VERT

Définition: cette méthode consiste à enfouir dans la terre des plantes vertes, non ligneuses (ou des parties de plantes). Il peut s'agir de plantes qui ont poussé après ou en même temps que la culture principale, d'une mauvaise herbe provenant de la période de jachère, ou encore des feuilles d'un arbre ou d'une plante d'ombrage qu'on a taillées ou qui sont tombées.

L'apport d'engrais vert a pour objectif:

- de mettre des substances nutritives à la disposition de la culture principale;
- d'améliorer la structure du sol;
- d'augmenter ou de maintenir le niveau de matière organique dans le sol;
- de rendre le sol plus à même de retenir l'humidité;
- de protéger le sol de l'érosion hydrique et éolienne, de la déshydratation et des fortes fluctuations de température lorsqu'il n'y a pas de cultures;

et si l'on utilise des plantes légumineuses comme engrais vert:

- de fixer davantage d'azote de l'air, qui sera ensuite disponible pour la culture principale, une fois qu'on aura enfoui l'engrais dans le sol.

4.1 Les avantages des engrais verts

- Au cours de leur croissance, les engrais verts apportent les mêmes avantages que le paillis. C'est pourquoi on les appelle parfois 'paillis vivant'.
- Leur avantage sur le paillis, c'est qu'ils absorbent des substances nutritives et empêchent qu'elles soient lessivées dans une période où aucune culture principale ne pousse. Une fois qu'ils sont enfouis dans le sol, les engrais verts libèrent les substances nutritives en se décomposant.
- Les engrais verts ont également un effet positif sur la structure du sol grâce à la pénétration de leurs systèmes racinaires, ils ajoutent de la matière organique et stimulent le développement d'organismes du sol. La matière organique nourrit les organismes du sol qui

bénéficient aussi de l'augmentation de la teneur en humidité et de la protection contre les températures extrêmes pendant la journée.

4.2 Inconvénients et limites des engrais verts

- Si les agriculteurs n'ont pas l'habitude de faire pousser des engrais verts, ils risquent d'avoir du mal à accepter cette méthode. C'est un investissement en temps et en travail qui ne fournit pas d'avantages évidents comme de l'argent ou de la nourriture. On ne note pas toujours tout de suite une augmentation de la production. De plus, l'enfouissement de l'engrais vert est un travail éreintant, surtout quand on l'effectue à la main.
- Il y a une alternative qui est plus facile à introduire: la culture associée (cf. Chapitre 5) avec un engrais vert. L'engrais vert pousse alors conjointement avec la culture principale. Pour éviter qu'ils ne se disputent les substances nutritives, on plante l'engrais vert plus tard que la culture principale. C'est possible même pendant une saison courte, car il n'est pas nécessaire que l'engrais vert mûrisse entièrement. Une plante qui donne de bons résultats dans ce sens est le mucuna en association avec le maïs.



Figure 2: Maïs et apport d'engrais vert.

4.3 Méthodes et recommandations

- Il est important de choisir une espèce de plante qui couvre rapidement le sol et produise un système racinaire profond et étendu permettant de transporter les substances nutritives des couches profondes du sol vers la surface. Une plante qui couvre rapidement la surface empêche également la croissance de mauvaises herbes en leur faisant de l'ombre.
- Mais l'engrais vert ne doit pas croître trop rapidement et trop facilement, au point de s'étendre aux autres champs où l'on cultive une autre sorte de plante. Il ne doit pas non plus être trop résistant, au point de continuer à pousser après qu'on l'ait enfoui dans le sol.
- Les espèces suivantes servent souvent d'engrais verts: chanvre du bengale (*Crotalaria juncia*), sesbania ou daincha (*Sesbania aculeata*), pois du Brésil ou haricot dolique (*Vigna unguiculata*), haricot d'Angola (*Vigna mungo*), haricot-mungo (*Vigna radiata*). S'il est impossible de se procurer ces espèces, on peut utiliser d'autres espèces qui poussent bien dans la région, si elles correspondent aux exigences mentionnées précédemment.

Les engrais verts sont généralement enfouis dans le sol alors qu'ils sont encore jeunes et succulents (riches en eau). Cela permet aux organismes du sol de les décomposer rapidement ce qui libère les substances nutritives. Au bout de quelques mois, la matière est complètement décomposée. Il n'y a ainsi pas de réelle augmentation du niveau de matière organique dans le sol. Il faut enfouir les plantes jeunes et succulentes au moins deux mois avant de semer la nouvelle culture, car dans la période initiale de décomposition, certaines substances libérées risquent d'endommager les jeunes pousses ou de rendre les extrémités des racines sensibles aux attaques des germes pathogènes.

Si on enfouit des plantes plus anciennes et plus dures, leur décomposition se fera beaucoup plus lentement. Dans ce cas, elles augmentent le niveau de matière organique dans le sol. Les substances nutritives étant libérées lentement, leur effet sera moindre pendant la première saison que celui des plantes jeunes et succulentes. Mais il se manifestera pendant plusieurs saisons.

Si le sol a une faible teneur en matière organique, il vaut mieux attendre que l'engrais vert ait dépassé la maturité et qu'il soit dur, de sorte à augmenter le niveau de matière organique dans le sol. Ce dernier est après tout l'indice le plus important de la fertilité du sol. Les plantes anciennes et dures ont généralement du mal à se décomposer. Cela requiert un grand nombre d'organismes du sol. Mais avant de pouvoir digérer la matière organique, il faut que ces organismes grandissent eux-mêmes. Ils utilisent à cette fin de l'azote, comme les plantes (on appelle ce phénomène l'immobilisation d'azote). Cela signifie que si les plantes grandissent au même moment que les organismes, elles vont manquer d'azote. C'est pourquoi il vaut mieux laisser grandir les organismes du sol et leur permettre de décomposer la matière organique avant de semer les cultures. Il faut donc enfouir l'engrais vert au moins 5 ou 6 semaines avant de semer les cultures.

5 CULTURES ASSOCIÉES

Définition: cette méthode consiste à faire pousser en même temps deux cultures ou plus dans le même champ. En combinant des cultures aux des types de croissance différents, on obtient une meilleure utilisation de la lumière, de l'eau et des substances nutritives.

Les cultures associées ont pour objectif:

- ▶ une augmentation immédiate de la production, en comparaison avec la monoculture (s'il y a assez d'eau), grâce à:
 - ▶ une meilleure couverture du sol;
 - ▶ une utilisation optimale de la lumière du soleil;
 - ▶ une croissance des racines plus efficace;
 - ▶ un supplément d'azote (si on utilise des fixateurs de l'azote);
- ▶ une répartition des risques de mauvaise récolte sur plusieurs plantes, grâce à:
 - ▶ la multiplication des cultures, si l'une des cultures ne marche pas, l'autre peut encore rapporter quelque chose;
 - ▶ un effet limité des maladies et des parasites, ces derniers s'attaquant à une espèce et pas à une autre.

5.1 Les avantages des cultures associées

- ▶ Dans de nombreuses parties de l'Afrique, c'est une méthode traditionnelle d'agriculture. On associe fréquemment des céréales avec des haricots. Les céréales poussent généralement en hauteur tandis que les haricots restent à la surface et rampent sur le sol. Cette combinaison protège mieux le sol qu'une simple culture de céréales. Les céréales ont besoin du maximum de soleil, tandis que les haricots et les autres plantes légumineuses poussent aussi bien à l'ombre. Les deux cultures utilisent ainsi au mieux la lumière du soleil.
- ▶ Si l'une des cultures périclité, à la suite d'un manque de pluie ou d'une maladie, l'autre culture peut encore fournir une bonne récolte. De cette façon, l'agriculteur minimise les risques d'échec.

- Lorsqu'il y a différentes cultures, chacune ayant son type de racines particulier, elles puisent l'eau et les substances nutritives dans des couches du sol et à des endroits différents. L'utilisation de ces ressources est donc plus efficace que lorsque qu'on ne cultive qu'un seul type de culture.

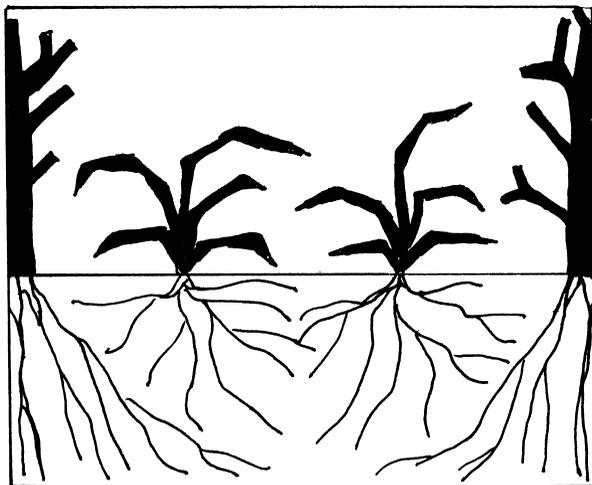


Figure 3: Plantes aux systèmes racinaires différents (Van Noordwijk, 1990).

- La méthode des cultures associées limite la diffusion des maladies et des parasites. Par exemple, les céréales peuvent servir de barrière contre la propagation d'insectes dans les cultures de haricot indigène ou de cacahuètes.
- Il arrive qu'une plante produise des substances qui chassent des insectes ou des parasites qui s'attaquent à une autre plante, ou qu'elle attire des insectes qui mangent les organismes du sol ou les insectes nuisibles à l'autre plante. Cette méthode est utilisée en particulier dans la culture des légumes: on plante par exemple des oignons et des carottes côte à côte.
- Le manque de main-d'oeuvre pose aussi souvent un problème pendant les saisons de pointe, par exemple lors des semailles et des récoltes. Si les différentes cultures se sèment et se récoltent à des périodes différentes, il est plus facile de répartir la main-d'oeuvre disponible sur toute la saison, il n'y a plus de périodes de pointe.

5.2 Les inconvénients des cultures associées

- L'un des inconvénients, c'est qu'avec cette densité de plantes, la lutte contre les maladies, les parasites et les mauvaises herbes devient physiquement plus difficile à réaliser.
- Il est malaisé de mécaniser un système de cultures associées. Mais, en général, ce n'est pas un problème majeur, les petits agriculteurs effectuant la plupart des travaux à la main.

5.3 Méthode et recommandations

- On associe fréquemment les céréales et les haricots. Ces derniers sont des fixateurs d'azote, c'est-à-dire qu'ils fixent un surplus d'azote de l'air. Ils libèrent aussi facilement le phosphate fixé. Il est important de bien planifier les dates des semailles des différentes cultures, les unes par rapport aux autres, parce que si le fixateur d'azote mûrit et est récolté le premier, le surplus d'azote et de phosphate sera déjà partiellement disponible pour l'autre culture. Par contre, s'il vient à maturité après l'autre culture, l'azote et le phosphate ne seront disponibles que pour la culture suivante.
- L'effet de ce système sur les maladies et les parasites, s'il les stimule ou les entrave, dépend des cultures, du climat et du type de maladies et de parasites courants dans la région. C'est pourquoi il est préférable de commencer par faire un essai sur une petite échelle.
- Si les agriculteurs sont défavorables à l'idée de faire pousser ensemble différentes cultures dans un même champ, la rotation des cultures peut être une alternative. Dans ce cas, on cultive des plantes différentes, les unes après les autres, sur le même champ. En choisissant des cultures qui ont des types de racines différents et qui ne contractent pas les mêmes maladies, on bénéficie de certains des avantages des cultures associées.

6 LES PÉRIODES DE JACHÈRE VERTE

Définition: pendant les périodes de jachère verte, on sème ou on stimule des espèces qui ont des qualités supérieures à celles qui pousseraient spontanément pendant cette période. L'objectif de la jachère verte est de rétablir rapidement la fertilité du sol.

Traditionnellement, les périodes de jachère doivent redonner au sol sa fertilité après une période de culture et stopper la croissance des mauvaises herbes qui poussent au milieu des cultures. De nombreuses mauvaises herbes ne peuvent résister à celles qui poussent pendant la période de jachère. Si les agriculteurs disposent de trop peu de terre, les périodes de jachère risquent d'être trop courtes pour rétablir la fertilité du sol. C'est souvent le cas lorsque l'on passe d'un système de culture itinérant à un système permanent.

6.1 Les avantages des périodes de jachère

Une période de jachère verte permet de rétablir plus rapidement la fertilité du sol. Les périodes de jachère peuvent être plus courtes, ce qui est particulièrement intéressant dans les régions où la terre subit une forte pression.

6.2 Inconvénients

Les agriculteurs doivent investir du temps et de l'argent en semant des espèces qui ne leur rapporteront souvent aucune revenu financier. (Il y a certaines cultures de plantes légumineuses telles que les pois d'Angola qui ont les caractéristiques définies ci-dessous et qui sont aussi propres à la vente).

6.3 Méthode et recommandations pour les périodes de jachère verte

La méthode consiste à stimuler ou à semer des espèces qui ont les caractéristiques suivantes:

- couverture rapide du sol;
- production élevée de biomasse;
- fixation de l'azote;
- développement d'un système racinaire étendu et profond;
- sans risque de se répandre sur les champs voisins, sous la forme par exemple de graines volantes;
- faciles à enfouir;
- de préférence: production utilisable (fruit, piquets, remède, nourriture).

On peut semer ces plantes avant ou pendant la récolte de la culture principale, dans la végétation spontanée de la jachère, ou d'abord dans une pépinière avant de les transplanter dans le champ. Toutes les espèces qui remplissent les conditions mentionnées plus haut conviennent. Le *Mucuna utilis* est une espèce très utilisée car elle permet de supprimer l'*Imperata cylindrica*, une mauvaise herbe, dans la période de jachère.

On peut aussi laisser pousser certaines espèces qui apparaissent au cours de la croissance de la culture principale et les laisser mûrir après la récolte de la culture principale. On a obtenu des résultats positifs avec les palmiers. Ils viennent complètement à maturité pendant la période de jachère et fournissent un revenu sous la forme de vin de palme.

7 L'AGROFORESTERIE

Définition: l'agroforesterie comprend toutes les formes d'utilisation de la terre qui consistent à faire pousser des espèces ligneuses (des arbres et des buissons) en association avec une autre végétation ou des animaux.

Les objectifs les plus importants sont:

- d'empêcher la perte de substances nutritives;
- de fournir une protection contre l'érosion éolienne et hydrique;
- de fournir des paillis organiques;
- d'obtenir des produits de valeur;
- de rendre l'environnement plus adapté au bétail.

7.1 Les avantages de l'agroforesterie

- En cultivant des espèces ligneuses avec d'autres cultures, on réduit la perte de substances nutritives. Les arbres et les buissons ont en général des systèmes racinaires très développés qui absorbent de nombreuses substances nutritives perdues pour les plantes aux systèmes racinaires superficiels. Les substances nutritives sont 'stockées' dans les espèces ligneuses. Elles ne courent ainsi plus le risque d'être lessivées, dans les périodes où il n'y a pas d'autres cultures. Après leur chute sur le sol, les feuilles, ou les branchages que l'on a taillés, se décomposent et les substances nutritives sont à nouveau disponibles pour les plantes. Cette fonction remplie par les espèces ligneuses est parfois appelée 'pompe à substances nutritives'.
- Les arbres et les buissons forment des haies qui protègent les cultures et le sol du vent et du ruissellement des pluies violentes sur la surface du sol.
- Les feuilles et les branchages que l'on a taillés servent de paillis.
- La plantation d'arbres facilite l'obtention de certains produits. Les arbres fruitiers améliorent l'alimentation, les feuilles ou les fruits des arbres fournissent du fourrage au bétail, et on peut utiliser le bois comme combustible. Certaines espèces ligneuses contiennent des substances aux propriétés médicinales. Une fois vieux, les arbres servent de bois de charpente.

- Les arbres plantés dans les pâtures sont aussi utiles pour les animaux. Ils fournissent de l'ombre, ce qui fait baisser la température, et les animaux transpirant moins ont besoin de moins d'eau.

7.2 Inconvénients et limites de l'agroforesterie

Comme on l'a mentionné ci-dessus, les espèces ligneuses ont des systèmes racinaires importants. La culture et les arbres ou les buissons risquent donc de se disputer l'eau et les substances nutritives.

7.3 Méthodes et recommandations

Il y a plusieurs façons d'associer les espèces ligneuses aux cultures ou au bétail. Nous décrivons ci-dessous un certain nombre de possibilités. C'est souvent impossible de réaliser à la lettre les exemples donnés. Mais, pour éviter une compétition avec la culture principale, il est extrêmement important de tailler les arbres et les buissons et d'éclaircir leur racines en les taillant à 50 cm. Essayez de mettre en pratique les exemples dont les avantages sont les mieux adaptés à votre environnement. L'utilisation des arbres comme bois à brûler, par exemple, peut revêtir une plus grande importance que leur apport en paillis. Essayez d'adapter l'exemple à votre situation en utilisant notamment les arbres qui poussent déjà dans votre région et qui fournissent les mêmes avantages. Tenez compte des conditions climatiques; certains systèmes ne marchent bien que dans certains climats.

7.4 Les systèmes d'agroforesterie dans les régions sèches (arides et semi-arides)

L'utilisation de l'Acacia albida dans les champs et les pâturages

L'Acacia albida est couramment utilisé dans les régions semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. L'acacia est un grand arbre, dont les feuilles fournissent de l'ombre au bétail dans la saison sèche et tombent au début de la saison des pluies. Ce cycle empêche toute compétition avec la culture principale pour l'eau et les substances nutritives.

L'acacia augmente la fertilité du sol en fournissant:

- de la matière organique avec ses feuilles;
- une fixation de l'azote;
- une pompe à substances nutritives avec son système racinaire étendu;
- de l'ombre pour le bétail dans la saison sèche (leurs excréments améliorent aussi la fertilité du sol).

L'acacia fournit du fourrage au bétail, sous la forme de fruits (en quantité importante: les fruits de dix arbres correspondent à la récolte de plusieurs hectares d'orge), de feuilles et de jeunes pousses.

Des obstacles au vent

Dans les régions semi-arides ou arides, des vents violents risquent d'emporter une grande quantité de la couche superficielle du sol. Cette dernière abrite les particules les plus fertiles: les engrais chimiques, et les graines après les semailles. Des obstacles au vent sous la forme de rangées d'arbres ou d'arbustes permettent de limiter cette érosion. Les rangées soulèvent littéralement le vent et protègent donc l'espace derrière elles. Il reste un peu de vent qui souffle à travers les rangées, mais sa force est réduite et il emporte moins de particules du sol avec lui. Du fait qu'il y ait moins de vent, l'humidité de l'air reste à un niveau plus élevé et celle du sol et des cultures s'évapore moins. C'est particulièrement important dans les zones sèches qui manquent d'eau. Les obstacles au vent ne doivent pas être hermétiques, sinon le vent retomberait derrière eux, provoquant des tourbillons violents (voir la Figure 4). C'est pourquoi les murs et les obstacles en bois ou en plastique sont moins efficaces.

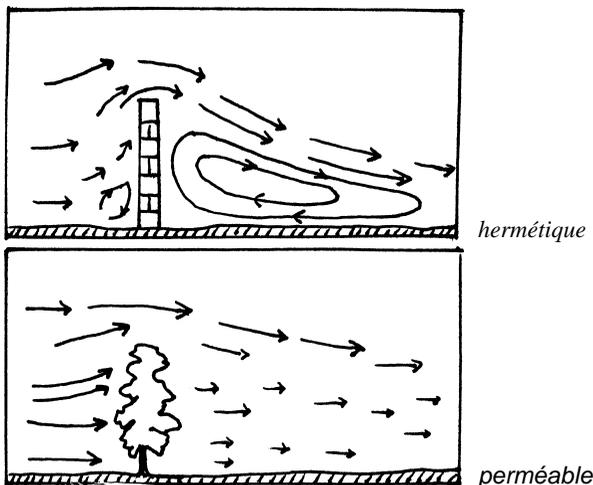


Figure 4: Exemple d'obstacles au vent et d'effet de tourbillons.

Des barrières vivantes

Les arbres et les arbustes peuvent servir de barrières vivantes. On plante des arbres à croissance rapide à une certaine distance les uns des autres et ils servent de poteaux entre lesquels on tendra des fils de fer barbelés. Ils fournissent en même temps du fourrage, du bois à brûler, de l'engrais vert ou du paillis. Les plantes légumineuses conviennent particulièrement. Une haie d'arbustes épais peut délimiter une parcelle de terre ou entourer un champ de légumes. De plus, si on utilise une haie d'épineux, elle constituera aussi un obstacle pour les animaux. Il est préférable d'utiliser des espèces qui fournissent aussi un produit, du fourrage, des fruits ou du bois à brûler, par exemple.

7.5 Les systèmes d'agroforesterie dans les régions humides qui sont arrosées presque toute l'année par la pluie (zones sub-humides et humides)

Des barrières vivantes

Dans ces régions, on les utilise dans ces régions de la même façon que dans les zones arides (voir ci-dessus). De plus, on peut utiliser des haies épaisses pour séparer les champs. Dans les zones subhumides et humides, il n'y a pas de concurrence pour l'eau entre la culture principale et les arbustes. Les arbustes fournissent aussi du paillis, du bois à brûler et du fourrage.

Des arbres d'ombrage sur les plantations

Certaines cultures, comme le café, le thé, la vanille, la cardamome, et les poivrons préfèrent pousser à un endroit ombragé qu'en plein soleil. Dans certaines régions, on a donc l'habitude de planter des arbres d'ombrage entre des plantations denses de ces cultures. La quantité d'ombre fournie dépend de l'espace séparant les arbres, de la forme des feuilles, de la densité de la cime et de la hauteur des arbres. De plus, les arbres fournissent des produits comme du bois de charpente, du bois à brûler et dans certains cas du fourrage. Le volume abondant des feuilles qui tombent améliore le sol grâce à l'apport de matière organique qui peut rester sur le sol pour servir de paillis. Les fixateurs d'azote fournissent aussi un apport supplémentaire d'azote.

Les arbres d'ombre ne conviennent pas aux régions peu arrosées parce que la culture et les arbres se disputeraient l'eau. Quelques arbres fréquemment utilisés: l'*Albizia varieties*, l'*Acacia*, le *Leucaena glauca*, le *Glyricidia*, l'*Erythrina varieties*, le *Sesbania grandiflora*, le *Prosopis* et le *Cassia*.

Couvertures du sol sur les plantations

Dans les plantations récentes ou clairsemées de caoutchouc, de palmiers à huile, de caféiers, de théiers et de cacaoyers, les couvertures du sol fixatrices d'azote jouent un rôle important dans le contrôle de l'érosion. Elles protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et de la déshydratation, et elles fournissent de la matière organique et des substances nutritives.

Dans les plantations récentes de palmiers à huile et de caoutchouc, on utilise souvent les espèces rampantes *Centrosema pubescens*, *Pueraria phaseoloides* et *Calopogonium mucunoides*. Mais leur utilisation est déconseillée dans les plantations récentes de caféiers, de théiers et de cacaoyers, qui sont plantés plus proches les uns des autres, car les pousses des fixateurs d'azote rampants risquent de grimper sur les troncs des jeunes arbres. Il est donc préférable de constituer une couche de paillis à partir de haies composées de *Crotalaria* et de *Tephrosia*, et de *Leuceana glauca* associé au *Flemingia congesta*. On taille les haies juste avant la saison sèche, de façon à utiliser les branchages coupés comme paillis et à minimiser la concurrence pour l'eau pendant cette période. Si on les taille trop courtes (à moins de 20 cm), il leur faudra longtemps pour repousser, ce qui réduira la production de paillis.

Des bananiers dans des pépinières

Beaucoup de plantations et d'arbres fruitiers ne sont pas semés directement dans le champ, mais d'abord dans un lieu central où il est plus facile de s'en occuper. Les arbres sont semés dans des sacs de sol fertile, souvent dans une plantation de bananiers ou de platanes assez clairsemée. Ces arbres font de l'ombre aux jeunes pousses et fournissent un revenu pendant la période où les jeunes arbres ne sont pas encore productifs. Les sacs placés les uns à côté des autres protègent également le sol de l'impact des gouttes de pluie et de la déshydratation.

Les systèmes de culture en bandes ou en haies

- Dans la culture en bandes ou en haies, on sème les cultures annuelles dans des couloirs formés par des rangées de plantes pérennes. L'objectif de ce système est de préserver la fertilité du sol dans le cas où les périodes de jachère (comme dans la culture itinérante) raccourcissent de plus en plus ou sont totalement interrompues.
- On plante les plantes pérennes en rangées parallèles, en gardant une distance de 2 à 4 m entre les rangées et de 0,5 m entre les plantes. Au début de la saison des pluies, on taille les arbres à une hauteur de 0,5 à 1 m. On dépose les branchages et les feuilles dans les couloirs, pour qu'ils servent de paillis, on utilise les branches

comme bois à brûler ou comme piquets. On sème les plantes dans les couloirs, à travers la couche de paillis. Au cours de la saison de croissance, il faut tailler les arbres régulièrement pour éviter qu'ils fassent de l'ombre aux cultures. Les arbres qui développent rapidement des racines ne doivent pas dépasser 0,5 m; on peut laisser pousser davantage ceux qui ont une croissance plus lente. On met les feuilles sur les cultures, pour qu'elles servent de fumure, ou on les donne au bétail. Après la récolte, on laisse grandir les pousses des arbres pour que les arbres fournissent assez d'ombre pour freiner la croissance des mauvaises herbes.

- Quand on cultive des ignames, on les laisse grimper sur les tiges des plantes pérennes, ce qui évite de les attacher.

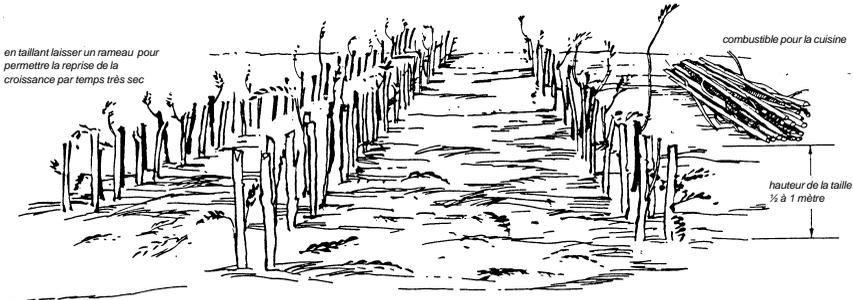
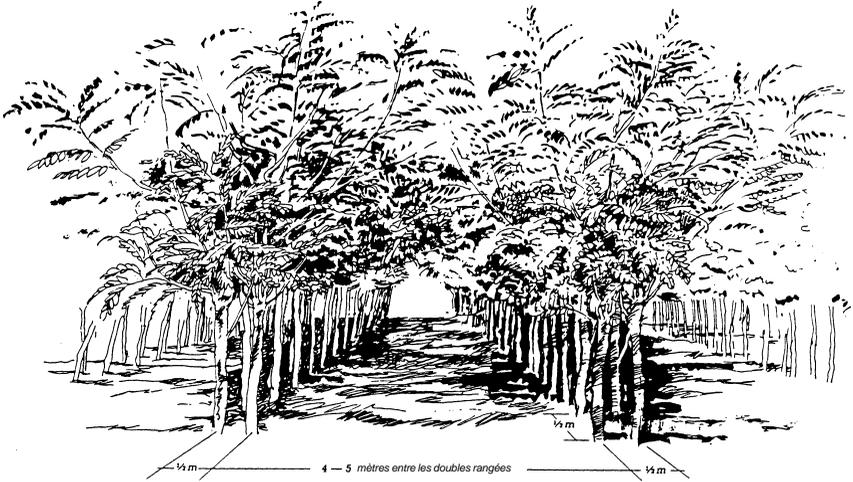


Figure 5: Culture en bandes (Wijewardena & Waidyanatha, 1984)

Les plantes pérennes des haies doivent répondre aux critères suivants.

Elles doivent:

- être faciles à mettre en place;
- avoir une croissance rapide;
- produire de la biomasse;
- résister à des tailles fréquentes;
- être des fixateurs d'azote;
- avoir un système racinaire profond (il vaut mieux utiliser des semences que des boutures, car les plantes semées directement développent des systèmes racinaires plus profonds et sont plus résistantes aux termites).

Avantages

- L'avantage le plus important de ce système, c'est qu'il fournit de l'azote à la culture et qu'il augmente le niveau de matière organique dans le sol.
- Un autre de ses avantages, c'est la suppression des mauvaises herbes, grâce à l'ombre pendant la saison sèche et aux branchages et aux feuilles pendant la saison de croissance. Il empêche également l'érosion hydrique.

Inconvénients/ observations

- Ce système demande beaucoup de travail. Si on néglige les arbres (si on ne les taille pas à temps), la production des cultures sera médiocre.
- Dans les zones en pentes raides, les haies doivent suivre les courbes de niveau. Les branchages, les mauvaises herbes et les autres matériaux qui dévalent la pente sont bloqués au pied des arbres, créant une accumulation de matière organique qui forme à la longue des terrasses. Cela empêche l'érosion.

PARTIE II LA FERTILITÉ DU SOL ET LA FERTILISATION

8 INTRODUCTION: LA BALANCE DES SUBSTANCES NUTRITIVES

Pour assurer un apport suffisant de substances nutritives aux cultures, il faut s'efforcer d'en garder une balance positive dans le sol. Il faut réduire au minimum la perte de substances nutritives et en maximiser l'apport afin d'éviter que leur quantité dans le sol diminue. (Pour plus d'information sur le rôle des substances nutritives, voir Partie III, Chapitre 13).

Les processus suivants provoquent une perte de substances nutritives:

- la récolte (toutes les substances nutritives);
- la volatilisation (surtout N; causée surtout par les brûlures provoquées par les températures élevées);
- le ruissellement (surtout N);
- la fixation (surtout P);
- l'érosion (toutes les substances nutritives).

Il y a un apport de substances nutritives dans les processus suivants:

- la décomposition de matière organique (toutes les substances nutritives);
- la fixation de l'azote (seulement N);
- l'exposition aux intempéries (surtout K et Mg);
- l'apport d'engrais chimiques (surtout N, P et K);
- la pluie et les dépôts de matériau.

Le départ de substances nutritives avec la récolte est inévitable. Plus le rendement est élevé, plus la perte est grande. Outre la perte nette de substances nutritives, il faut surveiller la balance de la matière organique comme on l'a décrit dans le Chapitre 2, l'introduction à la Partie I.

9 LE COMPOST

(Voir aussi Agrodok 8: 'Fabrication et utilisation du compost')

Définition: comme le fumier, le compost est un engrais idéal. Pour constituer un tas de compost, on rassemble et on empile des matières organiques (par exemple des résidus de plantes, de la paille, du fumier, des déchets domestiques, etc.). Les micro-organismes décomposent ensuite les matériaux.

Objectif: une fois répandu sur un champ, le compost fournit des substances nutritives et augmente le niveau de matière organique du sol.

9.1 Les conditions locales

Dans les régions qui connaissent des pluies violentes, on utilise généralement des paillis et des engrais verts avec les cultures permanentes. La décomposition se produit suffisamment rapidement dans le champ. C'est donc inutile de faire un compost des résidus de plantes. Par contre, le compostage convient bien aux régions plus sèches, où les résidus de plantes se décomposent très lentement dans le champ. Dans ce cas, le compostage permet à l'agriculteur d'avoir des rendements plus élevés. Dans les régions très sèches, le compostage risque d'être difficile à réaliser, à cause de la rareté de l'eau et de la matière organique. De plus, on utilise souvent la matière organique disponible comme combustible pour la cuisine. Le compost reste une bonne alternative au paillage, qui est impopulaire dans ces régions car il provoque souvent une invasion de termites. Le compost donne aussi de meilleurs résultats que les engrais chimiques. Il augmente, en effet, la capacité de rétention d'eau du sol et il en améliore la structure. S'il y a des saisons sèches et des saisons pluvieuses nettement définies, on fera le compost au début de la saison sèche dans des lieux prévus à cet effet. En étalant le matériau avant le compostage, on lui permet de bien se gorger d'humidité. La plantation d'arbres à croissance rapide, qui deviendront du bois à brûler, fournit également du matériau pour le compostage.

9.2 Les avantages du compostage

Le compost augmente le niveau de matière organique dans le sol, ce qui a un effet positif sur les organismes du sol, sa structure, l'infiltration, sa capacité de rétention de l'eau et la stabilité des agrégats. Le compost est riche en substances nutritives immédiatement disponibles pour les plantes.

Les avantages du compost sur les paillis et les engrais verts:

- Le compostage détruit les maladies et les parasites ainsi que les graines des mauvaises herbes. La température du tas de compost est en effet si élevée qu'ils ne peuvent survivre.
- Les rats et les souris peuvent faire leur nid dans les couches plus épaisses de feuilles ou de pailles. Le compost ne pose pas ce problème.
- Si l'on enfouit dans le sol des engrais verts dans des climats qui ont une saison de pluies violentes, l'azote minéralisé risque d'être lessivé ou de se volatiliser (dénitrification).
- Certains matériaux ont un rapport C:N très élevé, ce qui risque de provoquer une immobilisation de l'azote. Après le compostage, le rapport C:N a diminué et le matériau brut est en grande partie décomposé.
- Les substances nutritives et la matière organique sont perdues quand on brûle les résidus de plantes ou la végétation de la jachère. Les effets positifs de la cendre ne durent souvent qu'une saison. En compostant le matériau, on préserve les substances nutritives et la matière organique et les effets positifs durent beaucoup plus longtemps.

9.3 Inconvénients et limites du compostage

- Le compostage demande beaucoup de travail. S'il y a un manque de main d'oeuvre, cela peut être un facteur restrictif important. D'un autre côté, le compost est un engrais d'une telle valeur que le travail investi est très rentable. On peut aussi constituer le tas de compost dans une période où il n'y a pas beaucoup d'autres travaux à effectuer.

- Une autre limite peut être la rareté de la matière organique ou son utilisation comme combustible pour la cuisine. On peut résoudre ce problème en plantant des arbres qui fourniront du bois à brûler et formeront une barrière vivante (Partie I, Chapitre 7). Le compostage sans fumier est très difficile, mais non impossible.
- Un tas de compost risque d'attirer les animaux nuisibles, surtout si on utilise des déchets domestiques. L'odeur en sera peut-être désagréable. Dans ce cas, il suffit de former le tas dans le champ plutôt que dans la cour de la ferme.

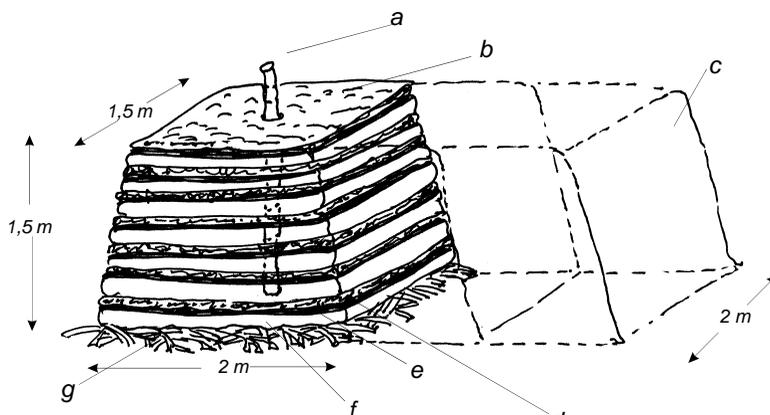
9.4 Méthodes et recommandations

Le tas de compost selon la méthode Indore

Le tas de compost Indore s'élève sur une couche de branches et de branchages. Cette couche, qui doit avoir de 10 à 20 cm d'épaisseur, permet au tas de recevoir assez d'air, d'assurer une bonne ventilation et un bon drainage. On ajoute les couches suivantes par-dessus cette première couche:

- matériau végétal brut (10-15 cm);
- matériau fané humide (7-8 cm);
- fumier (5 cm).

On humidifie ces couches puis on les arrose avec un mélange d'urine, de terre, puis de charbon de bois ou de cendre. On répète ce processus sept fois jusqu'à ce que le compost atteigne une hauteur de 1,3 à 1,5 mètre. Puis on couvre le tas d'une couche de terre. On enfonce profondément dans le tas des bâtons minces, jusqu'à la deuxième couche. En tournant ces bâtons, on pratique des trous pour la ventilation. Au bout de deux semaines, il faut retourner le tas, couche par couche. Le matériau proche de l'extérieur du tas doit être placé plus près du centre. Il faut à nouveau pratiquer des tuyaux de ventilation. Au bout de deux semaines, on retourne à nouveau le tas, de la même façon. Au bout de trois mois, le compost est à point et prêt à l'utilisation dans les champs.



a: bâton de ventilation

b: couverture de terre

c: espace pour retourner le tas/construire la section suivante

d: excréments, urine et terre

e: matériau végétal frais et succulent (riche en azote)

f: matériau végétal ancien, dur et grossier (riche en carbone)

g: branchages et branches

Figure 6: La structure d'un tas de compost Indore.

(Source: Müller-Samänn & Kotschi, 1994)

S'il est impossible de se procurer l'un des matériaux ci-dessus, on peut tout même former le tas de compost avec les autres matériaux, mais il faudra plus de temps avant qu'il soit prêt. En retournant le tas, on favorise toujours la décomposition: plus on le tourne, plus les matériaux se décomposeront vite. Mais à chaque fois, il faut attendre quelques jours avant de le retourner à nouveau, pour lui permettre d'atteindre une température suffisante.

Le matériau frais et humide se décompose facilement. Un matériau ancien et dur, comme la paille et le bois se décompose plus difficilement. Plus grande est la proportion de ce dernier matériau dans le tas, plus il faudra longtemps pour que le compost soit prêt. Le fumier a également un effet positif sur la décomposition, sans lui, elle progresse beaucoup plus lentement.

Dans le compost, le rapport C/N est très important. Il vaut mieux avoir une part de fumier pour trois parts de déchets de plantes, ou une part de matériau végétal ancien pour une part de matériau frais. Un rapport C/N trop bas entraîne une perte d'azote sous la forme d'ammoniac (il sent l'urine de chat). On peut y remédier en ajoutant de la terre ou de la sciure. Si le rapport C/N est trop élevé, la température du tas restera basse et la décomposition se fera très lentement. La meilleure méthode est d'utiliser des matériaux variés qui comprennent au maximum 10% de matériau dur (branches, branchages, tiges, etc.). Il est préférable de préparer ce type de matériau à l'avance, par exemple, en le laissant tremper pendant la nuit, ou en l'utilisant dans l'étable. S'il sert de litière au bétail pendant une nuit, il absorbera leur urine, ce qui facilitera la décomposition. De toutes façons, il faudra couper le matériau dur en petits morceaux (de moins de 20 cm) avant de l'ajouter au tas.

9.5 Points importants concernant le compost

Niveau d'humidité

Il faut que le tas de compost reste relativement humide. Il doit avoir la consistance d'une éponge mouillée. S'il est trop humide, il pourrira plutôt que de se décomposer. Dans un tas trop sec, les bactéries et les moisissures ne peuvent se développer suffisamment. On obtient généralement un bon niveau d'humidité en mouillant complètement tout le matériau avant de commencer le tas. Il faut placer le tas à l'ombre, ou sous un abri, pour éviter qu'il ne sèche. L'abri est la meilleure solution, car il empêche que des pluies fortes ne lessivent les substances nutritives. Dans les zones sèches, ou pendant la saison sèche, on peut installer le tas dans une fosse de 60 à 70 cm de profondeur, ce qui conservera l'humidité. Ce n'est pas une bonne solution pour les zones humides ou pendant la saison des pluies, l'eau ne pourrait pas s'écouler et le compost serait trop humide au fond.

Ventilation

Les bactéries et les moisissures ont besoin d'oxygène pour se développer et pour respirer. On obtient une bonne ventilation en mélangeant des matériaux fins et des matériaux bruts. Chaque point du tas doit se trouver à moins de 70 cm d'un point de ventilation. On fait aussi pénétrer de l'air en retournant le tas.

Température

La température, au milieu d'un tas bien construit, atteint de 60 à 70°C dans les jours qui suivent sa mise en place, ou après qu'on l'a retourné. Pour atteindre cette température, le tas doit faire au moins un mètre de large et un mètre de hauteur. Mais il ne doit pas dépasser 1,5 m de hauteur où 2,5 m de largeur, la température risquant de monter trop haut. Et c'est plus difficile de bien ventiler des tas larges.

Hygiène

Théoriquement, tous les matériaux organiques conviennent pour le compost. Toutefois, il faut faire subir un traitement particulier aux excréments humains pour s'assurer que les maladies ou les virus qu'ils risquent de contenir sont bien complètement détruits. Il faut commencer par y ajouter de la terre, du vieux compost ou un autre matériau qui stimule la croissance de micro-organismes comme le fumier et la mélasse. La chaux ou la cendre sont aussi efficaces, moulues et ajoutées en petites quantités.

10 LE FUMIER

Définition: le fumier est composé d'excréments animaux, généralement mélangés avec de la paille ou des feuilles. La quantité et la qualité de l'excrément dépend de la nourriture des animaux. Un bon fumier ne contient pas que de l'excrément et de l'urine. On y ajoute de la paille et des feuilles et on le laisse vieillir. Ce processus est nécessaire pour conserver toutes les substances nutritives. L'utilisation de fumier vieilli est une méthode idéale pour conserver et augmenter la fertilité du sol.

On étend du fumier pour:

- augmenter le niveau de matière organique;
- augmenter les substances nutritives disponibles;
- améliorer la structure (la formation d'agrégats) et la capacité de rétention d'eau du sol.

Les substances nutritives provenant du fourrage sont en partie stockées dans le corps des animaux. Si l'on répand leurs excréments et leur urine dans un champ, ces substances nutritives deviennent disponibles pour les plantes. Le fumier ajoute de la matière organique au sol, et améliore donc la structure du sol et sa capacité à retenir l'eau. Les organismes du sol sont également stimulés, ce qui améliore la structure du sol.

Si les animaux broutent en liberté, ils trouvent eux-mêmes leur nourriture et ils dispersent leurs excréments un peu partout dans le champ. Une grande partie de l'azote est ainsi lessivée ou se volatilise. Les eaux emportent aussi une partie du potassium. Pour utiliser les excréments comme fumier, il vaut donc mieux garder les animaux à l'étable. Cela évitera le lessivage et la perte des substances nutritives contenues dans le fumier.

10.1 Les conditions locales

Dans les zones de fortes pluies (les tropiques humides), les agriculteurs n'ont souvent pas assez de bétail pour produire une quantité suffisante de fumier. Mais les engrais verts, les périodes intensives de jachère et l'agroforesterie représentent de bonnes alternatives.

Dans les zones moins arrosées et qui ont une saison sèche (zones sub-humides), les conditions sont plus favorables à l'élevage de bétail et il faut moins de fumier pour améliorer considérablement la fertilité du sol, la matière organique se décomposant plus lentement.

Dans les zones semi-arides et arides, c'est plus difficile de garder les animaux à l'étable, le fourrage étant rare et impossible à faire pousser. Par contre, on peut laisser brouter les animaux pendant la journée et les garder à l'étable la nuit. On garde le fumier dans un cône de fumier pour l'empêcher de sécher trop vite.

10.2 Les avantages de la conservation et du vieillissement du fumier

Le fumier frais qui sort de l'étable n'est pas utilisable immédiatement. Le rapport C:N du fumier frais est élevé, ce qui risque de provoquer une immobilisation de l'azote. Si la matière organique est brut, c'est-à-dire, si elle contient beaucoup de fibres et peu de feuilles fraîches et juteuses, le rapport C:N sera élevé. Les micro-organismes auront du mal à la digérer et à libérer les substances nutritives pour les plantes. De plus, les micro-organismes utilisent des substances nutritives pour se développer eux-mêmes et cette consommation risque de dépasser temporairement la quantité qu'ils produisent. (Pour plus d'information, voir la Partie III, Chapitre 13). En outre, lors de la première étape de décomposition, certaines substances sont libérées qui risquent de freiner la croissance de la plante ou de brûler les feuilles. Si l'on répand du fumier sur un champ sans culture, de nombreuses substances nutritives seront lessivées. Souvent, aucun champ n'est disponible pour y répandre le fumier.

Le fait de conserver et de faire vieillir le fumier a un certain nombre d'avantages:

- Le rapport C:N diminue au cours du vieillissement.
- Les substances nocives libérées lors du premier stade de décomposition sont éliminées.
- Les graines des mauvaises herbes se décomposent ou perdent leur pouvoir germinatif.
- Peu de substances nutritives sont perdues à cause du ruissellement ou de la volatilisation.
- Le fumier vieilli est plus facile à transporter.

10.3 Inconvénients de la conservation et du vieillissement du fumier, précautions à prendre

Bien que le fumier vieilli soit un engrais idéal qui améliore le sol, il n'est pas toujours utilisé dans les champs. Dans les régions où les sources de combustibles sont limitées, on utilise du fumier desséché comme combustible pour la cuisine. On peut créer une nouvelle source de combustible en plantant des arbres qui fourniront du bois à brûler et serviront de barrières vivantes (voir Partie I, Chapitre 7), ou borderont les sentiers. Le travail avec le fumier est parfois considéré comme sale et inférieur, et les tas de fumiers à côté des cours de fermes sont contraires à l'hygiène.

Si un agriculteur a l'habitude de laisser brouter son bétail en liberté, le fait de les garder à l'étable lui demandera un travail supplémentaire: il faudra rassembler de la paille et nettoyer l'étable. On peut parfois laisser brouter le bétail parmi les résidus de la culture, après la récolte, puis ramasser le fumier dans le champ. Le transport du fumier au champ demande aussi beaucoup de travail. On le fait souvent dans une période relativement tranquille, comme avant les semailles. Mais si le fumier est immédiatement répandu sur le champ, le champ risque d'être trop sec pour que le mélange se fasse bien et il y aura une perte de substances nutritives. Dans ce cas, il est préférable de conserver le fumier dans un tas, sur le champ et de le mélanger avec le sol juste avant les semailles. Les substances nutritives ne courront ainsi pas le risque d'être lessivées ou de se volatiliser.

10.4 Méthodes et recommandations

Il y a différentes façons de conserver le fumier et de le faire vieillir. Nous allons en décrire trois.

Le box

En gardant les animaux à l'étable, on peut obtenir un fumier de grande qualité. Le toit de l'étable le protège de la pluie et du soleil.

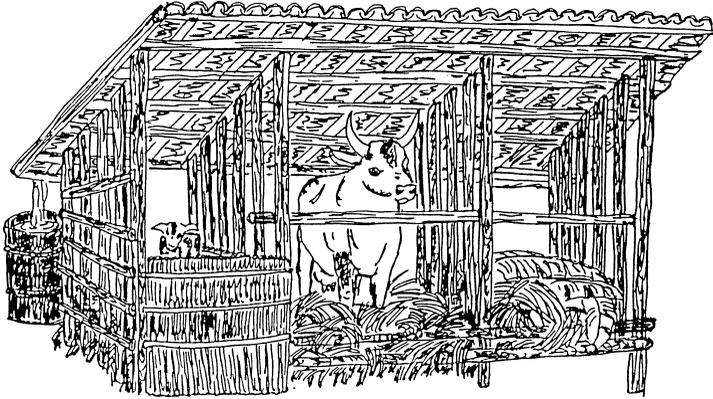
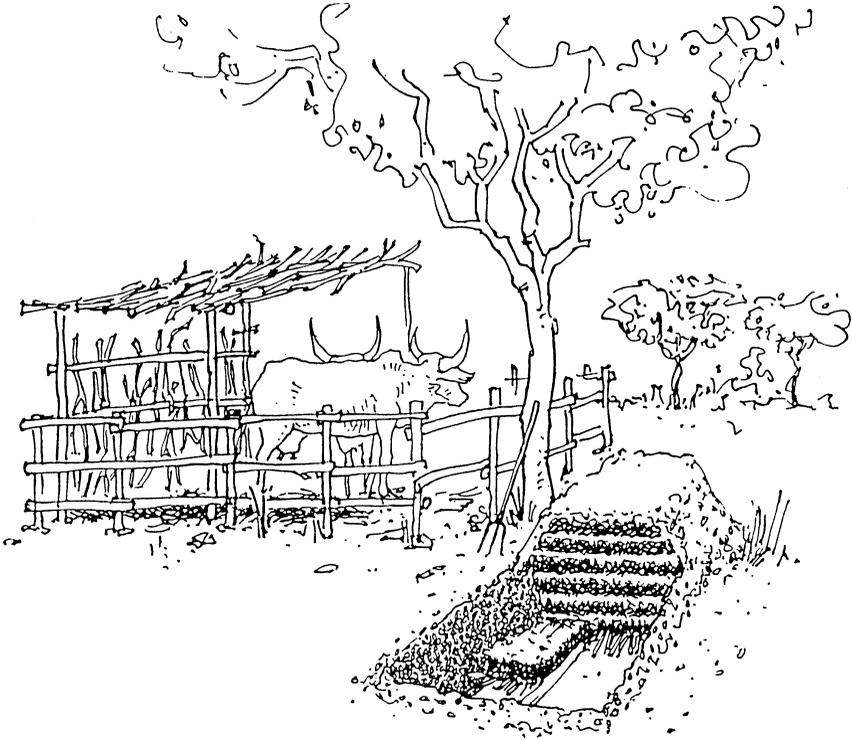


Figure 7: *Box à Nyabisindu (Rwanda)*
(Source: Müller-Samänn & Kotschi, 1994)

On jette tous les jours de la paille ou des feuilles fraîche dans l'étable. Les animaux enfonce la paille dans le fumier. De plus, la paille ou les feuilles absorbent l'urine et les substances nutritives. Il faut ajouter suffisamment de matériau pour éviter que le mélange ne soit trop détrempé. Le box à fumier peut finalement atteindre 2 m de haut, et il a suffisamment vieilli au bout de 3 à 4 mois. Les différentes couches n'ayant pas le même niveau de vieillissement, il faut bien mélanger le tas avant de l'étaler sur le champ. Cette méthode exige une grande quantité de paille ou de feuilles.

Le tas de fumier

On a besoin de moins de paille ou de feuilles si l'on nettoie l'étable tous les deux jours. On constitue alors un tas de fumier de 2 mètres de large et entouré d'un mur. On élabore le tas par étapes. On empile une partie aussi vite que possible jusqu'à une hauteur de 1,5 à 2 mètres. On la recouvre ensuite de terre pour l'empêcher de sécher. Dès qu'une partie est terminée, on en commence une autre, et le tas continue à s'allonger. Du fait qu'on ajoute une partie à chaque fois, on peut utiliser le fumier fermenté d'un côté tout en ajoutant du fumier frais de l'autre côté.

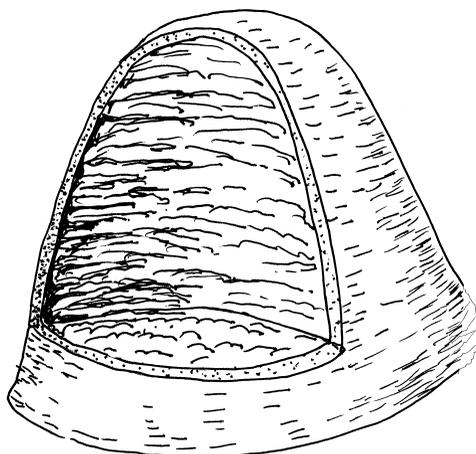


*Figure 8: Tas de fumier avec ses couches et ses parties.
(d'après Müller-Samänn & Kotschi, 1994).*

Le fumier doit être bien tassé, surtout s'il est peu compact et il doit rester humide. Si le tas est trop sec, des moisissures blanches apparaîtront; s'il est trop humide, il prendra une couleur jaunâtre tirant sur le vert. Un bon tas de fumier a une couleur marron ou noire. Il faut le placer sous un abri pour le protéger de la pluie et du dessèchement. L'idéal serait de le mettre sur un sol incliné, de sorte que l'excès d'humidité puisse s'écouler. Les tas de fumier conviennent particulièrement aux zones humides ou pendant la saison des pluies.

Le cône de fumier

Dans les régions semi-arides et arides, le fumier contient moins de paille, ce qui ralentit le processus de vieillissement. Le cône de fumier est une solution mieux adaptée à ces régions. On commence par faire un cercle d'un diamètre de 1,5 à 2 mètres. On ajoute chaque jour une couche de fumier épaisse de 30 cm. Chaque couche a un diamètre plus petit. Le sommet se situe à 1,5 m de hauteur. La surface latérale est couverte d'une couche de glaise ou de feuilles pour protéger le cône de la pluie et du dessèchement. Au bout de 4 à 5 mois, le fumier est prêt à l'emploi.



*Figure 9: Cône de fumier.
(Barbera Oranje)*

11 L'UTILISATION D'ENGRAIS CHIMIQUES

On peut ajouter directement des substances nutritives en répandant un engrais chimique sur le sol. Mais ce n'est pas suffisant pour conserver un niveau de fertilité du sol satisfaisant. Si la matière organique du sol diminue, le rendement va diminuer également, même si on a utilisé une grande quantité d'engrais. Cela vient de la dégradation de la structure du sol, d'une capacité moindre à retenir les substances nutritives et l'eau, et d'une augmentation de l'acidité. Pour les sols des tropiques pauvres en substances nutritives et exposés aux intempéries, il ne suffit apparemment pas d'augmenter le niveau de matière organique. Dans ces régions, il vaut mieux avoir une approche intégrale qui combine l'application d'un engrais chimique avec l'augmentation du niveau de matière organique.

11.1 Méthodes d'application

Il y a plusieurs façons d'épandre l'engrais chimique:

- ▶ semis à la volée: on sème uniformément les granulés d'engrais sur tout le champ, puis souvent, on les enfouit ou on les ratisse dans le sol;
- ▶ application par rangées: on applique l'engrais par rangées, juste à côté ou sous les semences.

Une application d'engrais chimique une fois que la culture a commencé à pousser, est appelée fumure en surface. Elle peut aussi s'effectuer à la volée ou par application en rangées. On applique généralement l'engrais à la volée pour les plantes semées drues sur une grande surface et pour les arbres fruitiers arrivés à maturité.

On l'applique souvent en rangées pour les plantes qui poussent aussi en rangées et lorsqu'il y a peu d'engrais disponible pour une terre infertile. Il ne faut pas appliquer l'engrais chimique à moins de 5 cm des semences, il risquerait de les brûler ainsi que les jeunes racines. Cet effet est visible notamment quand on répand de l'engrais chimique sur de jeunes feuilles (humides).

11.2 Les types d'engrais chimiques

Il y a de nombreux types d'engrais chimiques. Vous trouverez les plus utilisés ainsi que leur teneur en substances nutritives dans le Tableau 1. Par exemple, 100 kg d'urée contiennent 45 kg d'azote (N). Les 55 kg restants ne sont que du remplissage. Le phosphate diammonique contient 21 kg d'azote et 23 kg de phosphore par 100 kg d'engrais. Dans 100 kg de phosphate diammonique, il y a donc 56 kg de garniture.

En plus de ceux qui figurent dans le Tableau 1, on utilise souvent des engrais composés. Ils contiennent différents types d'engrais chimiques. Les engrais composés contiennent une proportion spécifique des substances nutritives azote (N), phosphate (P) et potassium (K). On les appelle donc les engrais N:P:K. Sur les sacs de ces engrais figurent toujours les quantités de chacune de ces substances nutritives qu'ils contiennent. Si l'étiquette porte la mention: 10:10:10, cela signifie que dans 100 kg d'engrais, il y a 10 kg de N, 10 kg de P_2O_5 et 10 kg de K_2O . Les 70 kg restants sont constitués de garniture qui ne contient aucune de ces substances. Un engrais qui porte la mention 18:18:0 contient 18 kg de N, 18 kg de P_2O_5 et 0 kg de K_2O pour 100 kg d'engrais. Dans ce cas, un sac de 100 kg d'engrais contient 64 kg de garniture qui peut aussi contenir une autre substance nutritive, notamment du SO_4^{2-} .

Tableau 1: Types d'engrais chimiques, teneur en substances nutritives et quantité de chaux nécessaire pour neutraliser l'effet acidifiant de l'engrais.

Engrais chimique	Formule chimique	Teneur en %			CaCO ₃ -nécessaire
		N	P	K	
Sulfate d'ammonium AS	(NH ₄) ₂ SO ₄	21	-	-	110
Ammonitrate de calcium CAN	(NH ₄ NO ₃)*CaCO ₃	20	-	-	-
Urée	CO(NH ₂) ₂	45	-	-	80
Phosphate monoammonique MAP	NH ₄ H ₂ PO ₄	11	20	-	-
Phosphate diammonique DAP	(NH ₄) ₂ HPO ₄	21	23	-	-
Superphosphate SSP	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	-	8	-	-
Superphosphate triple TSP	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	-	22	-	-
Scorie	(CaO) ₅ *P ₂ O ₅ *SiO	-	3-8	-	-
Phosphate naturel		-	11-17		
Chlorure de potassium	KCl	-	-	50	
Nitrate de potassium	KNO ₃ -	14	-	37	-
Sulfate de potassium	K ₂ SO ₄	-	-	42	
Sulfate de potassium et de magnésium	K ₂ SO ₄ *MgSO ₄	-	-	18	

*Quantité de CaCO₃ nécessaire pour neutraliser l'engrais chimique.

11.3 Moment et méthode d'application des engrais par substance nutritive

Chacun des différents engrais chimiques a ses caractéristiques propres, dont on doit tenir compte pour décider du moment et de la méthode d'application d'un engrais particulier. Certains sont adsorbés par les particules du sol. Cela signifie que les particules du sol doivent maintenir l'engrais en place en attendant son utilisation par les plantes et le libérer quand ces dernières en ont besoin. Si les particules du sol

fixent l'engrais, elles le retiendront au point qu'il restera en permanence hors de portée de la plupart des plantes. Certains engrais se volatilisent, c'est-à-dire qu'ils 's'évaporent' et disparaissent dans l'air sans rien apporter aux plantes. De plus, il faut aussi tenir compte du moment où la plante a le plus besoin des substances nutritives fournies par l'engrais.

Azote

La plupart des plantes annuelles ont un faible besoin en azote au début de leur période de croissance. Il devient surtout indispensable dans les périodes de tallage et de croissance rapide. Les particules du sol adsorbent et fixent l'ammonium (NH_4^+). Il faut donc mélanger soigneusement les engrais ammoniques avec le sol. Il en est de même pour l'urée qu'il faut éviter d'appliquer sur la surface du sol où elle risquerait de se volatiliser. L'ammonium et l'urée ne doivent pas se trouver à moins de 5 cm des semences. L'urée est convertie en ammonium dans le sol avant d'être adsorbée.

Toutefois, l'ammonium est vite convertie en nitrate (NO_3^-). Le nitrate n'est pas adsorbé. Cela signifie que l'azote sous forme de nitrate court un grand risque d'être lessivé en cas de pluie. Le nitrate-N risque aussi de se volatiliser en cas de pluie par le processus de dénitrification. L'azote est ainsi perdu pour toute la saison de croissance. Il est donc préférable de fractionner l'engrais azoté plutôt que de l'utiliser en une fois.

Après l'avoir appliqué au début de la période de croissance, on recommencera au moment du tallage et/ou au début de la floraison.

Si l'on sème l'ammonium et l'urée à la volée, il vaut mieux les appliquer avant les semences pour éviter qu'ils ne soient trop proches des graines et qu'ils les brûlent.

Phosphate

Le phosphate joue un rôle important dans le développement des racines des jeunes plantes. Il faut donc que ces dernières puissent en disposer au début de la période de croissance. Les superphosphates et les phosphates d'ammonium sont solubles dans l'eau, si bien que le

phosphate est directement disponible pour les plantes. C'est pourquoi il faut l'appliquer juste avant ou pendant les semailles. Toutefois, si le phosphate est fixé par les particules du sol, il n'est plus facilement disponible pour les plantes. Il faut donc prendre des précautions pour minimiser le contact entre le superphosphate et le sol. Le mieux est de mélanger le superphosphate avec de la matière organique avant de l'appliquer. En tout cas, il ne faut pas le semer à la volée, mais plutôt l'appliquer en rangées parallèles à celles des plantes. Le phosphate ne s'infiltré pas, ce sont les racines qui doivent pousser dans sa direction. Il ne faut donc pas l'appliquer trop loin des graines. Les phosphates de scorie et de roche ne sont pas solubles dans l'eau et ils mettent longtemps à être disponibles pour les plantes. Il faut donc appliquer ces engrais plusieurs semaines avant les semailles. Ces engrais phosphatés conviennent aux sols acides car l'acide favorise leur dissolution. Le mieux est de les semer à la volée. Les phosphates de scorie et de roche ont l'avantage de diminuer l'acidité du sol. On ne remarque l'effet progressif de ces engrais phosphatés que deux ou trois saisons après leur application.

Potassium

Le potassium est également important pour le développement du système racinaire et pendant la période de croissance. Il faut qu'il soit disponible pendant toute la période de croissance. Du fait qu'il est adsorbé par les particules du sol, il ne court aucun risque de lessivage, comme c'est le cas de l'azote. Le potassium adsorbé reste disponible pour les plantes. On peut donc appliquer la quantité nécessaire de potassium en une fois, au début de la saison. Il faut éviter d'appliquer les engrais potassiques à moins de 4 cm des semences. Le chlorure de potassium ne convient pas aux sols argileux ni aux sols qui ont un faible drainage.

11.4 Le chaulage

Le chaulage est le processus qui consiste à ajouter de la chaux, de la scorie d'acier ou d'autres matériaux dans le sol, pour le rendre moins acide ou pour augmenter son niveau de pH et favoriser ainsi la croissance des plantes et des micro-organismes.

De nombreux agriculteurs dans les tropiques sont confrontés à un grave problème: l'extrême acidité du sol. Un sol dont le taux de pH est inférieur à 5 est si acide qu'il entrave une croissance harmonieuse des plantes. Le problème de la toxicité à l'aluminium est particulièrement préoccupant. On peut diminuer l'acidité du sol en lui ajoutant de la chaux. Les facteurs suivants contribuent à acidifier les sols: l'utilisation d'engrais chimiques, l'enlèvement de résidus de plantes contenant des éléments basiques comme le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium, le lessivage d'éléments basiques, et la décomposition de matériaux organiques frais en substances nutritives. La détermination de la quantité de chaux nécessaire pour restaurer l'équilibre dans un sol trop acide, requiert une connaissance spécialisée qui dépasse les limites de cet Agrodok. Nous nous contenterons de déterminer la quantité de chaux nécessaire pour neutraliser l'effet acidifiant d'un engrais chimique.

L'urée et les engrais chimiques qui ajoutent de l'azote sous forme d'ammonium (NH_4^+) ont un effet acidifiant sur le sol. Cela signifie que le sol devient plus acide quand on y applique régulièrement de l'urée et des engrais ammoniacaux. L'apport de chaux (carbonate de calcium CaCO_3) peut compenser cet effet. La dernière colonne du Tableau 2 indique le nombre de kilos nécessaires pour neutraliser l'effet de 100 kg d'engrais chimique.

Il est important de ne pas appliquer la chaux uniquement sur la surface du sol, mais également sur ses couches inférieures. La chaux doit atteindre le niveau des racines des plantes (environ 30 cm). Elle ne peut arriver d'elle-même aux couches plus profondes que dans des sols très sableux. Dans les autres cas, il faut l'enfourer dans le sol. Il faut éviter d'en appliquer de grandes quantités d'un coup, car les racines ont besoin de temps pour s'adapter aux changements importants d'acidité. De plus, la matière organique du sol se décomposerait alors très rapidement, ce qui favoriserait le lessivage d'une plus grande quantité

d'azote libéré. Si le pH augmente trop, les engrais agissant lentement ne libéreront pas le phosphate.

La chaux et les (hydr)oxydes de l'industrie des engrais chimiques sont les sources de chaux les plus couramment utilisées. Le corail et la marne représentent deux sources naturelles de chaux. On utilise aussi parfois des scories de l'aciérie et de la cendre.

Ces différents matériaux n'ont pas la même efficacité. Elle se mesure souvent en relation avec l'efficacité du carbonate de calcium (CaCO_3). Par exemple, l'effet neutralisant de la chaux non-éteinte (oxyde de calcium CaO) est de 179%. Cela signifie que 100 kg de chaux non-éteinte a la même efficacité que 179 kg de carbonate de calcium. Un autre facteur important est la finesse du matériau. S'il est très fin, il se dissoudra rapidement et agira plus vite qu'un matériau plus grossier. L'augmentation de pH provoquée par un apport de chaux est temporaire. Il faut donc en appliquer régulièrement. Cela demande beaucoup de travail et coûte extrêmement cher.

Il est donc important d'utiliser des plantes ou des variétés peu sensibles à l'acide, en mesure de produire des rendements raisonnables dans des sols à faible pH. Dans la plupart des cas, cela signifie qu'elles peuvent supporter des concentrations élevées d'aluminium.

Tableau 2: Les plantes peu sensibles au acides (Source: Sanchez, 1976).

Plantes cultivées	Nombres scientifiques
Manioc, cassave	<i>Manihot esculenta</i>
Plantain	<i>Musa paradisiaca</i>
Haricot dolique, pois du Brésil	<i>Vigna unguilata</i>
Arachide	<i>Arachis hypogea</i>
Des fruits et des abres frutales	
Mangue, manguier	<i>Mangifera indica</i>
Anacardier, acajou à pommes	<i>Anacardium occidentale</i>
Limette acide, citronnier, citron et d'autres species de citrus	<i>Citrus aurantifolia</i> , limon and the other citrus species
Ananas	<i>Ananas comosus</i>
Patûres (légumineuses)	
Luzerne brésilienne	<i>Stylosanthes guyanenses</i>
Desmodie	<i>Desmodium intortum, incinatum</i>
Fleur languette	<i>Centrosema pubescens</i>
Puéraire, kudju	<i>Pueraria lobata</i>
Patûres (des herbes)	
Herbe à miel	<i>Melinis minutiflora</i>
-	<i>Brachiaria decumbens</i>
-	<i>Paspalum plicatulum</i>
-	<i>Hypharrhenia rufa</i>

PARTIE III CADRE THÉORIQUE

12 LES SUBSTANCES NUTRITIVES DES PLANTES

Les éléments nécessaires à la survie des plantes s'appellent des substances nutritives. Elles sont habituellement adsorbées par la solution du sol sous forme d'ions. Les ions sont des sels dissous (sels nutritifs) qui ont une charge électrique. Les particules chargées positivement sont appelées cations (par exemple l'ammoniaque NH_4^+), et les particules chargées négativement sont appelées anions (par exemple le nitrate, NO_3^- , le phosphate H_2PO_4^-). Nous mentionnerons à nouveau ces ions plus loin.

Les substances nutritives dont une plante a besoin pour accomplir un cycle entier de croissance s'appellent les substances nutritives essentielles. Une déficience de l'une d'entre elles aura des conséquences pour la plante, par exemple une croissance limitée ou une absence de fleurs, de graines ou de bulbes. Les plantes absorbent aussi d'autres substances nutritives dont elles n'ont pas besoin (par exemple le sodium Na) ou qui risquent même d'être nocives (par exemple l'aluminium Al ou le manganèse Mn). Les plantes n'ont pas besoin de la même quantité de chaque substance nutritive. C'est pourquoi les substances nutritives essentielles sont divisées en deux groupes.

Les macroéléments dont les plantes ont besoin en grandes quantités:

- carbone (C)
- hydrogène (H)
- oxygène (O)
- azote (N)
- phosphore (P)
- potassium (K)
- calcium (Ca)
- soufre (S)
- magnésium (Mg)

Les oligoéléments, dont les plantes ont besoin en petites quantités seulement:

fer (Fe)

manganèse (Mn)

bore (B)

zinc (Zn)

cuivre (Cu)

molybdène (Mo)

Nous aborderons brièvement plus loin les fonctions des macroéléments. Les oligoéléments sont aussi importants pour les plantes, mais les quantités nécessaires sont si faibles qu'une carence de l'un ou de plusieurs d'entre eux n'arrive que dans des circonstances particulières.

12.1 Les macroéléments

Azote

L'azote est très important pour la formation des protéines dans la plante. Il stimule la croissance des tiges et des feuilles. S'il y a suffisamment d'azote, les feuilles sont grandes et succulentes (riches en eau), dans le cas contraire, la croissance de la plante est freinée et ses feuilles restent petites et fibreuses. L'azote donne aussi à la plante sa couleur verte. S'il vient à manquer, les feuilles les plus anciennes prennent une couleur vert clair ou jaune, puis c'est au tour des jeunes feuilles. Une carence grave en azote empêche la floraison de la plante. Par contre, si les plantes absorbent trop d'azote, les tiges et les feuilles seront à la fois plus grandes et plus faibles. Les grains se dessècheront plus facilement et les plantes seront plus sensibles aux moisissures et aux pucerons. Les plantes risquent également de fleurir plus tard, ce qui entraînera un rendement plus faible dans une saison de croissance courte.

Dans le sol, l'azote est disponible pour les plantes sous forme de nitrate (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+).

Phosphore

Le phosphore joue un rôle important dans la respiration et l'apport d'énergie. Il stimule le développement des racines des jeunes plantes. Il a un effet positif sur le nombre de grains par épi et sur le poids du grain et, pour les plantes à bulbes, sur le développement du bulbe et des racines. Une carence en phosphore limite la croissance, surtout celle des racines, ce qui donne aux plantes une apparence trapue. Les feuilles deviennent bleu-vert foncé. Certaines plantes prennent une teinte violacée, d'abord à la base de la tige, puis sur la face inférieure des nervures principales des feuilles. Les grains et les fruits ne se développent pas, ou très peu. L'excès de phosphore n'est pas directement nuisible à la plante, mais il risque de provoquer une carence en zinc, en cuivre ou en fer.

Les plantes adsorbent le phosphore sous forme d'ions de phosphate (H_2PO_4^- ou HPO_4^-).

Potassium

Le potassium est nécessaire à la fermeté de la plante. Il lui donne de la force et la dote d'un important système racinaire aux ramifications étendues. Il favorise le développement des racines et des bulbes, et a un effet positif sur la taille des fruits et le poids des grains. Les plantes qui manquent de potassium restent petites et faibles et leurs feuilles tombent. Des taches claires apparaissent sur le bord des feuilles. Puis la feuille entière brunit. Une carence importante en potassium rend les feuilles bosselées car leurs nervures sont trop courtes. Les grains tombent plus facilement par terre. Les plantes qui disposent de peu de potassium sont moins à même de résister à la sécheresse et se flétriront plus rapidement. Un excès de potassium sature d'eau les feuilles et les récoltes. Il provoque également une carence en magnésium et en bore.

Soufre

Le soufre est nécessaire à la formation de composés organiques, de vitamines et d'autres composés de la plante. Avec une carence en soufre les feuilles prennent une couleur vert clair ou jaunissent (les mêmes symptômes qu'une carence en azote!). La croissance de la

plante est freinée et les tiges sont rigides, ligneuses et minces. Il y a rarement un excès de soufre.

Les plantes adsorbent le soufre sous forme de sulfate (SO_4^-).

Calcium

Le calcium est une importante composante des parois des cellules, il influe donc sur la croissance et la force de la plante. Une carence en calcium se manifeste d'abord sur les jeunes feuilles. Elles sont souvent déformées, petites et vert foncé. Les pointes des pousses meurent. Les feuilles sont plissées. Les racines ont une croissance nettement ralentie et elles risquent de pourrir. La tige est molle.

Magnésium

Le magnésium est entre autres nécessaire pour la photosynthèse. Une carence en magnésium se manifeste par des taches colorées sur les feuilles, en commençant par les feuilles plus anciennes. Les nervures des feuilles restent parfois vertes. Pour les céréales, la carence se manifeste par des bandes jaunes dans le sens de la longueur des feuilles. Une carence en magnésium risque de retarder le mûrissement des grains. Il y a rarement un excès de magnésium.

Chaque substance nutritive a donc sa fonction propre dans la plante. Une carence de l'une d'entre elles ne peut être compensée par une plus forte dose d'une autre. L'élément qui manque le plus détermine la hauteur et le rendement de la plante. La Figure 10 illustre ce principe à l'aide d'un schéma.

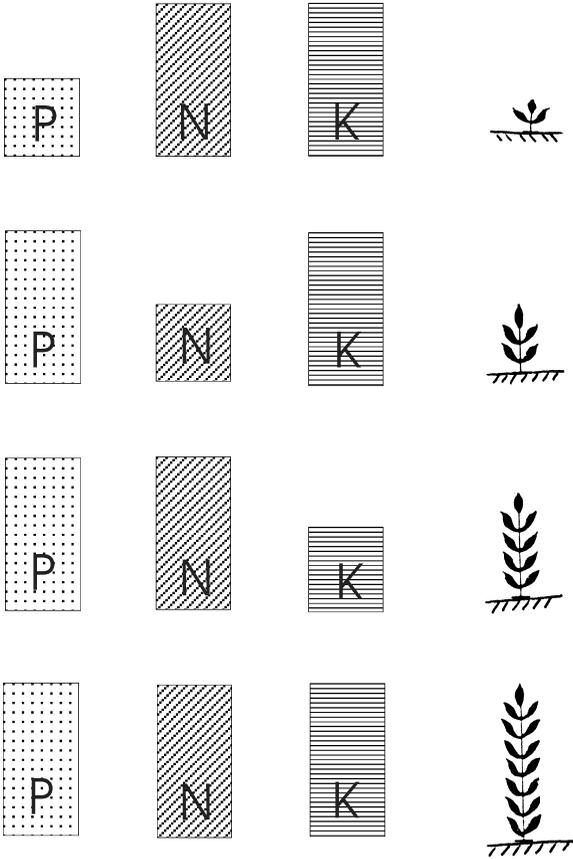


Figure 10: La croissance de la plante est déterminée par l'élément dont elle manque le plus (FAO, 1984).

13 IMPORTANTES CARACTÉRISTIQUES DU SOL

13.1 La structure du sol

La moitié du sol est constituée de particules solides et de matière organique. Les particules solides forme l'ossature du sol. L'autre moitié du sol est constituée de pores. Ces derniers sont remplis en partie d'air et en partie d'eau. La proportion de ces éléments est présentée schématiquement dans la Figure 11. Les petits pores retiennent bien l'eau. Les grands pores laissent échapper l'eau plus rapidement et sont donc généralement remplis d'air. Il y a également de nombreux micro-organismes qui vivent dans le sol.

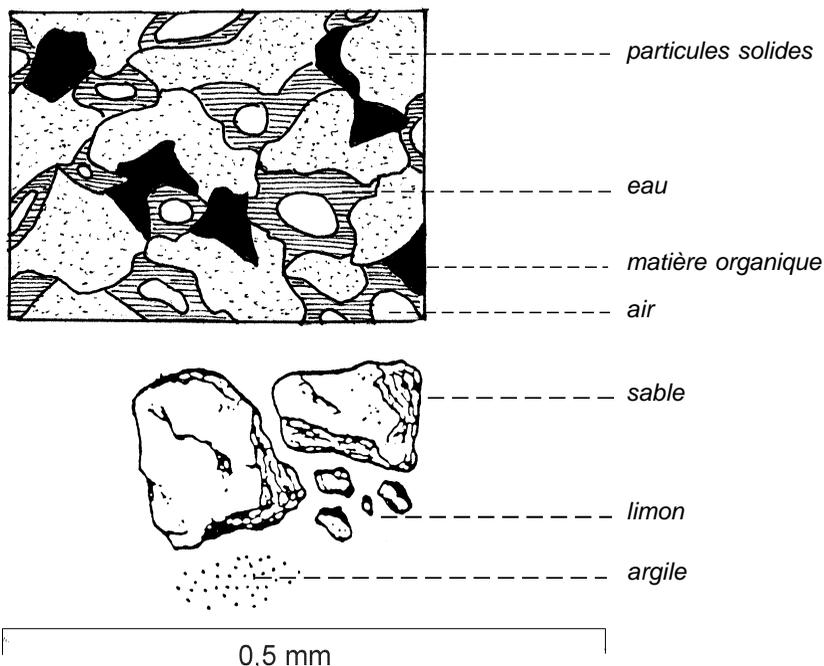


Figure 11: La proportion de particules solides, de matière organique, d'eau et d'air dans le sol (Hillel, 1980 et Barbera Oranje).

13.2 Les particules solides du sol

Les particules solides sont divisées en quatre groupes de texture, en fonction de leur taille.

- les graviers et les pierres: particules supérieures à 2 mm;
- le sable: particules inférieures à 2 mm;
- le limon moyen: particules comprises entre 0,002 mm et 0,050 mm;
- l'argile: particules inférieures à 0,002 mm.

La différence entre le sable, le limon moyen et l'argile n'est naturellement pas visible à l'oeil nu. Mais c'est important de faire la différence, chacun des groupes ayant ses caractéristiques propres.

Les particules d'argile sont les plus petites du sol. Elles sont en mesure d'absorber des substances nutritives et de les 'retenir'. Les pores entre les particules d'argiles sont très petits. L'argile se dilate quand elle est mouillée. Elle reste bien compacte. Elle est solide et très dure.

La taille et les caractéristiques des particules de limon se trouvent à mi-chemin entre celles de l'argile et du sable. Les pores sont plus petits que ceux du sable, mais plus grands que ceux de l'argile. Les particules de limon n'absorbent que peu de substances nutritives. Elles ne sont pas très adhésives; elles ressemblent plutôt à du talc quand elles sont sèches et à du savon une fois mouillées. Les particules de sables sont suffisamment grandes pour qu'on puisse les distinguer à l'oeil nu. Elles sont très granuleuses. Elles absorbent très peu les substances nutritives. Elles sont plus grossières que les particules d'argile et de limon, les pores qui les séparent sont donc plus grands. Elles n'adhèrent pas les unes aux autres.

Les graviers et les pierres n'ont aucune utilité pour les plantes. Ils ne retiennent ni substance nutritive, ni eau, et les pierres prennent la place de particules d'argile ou de limon qui pourraient le faire. De plus, les racines doivent contourner les pierres pour pousser, ce qui leur fait perdre de l'énergie inutilement.

13.3 Agrégats

Si le sol est constitué de différents groupes de texture, ses particules auront tendance à former des agrégats. Ce sont des amas ou des groupements de différentes particules du sol (sable, limon, argile et matière organique). L'humus sert souvent de 'ciment' dans la formation des agrégats. La matière organique favorise donc leur formation. De plus, les organismes du sol jouent un rôle important dans la formation et la stabilité des agrégats. Les moisissures et les Actinomycètes lient les particules entre elles à l'aide de leurs filaments. Les vers de terre 'mangent' le sol et forment dans leur estomac des agrégats de particules du sol et d'humus, qu'ils excrètent ensuite.

Des pores de tailles variées se forment en même temps que les agrégats: des pores fins qui retiennent l'eau dans les agrégats et des pores plus grands entre les agrégats. L'eau s'écoule rapidement des grands pores et ils se remplissent d'air. Les agrégats du sol fournissent ainsi aux racines les éléments fondamentaux que sont l'eau, les substances nutritives et l'oxygène.

13.4 Matière organique dans le sol

La matière organique dans le sol est composée de matériau organique frais et d'humus. Le matériau organique frais est constitué par des restes de plantes et d'animaux non encore décomposés, tels les racines, les résidus de récoltes, les excréments et les cadavres d'animaux. Les organismes du sol transforment le matériau frais en humus, qu'on appelle aussi matière organique du sol. Au cours du processus, des substances nutritives sont libérées; la matière organique rend donc les substances nutritives disponibles pour les plantes. L'humus, c'est-à-dire la matière organique du sol, est un matériau qui a été décomposé au point que l'on ne peut plus distinguer le matériau frais d'origine. Il donne une couleur foncée au sol. L'humus est à son tour décomposé par les organismes du sol qui libèrent encore plus de substances nutritives, mais ce processus prend beaucoup plus de temps. L'humus retient également beaucoup d'eau et de substances nutritives.

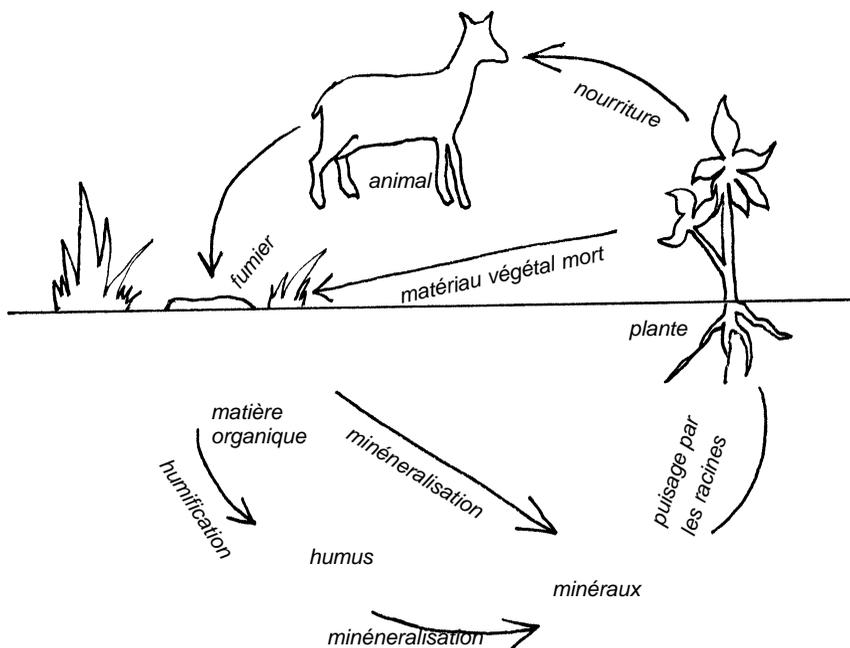


Figure 12: Le cycle de la matière organique (Barbera Oranje).

La matière organique a une grande capacité à retenir les substances nutritives, elle augmente donc la CEC (capacité d'échange ionique) dans le sol (voir également plus loin, les caractéristiques chimiques du sol). C'est particulièrement important pour les sols sableux qui retiennent très peu de substances nutritives.

La matière organique retient beaucoup d'eau, ce qui signifie que pendant les périodes de sécheresse, les plantes ont plus d'eau à leur disposition et pendant plus longtemps. C'est aussi particulièrement important pour les sols sableux qui retiennent peu d'eau.

La matière organique participe à la formation des agrégats et permet donc d'améliorer la structure du sol. C'est important pour les sols sableux et argileux, qui ont tous deux une structure médiocre.

La matière organique fixe H^+ et empêche les sols de devenir acides.

Enfin, la matière organique stimule la croissance des organismes du sol qui rendent les substances nutritives contenues dans la matière organique disponibles pour les plantes.

13.5 Organismes du sol

De nombreux types d'organismes, animaux et végétaux, vivent dans le sol. Certains sont clairement visibles, comme les vers de terre, les coléoptères, les mites, les nématodes (anguillules) et les termites. Mais la plupart d'entre eux sont si petits qu'on ne peut les voir à l'oeil nu ni avec une loupe. C'est ce qu'on appelle des micro-organismes. Les principaux sont les bactéries, les moisissures et les protozoaires. Il y a des millions de micro-organismes qui vivent dans une poignée de sol fertile. Dans la Figure 13 vous verrez quelques-uns des organismes de sol les plus importants.

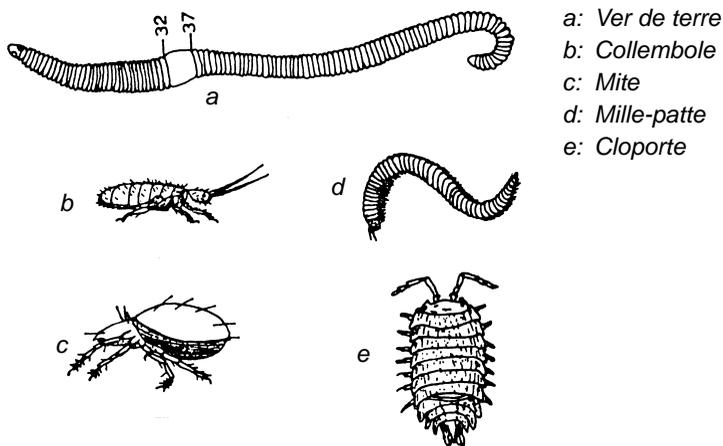


Figure 13: Micro-organismes les plus courants (Uriyo, 1979).

Les insectes et les micro-organismes qui vivent dans le sol ont un effet positif sur la structure du sol.

- Les animaux du sol comme les vers de terre et les coléoptères creusent des tunnels qui font ensuite office de pores. Les racines des plantes utilisent ensuite ces tunnels, ce qui est particulièrement intéressant dans les sols qui ont surtout de petits pores (de nombreux sols argileux).

- Ils participent également à la formation et à la stabilité des agrégats.
- Ils permettent un bon brassage du sol et de la matière organique. En mangeant la matière organique fraîche et en l'excrétant ailleurs, les organismes du sol la répartissent dans tout le sol. Sans eux, la matière organique resterait à la surface du sol.

Un bon brassage du sol et de la matière organique est important pour les raisons suivantes:

- La matière organique libère des substances nutritives. Elles doivent être disponibles pour les racines, donc sur toute la surface supérieure du sol.
- La matière organique améliore la structure du sol en formant des agrégats avec les particules solides. Mais il faut auparavant qu'elle se mélange aux particules du sol.

13.6 Immobilisation de l'azote (N) et le rapport C:N

Les micro-organismes décomposent la matière organique qui libère des substances nutritives. Mais les micro-organismes eux-mêmes ont besoin de carbone et de substances nutritives, notamment d'azote. Le tissu de tout matériau organique est constitué pour presque la moitié de carbone. Le niveau d'azote varie beaucoup entre les différents types de matériau organique. En général, le matériau organique ancien et grossier a un rapport C:N élevé, autrement dit, sa teneur en azote est faible comparée à sa teneur en carbone. Le matériau jeune et succulent a généralement un rapport C:N bas, c'est-à-dire qu'il a une teneur en azote élevée. Si on ajoute un matériau organique ancien et grossier (de la paille, par exemple), les micro-organismes auront besoin au départ d'une quantité de N plus grande que celle que libérera le matériau. Ils absorberont, en plus de l'azote libéré par la paille, celui qui était déjà disponible dans le sol (par exemple sous forme de nitrate (NO_3^-) ou d'azote ammoniacal (NH_4^+)). Après l'apport de paille dans le sol, il y a donc une période pendant laquelle les micro-organismes prennent tout l'azote disponible dans le sol. C'est ce qu'on appelle l'immobilisation. Il n'y a alors pas ou peu d'azote disponible pour les plantes. Après la décomposition complète de la paille, il n'y a plus assez de nourriture pour tous les micro-organismes. Une grande partie d'entre eux meurent et se décomposent à leur tour. L'azote qu'ils ont adsorbé est à nouveau disponible pour les plantes. Dans un climat chaud et humide, ce cycle

se déroule rapidement, et la période d'immobilisation est courte (quelques semaines). Dans les zones sèches, la période d'immobilisation est longue (plus d'une saison de croissance).

13.7 Caractéristiques chimiques du sol

En plus de la structure du sol, deux autres caractéristiques permettent de déterminer la disponibilité de l'azote dans le sol: l'acidité (pH) et la capacité d'échange cationique (CEC).

L'acidité du sol (pH)

Le niveau d'acidité correspond au degré d'acidité ou d'alcalinité (= absence d'acidité) de l'humidité dans le sol. On peut comparer un sol extrêmement acide à du vinaigre, un sol extrêmement alcalin à du savon. Naturellement, le niveau d'acidité influence la croissance des racines des plantes. Le niveau d'acidité est indiqué par le symbole pH. Un sol acide a un pH inférieur à 6. C'est un sol qui contient beaucoup de H⁺. Un sol alcalin (c'est-à-dire un sol non-acide) a un pH supérieur à 7. Un sol au pH compris entre 6 et 7 est neutre: entre acide et alcalin. Un pH de 4 ou de 10 est extrême, la plupart des sols ont un pH compris entre 5 et 9. Les niveaux de pH bas ou élevés entraînent une carence en substances nutritives. De plus, un pH bas provoque un excès de fer (Fe, à des niveaux de pH < 4,5), d'aluminium (Al, à des niveaux de pH < 5) et de manganèse (Mn, à des niveaux de pH < 4,5) dans le sol. Une quantité excessive de ces substances nutritives est très nocive pour les plantes. L'acidité du sol a également une grande influence sur la disponibilité des substances nutritives pour la plante, comme on peut le voir dans la Figure 14. De plus, les micro-organismes sont moins actifs dans des sol qui ont un pH élevé ou bas: ils décomposent moins de matière organique, ce qui limite le nombre de substances nutritives disponibles.

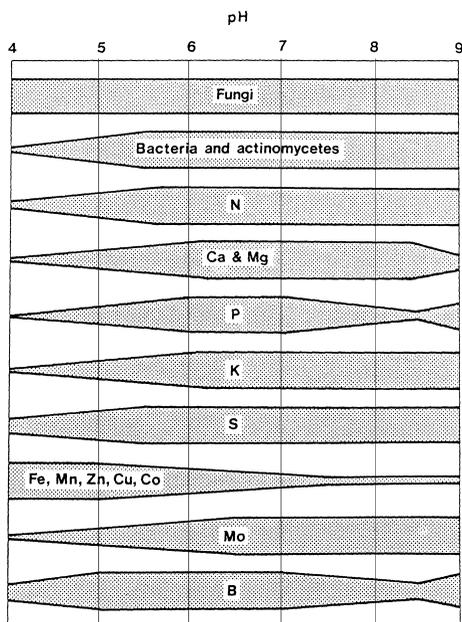


Figure 14: Disponibilité des substances nutritives importantes et activité des micro-organismes à différents niveaux de pH (une bande plus large représente une plus grande disponibilité ou une plus grande activité) (Source: FAO, 1984).

Les plantes n'ont pas la même sensibilité à un pH bas ou élevé et à la toxicité de l'aluminium, du fer et du manganèse. Certaines plantes résistent à un niveau bas de pH ou même le préfère, c'est le cas pour d'autres avec un niveau élevé de pH. La Figure 15 donne les caractéristiques de certaines plantes dans ce domaine.

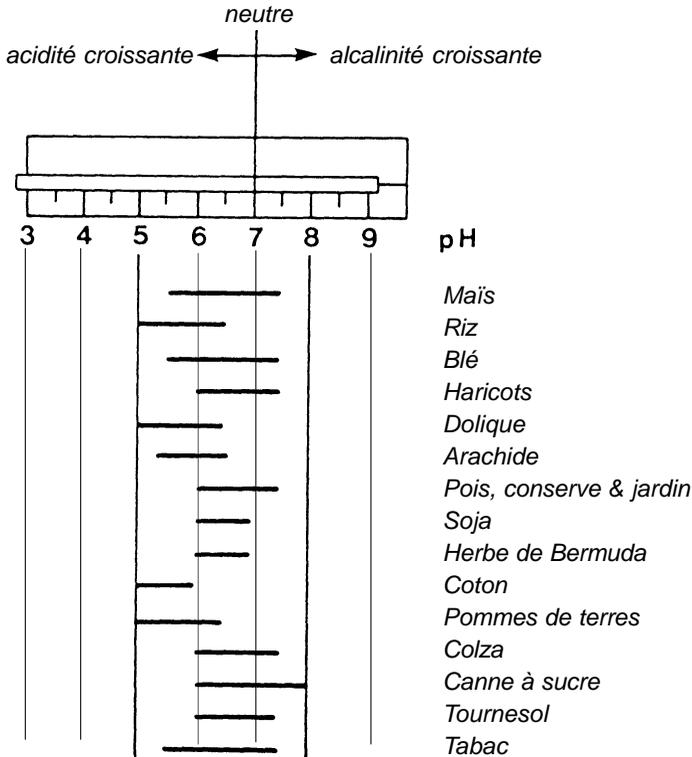


Figure 15: pH du sol optimal pour certaines plantes (Source: FAO, 1984).

La CEC: Capacité d'Echange Cationique

La plupart des particules du sol ont une charge négative. Elles attirent donc les substances nutritives présentes dans le sol sous forme de cations chargés positivement. Les cations ont une liaison peu serrée: il y a un échange constant de cations entre les particules et la solution du sol. La capacité du sol à retenir des substances nutritives chargées positivement est appelée Capacité d'Echange Cationique. La CEC est déterminée par la proportion de différents groupes de textures et d'humus: les particules d'argile retiennent beaucoup de substances nutritives et donnent donc une CEC élevée; le sable et le limon retiennent peu de cations et n'ont que peu d'influence sur la CEC. L'humus retient beaucoup de substances nutritives. Même s'il ne constitue qu'une petite partie du sol, il a une grande influence sur la CEC.

14 LE DIAGNOSTIC DU SOL

Un certain nombre de facteurs importants permettent d'évaluer si le sol est propre à l'agriculture:

- la texture et la structure du sol;
- la présence de couches imperméables;
- le niveau de matière organique et de vie dans le sol;
- les réserves en substances nutritives;
- le taux de pH.

La simple observation et des expériences permettent d'avoir une indication générale sur certains facteurs. Pour les autres, il faut faire appel à une assistance professionnelle par l'intermédiaire d'un centre d'information ou d'un institut des sciences du sol. Vous trouverez ci-dessous des suggestions vous permettant d'effectuer des tests vous-mêmes.

14.1 Texture et structure du sol

Les particules solides du sol déterminent en grande partie les caractéristiques d'un sol. C'est pourquoi les sols sont divisés en différentes catégories de texture en fonction du rapport des divers groupes de textures présents. Il est également important de connaître la disposition des particules du sol. C'est ce qu'on appelle la structure du sol. Un sol qui contient des pores de tailles différentes a une bonne structure. Si les pores sont tous soit petits, soit grands, la structure du sol est médiocre. Ce sont donc les agrégats qui créent une bonne structure du sol. La stabilité des agrégats est également un facteur important: si le sol contient des agrégats peu solides, il aura tendance à former une croûte (voir Partie III, Chapitre 13).

Identification de la catégorie de texture

On peut déterminer la catégorie de structure du sol en effectuant quelques tests simples.

- On forme une boule d'environ 2,5 cm de diamètre à partir d'une cuillerée à soupe de terre fine.

- On fait tomber de l'eau goutte à goutte sur la terre jusqu'à ce qu'elle commence à coller à la main.
- Comment est le sol au toucher: granuleux ou collant?
- Essayez de former un carré solide avec la terre.
- Essayez d'enrouler le carré. Si vous y parvenez, humidifiez le rouleau, puis observez sa surface. Est-elle brillante ou terne?
- Essayez de former un anneau avec le rouleau.
- A partir de l'anneau, déterminez si le sol est collant, friable ou s'il se désagrège, quand il est humide et quand il est sec.

Identifiez avec l'aide du Tableau 3 la catégorie de texture correspondant à votre sol.

Tableau 3: Catégories de texture.

Catégorie- s de texture du sol	Contact du sol	Peut former un carré solide	Peut former un fin rouleau	Peut former un anneau	Humide	Sec
Sable	très granuleux, ne salit pas les doigts	non	non	non	meuble et monoparticulaire	meuble
Sable limoneux	très granuleux	non, forme des carrés peu solide	non	non	un peu cohésif	meuble
Limon moyen	lisse, poudre fine	oui	oui, forme médiocre et surface terne	non	savonneux	doux, poussiéreux
Terre glaiseuse	granuleux et collant	oui	oui	non	savonneux et plus ou moins plastique	doux, poussiéreux
Limon argileux	lisse et collant	oui	oui, bonne forme, surface brillante	non	ferme	un peu dur à dur, pas de poussière
Argile légère	plus du tout granuleux seulement collant	oui (solide)	oui, bonne forme, surface brillante	oui, (craquelures sur la surface)	très ferme	dur à très dur, pas de poussière
Argile lourde	très collant	oui (très solide)	oui, bonne forme, surface brillante	oui, sans craquelures	très ferme	dur à très dur, pas de poussière

Les sols sableux sont ouverts, meubles et friables. Ils ont une bonne ventilation et un bon drainage. Ils sont faciles à travailler, qu'ils soient humides ou secs. L'inconvénient, c'est qu'ils retiennent mal l'eau et les substances nutritives pour les plantes. Les catégories 'sable' et 'sable limoneux' sont des sols sableux.

Un sol qui a la même quantité d'argile, de limon et de sable s'appelle terre glaiseuse. Ce sol idéal retient bien l'eau et les substances nutritives, a un bon drainage et une bonne ventilation, et est facile à travailler. Si le sol limoneux contient plus d'argile ou de sable, il prend les caractéristiques d'un de ces deux sols. Les catégories qui appartiennent aux sols limoneux sont les limon sableux, limon moyen, limon argileux et terre glaiseuse. Les argiles noires et gris-brun ont des petits pores, leur drainage et leur ventilation sont donc mauvais. Les racines des plantes ont du mal à pousser entre les petits pores. La structure de l'argile rouge est particulière: les particules d'argile sont disposées de telle sorte qu'il y a aussi de grands pores. Les sols en argile rouge bénéficient donc d'un bon drainage et d'une bonne ventilation. Mais il se forme des flaques à leur surface, comme c'est le cas pour les autres sols argileux, quand ils sont mouillés et sous pression (lors du labourage, par exemple). Les sols argileux ont une grande capacité à retenir l'eau et les substances nutritives. Ils sont cependant difficiles à cultiver: secs, ils sont très durs et une fois humides, ils sont très collants. Parmi les sols argileux, on compte l'argile sableuse, l'argile limoneuse et l'argile.

Diagnostic de la stabilité des agrégats

Le test suivant donne une indication sur la stabilité des agrégats dans le sol. Prenez un pot ou un bocal. Tamisez les agrégats du sol (avec un tamis ou éventuellement avec vos mains) et placez-les dans le récipient. Tracez un trait juste au-dessus des agrégats. Ensuite, versez de l'eau dans le récipient le long de la paroi jusqu'à ce que le sol soit imbibé ou que les agrégats soient recouverts. Ne versez pas l'eau directement sur les agrégats! Laissez reposer quelques minutes. Tapotez fermement le récipient plusieurs fois. Laissez à nouveau reposer quelques minutes. Si les agrégats atteignent encore le trait, c'est que leur stabilité est généralement bonne. Si leur niveau est nettement plus bas que le trait, leur stabilité est médiocre. Vous pouvez

également avoir une indication sur la stabilité des agrégats sur le terrain, en observant le sol après une forte pluie. Si la surface est hermétique, la stabilité des agrégats est faible.

14.2 Niveau de matière organique

On peut déterminer si le sol contient beaucoup ou peu de matière organique d'après sa couleur. La matière organique est surtout présente sur la couche supérieure du sol qui prend donc une couleur foncée, car l'humus est noir. Si la couche supérieure n'est pas nettement plus foncée que les couches inférieures, le sol contient peu de matière organique.

Un autre indice de la présence de matière organique est la présence d'organismes du sol. S'il y en a beaucoup, c'est qu'il y a de la matière organique. Vous pouvez voir entre autres des vers de terre, des petits coléoptères et des collemboles. Un autre test consiste à chauffer une grosse poignée de terre dans une casserole d'eau. S'il se dégage une odeur de moisissure, le sol contient probablement de la matière organique.

14.3 Couches imperméables

Pour faire le diagnostic d'un sol, il ne faut pas se contenter d'observer la couche de surface, mais aussi les couches inférieures. La matière organique et les substances nutritives se trouvent surtout dans la couche supérieure. Mais les racines des plantes puisent beaucoup d'eau et de substances nutritives dans les couches inférieures. Si les racines n'arrivent pas à traverser la seconde couche, elles devront puiser toute l'eau et les substances nutritives dans la couche de surface. C'est-à-dire qu'elles disposeront de moins d'eau et de moins de substances nutritives et le système racinaire sera limité. La Figure 16 illustre cette situation. Un manque d'eau et de substances nutritives se produira plus souvent dans un sol qui contient une couche imperméable.

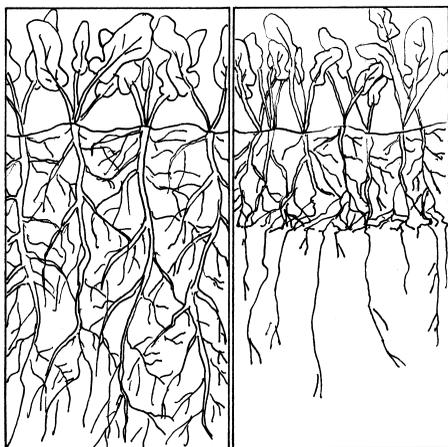


Figure 16: Les effets d'une couche imperméable sur le système racinaire.
(Barbera Oranje)

Si la couche imperméable est proche de la surface (à moins d'un demi-mètre de profondeur), le sol ne pourra probablement pas nourrir de cultures. Avec l'aide de machines, on peut percer une couche d'argile imperméable en creusant très profondément. La couche inférieure se mélange alors avec la couche supérieure. Mais c'est pratiquement impossible de le faire manuellement.

Les couches imperméables peuvent poser un autre problème: après de fortes pluies, l'eau ne peut pas s'infiltrer dans le sous-sol. Tous les pores se trouvant au-dessus de la couche imperméable sont inondés et les racines ne reçoivent pas assez d'oxygène, ce qui les empêche de respirer et d'absorber de l'eau et des substances nutritives.

14.4 Réserve de substances nutritives

Observation visuelle

Cette méthode consiste à vérifier si les plantes qui poussent dans le champ montrent des signes de carence en substances nutritives. Ces symptômes indiquent une carence en une substance nutritive précise. La Figure 17 montre comment le manque d'un élément dans le sol affecte les céréales.

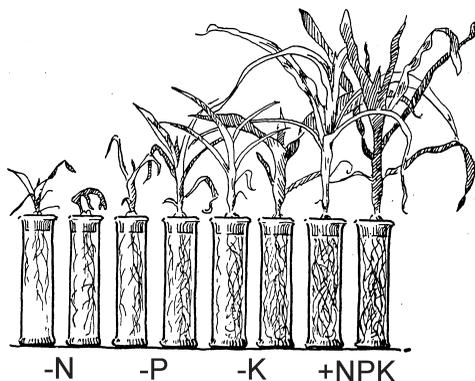


Figure 17: Céréales poussant dans des solutions de substances nutritives qui ont toutes une carence en un élément précis. La plante la plus à gauche n'a aucune carence (Bloemsma, 1946).

Le Tableau 4 montre la liste des symptômes de carence des cultures dus au manque d'un élément.

Tableau 4: Symptômes de carence.

Visibles d'abord sur les feuilles les plus anciennes	Substances nutritives
La feuille jaunit en commençant par la pointe	Azote
Le bord de la feuille se dessèche	Potassium
La feuille jaunit, surtout entre les nervures (qui restent vertes)	Magnésium
Des taches brunes, grises ou blanches apparaissent sur la feuille	Manganèse
Les feuilles vertes et les tiges prennent une couleur rouge-violacé	Phosphore
Signes de dessèchement entre les nervures et sur les petites feuilles	Zinc
Visibles d'abord sur les feuilles les plus récentes	Substances nutritives
Taches d'un vert jaunâtre sur les feuilles et nervures jaunes	Soufre
Taches d'un vert jaunâtre sur les feuilles et nervure vertes	Fer
Taches d'un noir brunâtre	Manganèse
Le bord des feuilles jaunissent	Molybdène
La pointe des jeunes feuilles est blanche	Cuivre
Les jeunes feuilles sont brunes ou mortes au niveau de la tige	Bore
Les jeunes feuilles sont noires ou mortes vers le sommet de la plante	Calcium

Il est donc très difficile de déterminer si une plante a une carence en substances nutritives en analysant ses symptômes de carence. Il faut beaucoup d'expérience pour mener l'analyse à bien, mais il n'y a pas d'alternative et la méthode d'interprétation visuelle peut donner une bonne indication.

Tests sur le terrain

Avec cette méthode, on effectue une étude du terrain pour déterminer de quelle substance nutritive manquent les plantes. On compare des superficies sans engrais avec d'autres auxquelles on a ajouté un élément (généralement N, P ou K), et d'autres encore auxquelles on a ajouté un mélange de ces éléments. S'il n'y a aucune différence entre les zones avec engrais et les zones sans engrais, c'est qu'il n'y a pas de carence, ou qu'il y a un autre facteur défavorable. Si le rendement des zones fertilisées est plus élevé c'est qu'il y a une carence. Pour déterminer l'exact dosage d'éléments à ajouter, il faut faire des tests avec des quantités différentes. On peut ensuite faire la comparaison avec les analyses du sol.

Les types de sol

Il n'y a pas deux sols pareils, mais la plupart ont des caractéristiques communes. Ceux qui en ont beaucoup en commun forment un type de sol déterminé. En repérant le type d'un sol, vous connaîtrez ses caractéristiques essentielles et ses limites. Il y a plusieurs façons de classer les types de sol. Vous trouverez dans l'Annexe 1 la liste des types de sol les plus courants, leurs caractéristiques et les problèmes qu'ils posent. Cette liste correspond au système de classification développé par la FAO, l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture des Nations Unies, qui divise les types de sol selon des caractéristiques facilement reconnaissables.

Il existe des cartes du sol d'un grand nombre de régions. On trouve souvent des informations sur ces cartes dans les services d'information agricoles ou dans les instituts de recherche sur le sol.

On peut aussi glaner des informations sur le sol en interrogeant les habitants de la région. Les agriculteurs vous décriront ce qu'ils considèrent comme un bon sol, et comment ils le distinguent d'un mauvais sol. Leur méthode peut être basée sur la couleur, sur le toucher ou sur la végétation qui y pousse. Les plantes qui poussent spontanément sur un sol donnent une bonne indication des caractéristiques du sol. Certaines plantes ne poussent que sur un sol acide ou riche en chaux, d'autres ne poussent que sur un sol très fertile et d'autres encore préfèrent les sols souvent inondés (signe d'un mauvais drainage). Les plantes diffèrent beaucoup selon les régions, il est impossible de donner une ligne directrice sur ce sujet.

LITTÉRATURE UTILISÉE

Driessen, P.M. et Dudal R., Eds. **Lecture notes on the major soils of the world**. 1989. Université d'Agronomie de Wageningen, Pays-Bas, et Université Catholique de Liège, Belgique.

FAO. **Fertilizer and plant nutrition guide**. 1984. FAO fertilizer and plant nutrition bulletin 9. Rome.

Mengel, K. et Kirkby, E.A. **Principles of Plant Nutrition**. 1987. International Potash Institute, 687 pp. ISBN 3-906-535-03-7.

Müller-Sämman, K.M. et Kotchi, J. **Sustaining growth: soil fertility management in tropical smallholders**. 1994. CTA: GTZ Margraf Verlag, Weikersheim, Allemagne. ISBN 3-8236-1226-3.

Sanchez, P.A., **Properties and management of soils in the tropics**. 1976. Wiley, New York.

Uriyo, A.P. et al.. **Introductory soil science**. 1979. Tanzania Publishing House, Dar es Salaam.

Wijewardene, R. and Waidyanatha. **Conservation farming for small farmers in the tropics**. 1984. Dept. of Agriculture, Colombo, Sri Lanka.

LITTÉRATURE RECOMMANDÉE

Anschütz, J. et al. **Collecter l'eau et conserver l'humidité du sol.** 1998. Agromisa/CTA, Série-Agrodok N° 13, 96 pp. ISBN 90-72746-83-X

Brils, C., et al. **L'agroforestrie.** 1994. Agromisa/CTA, Série-Agrodok N° 16, 80 pp. ISBN 90-72746-55-4.

Inckel, M. et al. **La fabrication et l'utilisation du compost.** 1997. Agromisa/CTA, Série-Agrodok N° 8, 36 pp. ISBN 90-72746-69-4.

Lavigne Delville, Ph. **Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel.** 1996. Diagnostic et conseil aux paysans. GRET/ CF/CTA, Collection LE POINT SUR. ISBN 2-86844-084-3.

Dupriez, H. et Leener de, Ph. **Agriculture tropicale en milieu paysan africain.** 1986. Terre et Vie/ENDA/L'Harmattan/CTA. ISBN 2-87105-000-7.

Dupriez, H. et Leener de, Ph. **Les chemins de l'eau : ruissellement, irrigation, drainage,** 1992. Terre et Vie/ENDA/L'Harmattan/CTA. ISBN 2-87105-009-X.

Reij, C., Scoones I. et Toulmin C. (éds), **Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique,** 1996. CDACS/CTA/ Karthala. ISBN 2-86537-696-7.

Ces livres sont gratuits pour les abonnés du Service de distribution des publications (SDP) du CTA. Pour des détails, voir le verso de la couverture de cet Agrodok.

ANNEXE 1 Principaux types de sol dans les tropiques

- ▶ Sols argileux rouges, d'un jaune rougeâtre ou jaunes (ferralsols)
Ce sont des sols argileux fortement soumis aux intempéries et très pauvres. Ils contiennent peu de substances nutritives. Ils ont une structure friable qui devient facilement hermétique une fois mouillée. Les racines, l'eau et la lumière les pénètrent facilement. Ils retiennent peu d'eau et de substances nutritives. Leur teneur en fer et en aluminium est parfois toxique. La culture des plantes annuelles entraîne une perte de matière organique, l'érosion et une fertilité nettement diminuée. La seule méthode de culture possible est un système avec de longues périodes de jachère ou des plantations de forêts. Il faut couvrir le sol et le cycle des substances nutritives doit être complet.

- ▶ Sols argileux d'un rouge brillant et d'un brun rougeâtre (nitisols)
On peut les distinguer des ferralsols à la surface de leurs agrégats qui est brillante, ce qui n'est pas le cas des ferralsols. Leur structure est lâche et fragile, mais il retiennent tout de même bien l'eau. Les racines les pénètrent facilement. Ils sont moins pauvres en substances nutritives que les ferralsols, car ils retiennent assez bien les substances nutritives. Ces sols sont fertiles si on leur applique régulièrement un engrais bien équilibré. On peut les cultiver en permanence, mais il vaut mieux qu'ils soient toujours couverts.

- ▶ Sols sableux (arénoles)
Ces sols sont constitués en grande partie de sable, ce qui leur donne une structure médiocre. Ils sont faciles à travailler. Les racines, l'eau et la lumière les pénètrent facilement, mais ils retiennent peu d'eau. Dans les régions très pluvieuses (plus de 1000 mm par an), ces sols sont souvent acides. Il faut veiller à maintenir le niveau de matière organique. On peut utiliser du fumier pour améliorer le sol. Il vaut mieux y cultiver des plantes aux systèmes racinaires profonds. Ces sols sont très sensibles à l'érosion.

► Sols calcaires (calcisols)

Les sols calcaire contiennentt une très grande quantité de chaux (carbonate de calcium). On les trouve la plupart du temps dans les régions sèches et très sèches, où l'eau est l'obstacle le plus important à l'agriculture et où le sol contient souvent beaucoup de pierres. Les sols calcaires ont une bonne structure et retiennent bien l'eau. Ils sont fertiles malgré leur faible teneur en matière organique. On peut y cultiver des plantes qui résistent bien à la sécheresse.

► Sols superficiels (leptosols ou lithosols)

Les sols superficiels (moins de 10 cm) sur les rochers ou le calcaire ne peuvent retenir assez d'eau et de substances nutritives pour nourrir les plantes. Les racines des arbres et des arbustes sont plus à même de pénétrer la couche dure, il vaut donc mieux que ces sols soient couverts de forêts. Si on veut les utiliser pour l'agriculture, un système de cultures sur plusieurs années (agroforesterie) est recommandé.

► Sols noirs (vertisols)

Ce sont des sols d'argile lourde, qui contiennent peu de matière organique. C'est l'argile qui leur donne leur couleur noire. Au cours de la saison sèche, il se forme des fissures profondes qui permettent à une grande quantité de pluie de pénétrer au début de la saison des pluies. Une fois mouillé, le sol se dilate, les fissures se referment et l'eau ne peut plus pénétrer dans le sol. Les sols noirs peuvent donner des rendements élevés si on s'en occupe bien. Ils sont difficiles à travailler; mouillés, ils deviennent très lourds et collants, et secs, ils sont extrêmement durs. Leur structure est très médiocre et la capacité d'infiltration de l'eau est très limitée. Il est indispensable d'ajouter de la matière organique pour améliorer la structure. Un bon drainage est également essentiel. Ces sols sont riches en magnésium et en calcium, mais ils ont besoin d'un apport d'azote et de phosphore.

► Sols salins (solonchaks)

Les sols salins n'ont pas de structure et contiennent beaucoup de sel. On voit souvent des taches blanches à la surface, là où le sel s'est accumulé. On trouve ces sols dans des régions sèches où la nappe phréatique n'est pas très profonde. Il faut mettre en place un bon système d'irrigation et de drainage pour pouvoir les cultiver.

- Sols fortement exposés aux intempéries et avec une couche inférieure d'argile (acrisols, alisols et luvisols)
Ces sols sont constitués d'une couche de matériau disjoints, sans agrégats, à la surface, et d'une couche inférieure d'argile. Le drainage est donc faible. Pour pouvoir les cultiver, il faut mettre en place un système de drainage pour évacuer l'eau qui n'arrive pas à s'infiltrer dans le sol. La couche de surface s'effondre facilement et est très sensible à l'érosion. La fertilité du sol est faible. Il est essentiel de maintenir le niveau de matière organique du fait de ses effets positifs sur la structure du sol. La faible fertilité rend ces sols très acides (acrisols et alisols) et la présence d'aluminium risque de les rendre toxiques. Il peut être bon d'y ajouter de la chaux.

- Sols alluviaux fertiles (fluvisols)
De jeunes sols se forment à partir des dépôts de limon dans les vallées et les estuaires des rivières et dans les régions côtières. Dans la plupart des cas, ces sols sont régulièrement inondés, et un nouveau dépôt de limon s'ensuit. Ils sont donc souvent très fertiles. Des cultures intensives risquent de provoquer un épuisement des substances nutritives. Dans ce cas, il faut absolument maintenir un niveau suffisant de substances nutritives et de matière organique.

ANNEXE 2 Glossaire

(Beaucoup de ces termes sont plus amplement expliqués dans la Partie III, Chapitre 13)

Acidification	Processus par lequel le pH du sol baisse, c'est à dire que le sol devient plus acide. Il prend les propriétés du vinaigre, ce que de nombreuses plantes n'apprécient guère.
Adsorber	Lier les cations dissous dans le liquide du sol aux particules du sol.
Agrégats	Fragments de particules du sol qui ont une liaison peu serrée entre elles.
Anions	Particules chargées négativement.
Assiette radriculaire	La partie du sol occupée par les racines, généralement la couche supérieure du sol.
Balance des substances nutritives	Équilibre entre les éléments nécessaires aux plantes et aux animaux. Cet équilibre doit se faire de deux façons. Tout d'abord, aucun élément ne doit manquer ou se trouver en excès. Ensuite, la quantité de substances nutritives lessivées doit rester le plus proche possible de la quantité appliquées aux cultures sous forme de fumier ou d'engrais.
Cations	Particules chargées positivement.
Décomposition	Séparation en ses éléments de la matière organique par les organismes du sol. Ce processus libère les substances nutritives qui deviennent disponibles pour les plantes.
Dénitrification	L'azote est transformé en gaz et disparaît dans l'air ou 's'évapore'. L'azote est alors perdu pour les plantes de surface et pour le sol.
Drainage	Système d'évacuation de l'eau du sol ou du champ.
Engrais verts	Toute matière organique que l'on enfouit dans le sol afin de lui fournir des substances nutritives.

Erosion	Perte de particules du sol provoquée par le vent ou l'eau.
Fixation	Liaison très solide de substances nutritives par les particules du sol. La liaison est si forte que les substances nutritives ne reviennent pas dans le liquide du sol et ne sont plus disponibles pour les plantes.
Fixation de l'azote	Certaines plantes fixent l'azote de l'air. C'est ce qu'on appelle la fixation d'azote. Ce sont les plantes fixatrices d'azote.
Formation de croûte	Formation d'une fine croûte à la surface du sol due à l'impact des gouttes de pluie. Elles brisent les agrégats du sol et provoquent la formation d'une fine couche compacte, ou croûte, à la surface du sol.
Humus	Matière organique décomposée de telle sorte qu'on ne peut plus reconnaître le matériau d'origine.
Immobilisation	Processus par lequel les organismes du sol absorbent les substances nutritives qui sont disponibles pour les plantes après la mort des organismes.
Infiltration	Processus par lequel l'eau pénètre dans le sol. C'est un processus très important car les plantes ne peuvent utiliser l'eau qu'une fois qu'elle s'est infiltrée dans le sol. Si l'infiltration est médiocre, il y a un grand risque d'érosion.
Lessivage	Perte d'eau, de substances nutritives et de particules du sol, de la couche supérieure au sous-sol. La cause en est souvent un excès de drainage.
Matière organique	Les restes de plantes ou d'animaux morts se transforment en matière organique.
Micro-organismes	Etres vivants si petits qu'on ne peut les voir à l'œil nu. Seul un microscope les rend visibles.
Minéralisation	Même processus que la décomposition expliquée ci-dessus.
Niveau de matière organique dans le sol	Quantité de matière organique dans le sol en comparaison avec les autres éléments qui constituent le sol.

Organismes du sol	Petits êtres vivants qui vivent dans le sol: des vers, mais aussi des insectes et d'autres animaux.
Paillis	Couche de matière, organique ou non, à la surface du sol. On s'en sert pour protéger le sol de la chaleur du soleil et de l'érosion.
Particules du sol	Sable, limon, argile.
Photosynthèse	Processus au cours duquel la plante fabrique des tissus à partir de l'eau, de l'air et de la lumière du soleil.
Pompe de substances nutritives	Les plantes qui ont des racines profondes ramènent les substances nutritives à la surface où les plantes aux racines superficielles, la plupart des plantes cultivables, les réutilisent.
Pores	Espace entre les particules du sol. C'est là que sont stockées les substances nutritives et l'eau. Ils permettent à l'air et aux racines de pénétrer le sol, d'où leur importance.
Rapport C:N	Proportion de C et de N présents dans le sol ou la matière organique. Plus ce rapport est petit, plus les organismes du sol et les plantes absorbent facilement le N.
Récupération	Pourcentage d'engrais chimique appliqué, qui est absorbé par la plante.
Respiration	Processus par lequel les plantes décomposent les composés organiques. Il permet aux plantes de produire l'énergie qui leur est nécessaire pour croître et se propager.
Rotation des cultures	Culture successive de différentes plantes dans un même champ. Par exemple: la première année on fait pousser du maïs, la deuxième année des haricots et la troisième année on laisse la terre en jachère. Dans ce cas, la rotation des cultures est: maïs-haricots-jachère.
Structure du sol	Façon dont sont disposées les particules du sol.

Substances nutritives	Eléments ou composés chimiques nécessaires aux plantes et aux animaux pour survivre et se reproduire.
Texture du sol	On peut classer les sols selon la taille des particules. S'ils contiennent beaucoup de grandes particules, ils font partie des sols sableux. Si la majorité des particules sont petites, le sol est du type argileux.

