

- GESTION DE L'ENVIRONNEMENT -

GESTION DURABLE DES SOLS



La présente publication a été élaborée par le COLEACP dans le cadre de ses programmes Fit For Market, Fit for Market SPS et STDF, financés par l'Union européenne (Fonds européen de développement – FED), l'Agence Française de Développement (AFD) et Le Fonds pour l'application des normes et le développement du commerce (STDF)

Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité du COLEACP et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue officiel de l'Union européenne, de l'AFD et du STDF.

Le COLEACP détient la propriété intellectuelle de l'ensemble du document.

Cette publication fait partie intégrante d'une collection COLEACP, composée d'outils de formation, de supports pédagogiques et de documents techniques. Tous sont adaptés aux différents types de bénéficiaires et niveaux de qualification rencontrés dans les filières de production et de commercialisation agricoles.

Cette collection est disponible en ligne pour les membres du COLEACP.

L'utilisation de tout ou partie de la publication est possible dans le cadre de partenariats ciblés et selon certaines modalités. Pour cela, contacter le Coleacp à <u>network@coleacp.org.</u>











GESTION DURABLE DES SOLS

AMIS FOF	RMATEURS, QUELQUES CONSEILS1
MATIÈRES	S À DÉLIVRER5
FEUILLET	S PÉDAGOGIQUES7
•	FEUILLET 1 : Fondements de la science des sols FEUILLET 2 : Fertilité et fertilisation des sols FEUILLET 3 : Les causes de la dégradation des sols FEUILLET 4 : Préserver et restaurer la fertilité des sols
RÉSUMÉ	DU MANUEL27
•	1. Définition du sol, de son importance et de sa composition
•	2. Influence des pratiques culturales sur la qualité des sols
•	3. La fertilité des sols
•	4. Les causes de la dégradation des sols
•	5. Préserver et restaurer la fertilité des sols

Amis formateurs, quelques conseils

POURQUOI UN I IVRET PÉDAGOGIQUE ?

Les « Manuels de formation » rédigés par le COLEACP sont de précieux supports de formation. Pour les rédiger, le COLEACP s'est adressé aux meilleurs experts du domaine abordé avec pour objectif de produire sur un thème donné un document de vulgarisation qui rassemble et structure l'essentiel des connaissances actuelles. Ces manuels se veulent les plus exacts et complets que possible, adaptés au contexte ACP, orienté sur les problématiques transversales qui concernent l'horticulture. Mais l'objectif était aussi qu'ils soient abordables, compréhensibles et agréables à lire par des personnes qui ne sont pas nécessairement des experts avertis de la matière. Néanmoins, assimiler souvent en un temps réduit l'ensemble de la matière ainsi rassemblée **représente un effort considérable**.

Les manuels de formation, qui s'adressent en priorité aux experts et aux personnes les plus qualifiées, étant souvent volumineux et complexes, il était nécessaire d'aider les experts-formateurs à identifier les éléments les plus importants à retenir, et de rassembler pour eux une liste de « messages clés » à diffuser vers les apprenants lors des formations du COLEACP. Ce livret pédagogique est donc un outil précieux et pratique qui est mis à votre disposition pour vous aider à préparer vos formations sur le thème dont il est question dans ce Livret.

QUE CONTIENT LE LIVRET PÉDAGOGIQUE ?

Chaque livret pédagogique contient :

1. La liste des matières à délivrer aux participants lors de la formation

C'est une table des matières résumée du manuel de formation. Cette liste vous permet d'avoir une vue globale de l'ensemble des grands points qui devront être abordés lors de la formation. L'ordre de la liste ne doit pas nécessairement être respecté, car l'organisation des séquences est laissée à votre appréciation et dépend éventuellement d'autres facteurs (ex. : disponibilité d'un expert-formateur ; timing des séquences de formation ; place réservée aux exercices...).

Dans certains cas, seuls certains aspects (ou chapitres) de la matière seront abordés (par exemple : si les participants maîtrisent parfaitement certaines parties du sujet abordé en formation, il est inutile de les présenter en détails ; un petit rappel peut suffire et être efficace pour aborder la suite).

Toutefois, quand vous abordez une partie de la matière (un chapitre), les principaux « points » repris pour chaque chapitre vous permettent d'organiser vos présentations et animations, de manière logique et pertinente pour l'apprenant. Il vous est aussi conseillé de présenter tous les points d'un chapitre.

2. Des feuillets pédagogiques

Un livret pédagogique contient autant de « feuillets » qu'il y a de chapitres dans le manuel de formation. Chaque feuille reprend d'une part les **objectifs pédagogiques** de cette partie de la matière à délivrer (ce que l'apprenant doit être capable de...), et d'autre part, suivant la structure de la table, les « **messages clés** » (ce que l'apprenant doit absolument avoir assimilé en fin de formation). Il est donc très important de vous assurer de **bien diffuser la totalité des messages au cours de la séquence de formation.**

3. Un résumé du contenu du manuel

Un résumé du manuel de formation a été inséré dans ce livret pédagogique. Structuré de manière identique au manuel, il reprend l'essentiel du contenu en 15-20 pages tout en restant beaucoup moins complet (le résumé ne reprend ni les tableaux, ni les figures).

Ce résumé est avant tout destiné au formateur.

- En début de mission, au moment de préparer ses séquences d'intervention et ses supports, il vous permet de prendre connaissance très rapidement de l'ensemble des contenus que vous devrez aborder et de visualiser les liens entre les différentes parties de la matière à délivrer.
- En cours de formation, vous pouvez utiliser ce résumé pour préparer vos synthèses journalières, en rappelant aux participants les éléments essentiels vus au cours d'une journée (synthèse de 15-20 minutes en fin de journée avec réponse aux questions).
- En début ou en fin de formation, si vous le souhaitez, vous pouvez délivrer aux participants une copie de ce résumé. Si le résumé est distribué au début de la formation, il vous est conseillé de demander aux participants de surligner les passages évoqués dans votre synthèse de fin de journée (points de repère dans la matière).

Ce résumé est également utile aux apprenants en fin de formation : il leur permettra en quelques minutes de se rappeler l'essentiel du thème abordé (p ex., avant une évaluation des acquis), alors que relire l'ensemble du manuel pourrait s'avérer fastidieux.

COMMENT CE LIVRET PÉDAGOGIQUE PEUT-IL VOUS AIDER À PRÉPARER VOS INTERVENTIONS EN FORMATION ?

L'intention en mettant ce livret pédagogique à votre disposition est de vous aider à préparer vos séquences de formation et à structurer votre programme jour par jour.

- Considérez que chaque feuillet représente un tout : s'il y a, par exemple, 4 feuillets, cela signifie qu'il doit y avoir 4 parties distinctes dans votre formation. Un temps suffisant doit donc être accordé dans le programme à chacune de ces 4 parties. Chaque partie de la matière devra aussi faire l'objet d'une évaluation des compétences.
- Considérez ensuite les objectifs pédagogiques : cela vous aidera à choisir (a) la méthode de formation la plus adéquate pour l'atteinte de ses objectifs (faut-il, p. ex., prévoir des exercices, des mises en situation, des animations de groupe...); (b) la méthode d'évaluation des acquis de cette partie.
- Enfin, préparez vos supports (ex : PowerPoint, tableaux à feuilles ou fiches d'animation, questions d'évaluation) en veillant à ce que l'ensemble des messages clés soient repris (« Ai-je bien prévu de parler de tous ces points ? Ai-je bien prévu une évaluation sur chaque point clé ? »).

N'OUBLIEZ PAS DE COMPLÉTER CE LIVRET PÉDAGOGIQUE!

Ce livret pédagogique est fait pour vous... C'est un outil qui doit vivre!

À la fin de chaque feuillet, un espace a été laissé libre pour ajouter vos notes personnelles : comme formateur, vous pouvez noter quelques réflexions sur la façon de faire passer les messages, noter vos questions, les réactions des participants, les points qui soulèvent des difficultés... c'est-à-dire capitaliser votre expérience de formateur !

Vous pouvez aussi y noter les types de supports que vous avez utilisés. Ce sera bien pratique quand vous aurez une nouvelle session à animer sur le même thème. Le COLEACP met à votre disposition de nombreux outils et supports, mais n'hésitez pas à en créer d'autres ou à utiliser d'autres supports existant qui seraient disponibles... la règle étant de bien maîtriser chacun des supports utilisés en formation et de s'assurer qu'ils aident à faire passer les messages clés de manière plus efficace qu'en leur absence.



CHAPITRE 1 — FONDEMENTS DE LA SCIENCE DES SOLS

- Introduction à la science des sols
- La formation des sols et les types de sols
- Les propriétés importantes des sols
- Les principales fonctions du sol

CHAPITRE 2 — FERTILITÉ ET FERTILISATION DES SOLS

- La fertilité des sols
- Comment apprécier la fertilité ?
- La fertilisation des sols et les éléments fertilisants
- Rôle et nature des amendements du sol
- Rôle de la phase aqueuse des sols dans la fertilité

CHAPITRE 3 — LES CAUSES DE LA DÉGRADATION DES SOLS

- La dégradation des sols est due essentiellement à l'homme
- L'érosion des sols
- L'influence des pratiques culturales sur la fertilité du sol
- Les conséquences sur les sols de la déforestation
- Les conséquences du surpâturage
- La salinisation des sols
- La compaction des sols
- La pollution des sols

CHAPITRE 4 — PRÉSERVER ET RESTAURER LA FERTILITÉ DES SOLS

- Préserver la qualité et la fertilité des sols
- Restaurer la fertilité des sols



Feuillet 1 : Fondements de la science des sols	9
Feuillet 2 : Fertilité et fertilisation des sols	15
Feuillet 3 : Les causes de la dégradation des sols	19
Feuillet 4 : Préserver et restaurer la fertilité des sols	23

FEUILLET 1

Fondements de la science des sols

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de/d' :

- comprendre ce qu'est un sol, quelle est sa composition, quels sont ses principales fractions et ses constituants majeurs;
- comprendre comment se forme un sol au départ de la roche mère et les facteurs contribuant à déterminer les caractéristiques du sol formé ;
- comprendre la notion de « profil de sol » ;
- identifier quelques types de sols représentatifs de diverses régions des ACP et de divers climats;
- identifier les principales propriétés des sols (physiques, chimiques et biologiques) ;
- connaître les différentes fonctions du sol ;
- définir les éléments clés et comprendre l'objectif d'une gestion durable des sols.

MESSAGES CLÉS

1) Définition du sol, de son importance et de sa composition

- Le sol est la partie arable où croissent et se développent les plantes.
- Le sol est l'interface entre la terre, l'air et l'eau, et est le produit final de l'effet combiné du climat, de la topographie, de l'activité des organismes sur les matériaux de base au fil du temps.
- Le sol est le principal actif de l'agriculteur. Il doit permettre une production agricole soutenue et durable.
- La fertilité du sol doit être géré, de manière intégrée, car elle se perd et se renouvelle difficilement.
- Le sol est une ressource limitée et met très longtemps à se reconstituer.
- Le sol est une source de denrées alimentaires, de biomasse et de matières premières.
- Le sol assure des fonctions de stockage, de filtration et de transformation de nombreuses substances, y compris l'eau, les nutriments et le carbone.
- Le sol représente le puits de carbone le plus important au monde (1 500 gigatonnes)
- Le sol est constitué de minéraux (95 %), d'eau (15-35 %), d'air (15-35 %), de matière organique (0-5 %) et de 3 phases (solide, liquide et gazeuse).

- La phase solide du sol est composée de constituants minéraux (gravier et cailloux sable, limon, argiles) et de constituants organiques (matière organique vivante, matière organique fraîche, matière organique transitoire, matière décomposée ou humus).
- La phase liquide ou la solution du sol est composée d'eau dans laquelle sont dissoutes des substances solubles provenant à la fois de l'altération des roches, de la minéralisation des matières organiques et des apports par l'homme.
- La phase gazeuse ou atmosphère du sol ou « phase vapeur », est composée des mêmes gaz que l'air, avec en plus des gaz provenant de la décomposition des matières organiques.
- Un sol est composé de couches superposées (les horizons). Cette succession de couches est caractéristique d'un sol et de son évolution.
- La compréhension de l'organisation de ces divers constituants, est faite par une coupe verticale du sol, appelée profil, qui permet d'observer les différents horizons, fruits de processus géologiques, physiques, chimiques et biologiques (évolution en fonction du climat local et du temps).

2) Principaux constituants minéraux du sol et leurs rôles

- Les éléments grossiers (gravier, cailloux ; sable et limon : diamètre > 2 μm) formant le squelette du sol, constituent la réserve minérale du sol.
- Les sables grossiers : ils sont sensibles à l'érosion, mais facilitent la pénétration des racines et les échanges de température.
- Les limons fins et sables fins : ils rendent le sol battant, qui a tendance à se tasser sous l'effet des pluies et à former des croûtes.
- Les argiles ou les minéraux argileux (diamètres < 2 µm) : ils sont présents dans le sol sous divers états (dispersés, agrégés ou floculés), qui dépendent de la nature, de la concentration et de la force ionique.
- En s'associant avec la matière organique, les fines particules d'argiles participent à la formation de colloïdes mixtes, le complexe argilo-humique (CAH).
- Les colloïdes mixtes sont responsables des réactions d'adsorption permettant la fixation de cations, d'anions, voire de molécules chargées, comme les résidus de pesticides et autres contaminants des sols.

3) Les principaux constituants organiques du sol

- La matière organique du sol provient de la mort des êtres vivants, de leurs déchets et de leurs sécrétions.
- Les substances végétales interviennent pour la presque totalité (99 %) dans l'élaboration de l'humus.
- L'ensemble de la matière organique des sols comporte les matières organiques fraîches, ou peu évoluées et les substances humiques constituées de macromolécules organiques ou « colloïdes ». Les produits évolués sont les acides humiques et fulviques.
- Les acides humiques : ils sont peu mobiles, constituent une quantité importante du carbone du sol avec un pouvoir liant qui joue un rôle dans la stabilité du CAH.

- Les acides fulviques : ils sont plus mobiles et constituent la majeure partie du carbone dissout dans les eaux naturelles.
- Les acides fulviques sont les principaux agents de lessivage du fer et ont la capacité de chélater plusieurs minéraux du sol pour favoriser leur absorption par les plantes.
- L'humus est dans la partie superficielle du sol, c'est le produit final issu de la décomposition et transformation sous l'action de nombreux agents biologiques présents dans le sol de ces matières et substances organiques.
- L'humus améliore la structure du sol, la résistance à l'action érosive des pluies ou du vent.
- L'humus améliore la capacité d'emmagasinement de l'eau et la rétention des substances nutritives, azote (N), phosphore (P), potassium (K) pour les libérer lentement aux plantes pendant une période plus longue.
- Les agents de l'humification sont : la flore du sol contenant les algues, les bactéries, les champignons, et la pédofaune constituée essentiellement de cloportes, fourmis, collemboles, vers de terres, limaces et myriapodes.

4) Formation des sols : processus mis en œuvre dans la pédogénèse

- La formation d'un sol comporte plusieurs étapes : altération, enrichissement en matière organique, et finalement migration de substances et de particules dans le profil du sol.
- La désagrégation et l'altération d'une roche mère permettent la séparation des grains au départ d'une roche cohérente, par l'action de phénomènes physiques ou par l'altération chimique de certains constituants.
- L'altération comporte deux étapes : la destruction mécanique de la structure rocheuse qui va ensuite faciliter les modifications chimiques des minéraux.
- L'enrichissement en matière organique (MO) est possible grâce au travail des organismes vivants (notamment les fouisseurs).

5) Principaux facteurs intervenant fondamentalement dans la formation du sol

- La composition de la roche mère : matériau d'origine dit parental.
- Les conditions climatiques (tempéré, subtropical, tropical) : c'est le moteur du changement. Température et humidité sont capitales pour expliquer l'évolution d'un sol.
- Les organismes vivants : végétation présente en surface et micro-organismes dans le sol.
- Le temps : la durée des événements, leur succession.
- La topographie et les interventions humaines (type de cultures, méthodes culturales).

6) Types de sols représentatifs le plus rencontrés dans les pays ACP

- Des sols désertiques : ils ne se prêtent pas à la culture, car trop pauvres.
- Des sols bruns : sols fournissant les meilleures terres agricoles (et pédoclimax forestiers).
- Des sols ferrugineux (dans le pédoclimat de savane à graminées) et sols fersiallitiques : ils sont appelés « sols rouges » ; ce sont des sols très évolués à cause du climat.

- Des sols ferrallitiques : sols fragiles présents dans les conditions d'un climat tropical humide.
- Des sols salins et sols sodiques : concentrations excessives des sels solubles.
- Les sols hydromorphes dans les zones (bas-fonds) et dans les régions humides.

7) Propriétés physiques, physico-chimiques et biologiques des sols

- La texture du sol : c'est la répartition granulométrique des constituants du sol.
- La texture du sol permet d'apprécier la qualité physique du sol avec 4 classes fondamentales : texture sablonneuse, limoneuse, argileuse ou équilibrée.
- La structure du sol : c'est la manière dont les particules du sol s'agencent les unes aux autres, pour former des agrégats
- Il existe 3 grands types de structures : fragmentaire, particulaire ou compacte.
- Le complexe argilo-humique (CAH) et la capacité d'échange cationique (CEC) : le CAH est une structure formée d'argile et d'humus ; des échanges de cations ont lieu entre le CAH et la solution du sol : cela représente la CEC.
- L'acidité du sol (pH) et le pouvoir tampon du sol : l'acidité se définit par la concentration en ion H⁺ dans l'eau du sol et le pouvoir tampon intervient dans la stabilisation du pH du sol.
- Les propriétés biologiques des sols dépendent de la présence et de la diversité des espèces: on trouve dans le sol plus de 4 000 génotypes bactériens et plus de 2 000 espèces de champignons saprophages pour la décomposition et la production de MO.
- Le sol contient jusque 1 000 espèces d'invertébrés : mollusques, insectes, diplopodes ou myriapodes, vers de terre (fouisseurs), acariens, collemboles, nématodes et protozoaires.

8) Principales fonctions du sol

- Le sol est un support pour la production des plantes dans le recyclage des nutriments.
- Le sol participe aux cycles de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K), éléments nécessaires au développement des plantes.
- Le sol représente un des puits du carbone. Il participe au cycle du carbone en stockant et en rejetant le carbone dans l'atmosphère.
- Les sols, en relâchant du carbone atmosphérique (CO₂), participent à la régulation climatique du globe.
- Le sol est un milieu de stockage et permet l'épuration de l'eau qui s'infiltre.
- Le sol est une réserve de la biodiversité : formidable usine à transformer et à faire naître du vivant, car des milliers d'espèces animales et végétales vivent dans le sol.
- Le sol est un lieu de vie, riche en espèces et êtres vivants : les nombreux microorganismes, invertébrés et bactéries forment 80 % de la biomasse.
- Dans le sol, chaque espèce joue un rôle de transformateur des matières organiques et minérales pour les rendre utilisables par les plantes.
- Le sol joue un rôle de régulation des populations biologiques, notamment des bioagresseurs.

9) Définition de la gestion durable de sols

- La gestion durable des sols a été définie par la FAO en 2017 dans les « Directives volontaires pour une gestion durable des sols » qui en précise les caractéristiques.
- La gestion des sols est durable quand les services fournis sont maintenus sans compromettre la biodiversité ni les fonctions à l'origine de ces services (équilibre délicat entre les services de production végétale et les fonctions de régulation sur la qualité et la disponibilité de l'eau, et sur la concentration de gaz à effet de serre).
- Caractéristique 1 : faible érosions hydrique et éolienne, et absence de dégradation de la structure du sol (absence de compactage ou tassement du sol).
- Caractéristique 2 : présence d'un couvert végétal, ou de résidus de végétaux, suffisant pour protéger le sol et assurer une réserve de MO stable ou croissante.
- Caractéristique 3 : disponibilité et circulation des éléments nutritifs, adaptées au maintien ou à l'amélioration de la fertilité et de la productivité du sol, réduction des déperditions.
- Caractéristique 4 : salinisation, sodisation et alcalinisation faibles
- Caractéristique 5 : infiltration et stockage de l'eau issue des précipitations (ou de l'irrigation) efficaces : répondre aux besoins des végétaux et assurer le drainage de tout excédent d'eau.
- Caractéristique 6 : concentration en contaminants inférieure aux niveaux de toxicité présentant un danger pour les végétaux, les animaux, l'homme, l'environnement et la biodiversité du sol.
- Caractéristique 7 : utilisation optimisée et sans danger des intrants (pesticides, engrais, amendements).
- Caractéristique 8 : imperméabilisation du sol réduite le plus possible, planification responsable de l'utilisation des terres.

10) Intérêt de la gestion durable de sols

- La gestion durable des sols est une réponse aux enjeux mondiaux de la sécurité alimentaire de la planète pour une agriculture écologiquement durable axée sur la sauvegarde du sol et l'environnement.
- Le règlement (CE) n°834/2007 relatif à la production biologique exige que la gestion des sols permette le maintien (voire l'amélioration) de la fertilité des sols.
- Le règlement (CE) n°834/2007 exige que la gestion des sols permette la prévention de l'érosion et du tassement des sols.
- La gestion durable des sols constitue le point de départ de l'élimination de la pauvreté, du développement agricole et rural.
- La gestion durable des sols constitue le point de départ de la promotion de la sécurité alimentaire et de l'amélioration de la nutrition.
- La gestion durable des sols est une exigence de certains référentiels comme GLOBALG.A.P. ou Fair Trade.

NOTES PERSONNELLES

 	 	 	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	

FEUILLET 2

Fertilité et fertilisation des sols

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de/d' :

- comprendre les notions de fertilité, de fertilisant et d'amendement ;
- définir la fertilité d'un sol, connaître les éléments qui influencent cette fertilité ;
- savoir comment on peut apprécier la fertilité d'un sol ;
- comprendre le rôle des principaux éléments fertilisants (N, P, K et autres), leurs formes, leurs sources et le risque de perte de ces éléments ;
- identifier les principaux amendements du sol : nature et rôle de chaque type d'amendement (calcaire, magnésien, humifère, organique) ;
- comprendre le rôle de la phase aqueuse du sol dans l'absorption par la plante des éléments fertilisants.

MESSAGES CLÉS

1) La fertilité des sols fait appel à sa structure, ses nutriments et sa biologie

- La fertilité d'un sol est son aptitude à soutenir la production des cultures. Un sol fertile est un substrat qui soutient la croissance optimale des végétaux, de la germination de la semence à la maturité de la plante.
- Le fertilisant ou engrais (substance organique ou inorganique) contient des éléments nutritifs sous des formes assimilables par les plantes.
- La fertilisation est un processus consistant à apporter à un milieu de culture les éléments nutritifs nécessaires pour le développement de la plante.
- L'amendement est un matériau apporté à un sol pour améliorer ou corriger sa qualité agricole (améliorer sa structure principalement).
- Le bilan nutritif est la différence qui existe entre la quantité d'éléments nutritifs apportés par la matière organique et les engrais, et la quantité d'éléments nutritifs exportés par la culture ou perdus (lessivage).

2) Les facteurs physiques qui conditionnent la fertilité du sol

- La pluviométrie et la température (climat) influencent la fertilité des sols.
- La profondeur, la texture, la structure du sol, les propriétés physicochimiques du sol, conditionnent sa fertilité.

3) Importance de la matière organique et la biologie du sol pour sa fertilité nutritionnelle

- La matière organique est essentielle pour le maintien de la richesse des substances nutritives et la rétention de l'eau du sol.
- Les micro-organismes du sol interviennent dans les aspects physiques et chimiques de la qualité des sols, et conditionnent fortement leur fertilité.

4) Comment apprécier la fertilité du sol

- L'appréciation de la fertilité du sol se fait sur base de 4 critères principaux et par différentes méthodes qui se complètent (observations, analyses, tests).
- Critère 1 : une grande profondeur.
- Critère 2 : une texture et une structure avec les grains moyens et un pH neutre (pH 6-7).
- Critère 3 : une composition minéralogique du substrat parental donnant soit un substrat homogène pauvre en éléments nutritifs, soit un substrat hétérogène (argile-sable-calcaire), mais riche en divers éléments fournissant une alimentation équilibrée.
- Critère 4 : une teneur d'éléments nutritifs majeurs (N, P, K) en réserve et une composition en humus : les colloïdes améliorent la structure du sol et des complexes mobilisables avec les substances minérales.
- La détermination de la fertilité du sol peut se faire par le diagnostic visuel en fonction de la couleur : selon la teinte, la clarté et la pureté (codification et comparaison avec des étalons colorés code ou charte Munsell.
- La détermination de la fertilité du sol peut se faire par les plantes indicatrices : la présence d'une espèce a une valeur informative sur la qualité chimique et l'état dégradé ou non du sol.
- La détermination de la fertilité du sol peut se faire par l'analyse des tissus de la plante : l'analyse des tissus donne des indications sur la qualité nutritionnelle du sol.
- La détermination de la fertilité du sol par l'analyse du sol au laboratoire : elle complète les observations du terrain pour mieux statuer sur les qualités et les défauts du sol.
- La détermination de la fertilité du sol par le diagnostic de la structure et l'activité biologique du sol par un profil du sol : le test de la « bèche », comptage des macropores.
- La détermination de la fertilité du sol par le dénombrement et l'identification des vers de terre.
- La détermination de la fertilité du sol par le mesurage du temps d'infiltration de l'eau (évaluer la porosité du sol).
- La détermination de la fertilité du sol par une bonne observation de la forme et la densité des racines des plantes
- La détermination de la fertilité du sol par l'analyse de la biomasse microbienne.

5) La fertilisation des sols et les éléments fertilisants

• La fertilisation doit toujours être raisonnée et répondre aux objectifs de la durabilité en intégrant le contexte économique et environnemental.

- Le bilan nutritif : il faut déterminer l'import-export des éléments nutritifs, pour éviter l'appauvrissement des sols.
- La gestion des éléments nutritifs : il est nécessaire de compenser les prélèvements faits par la culture et les pertes par des restitutions (apports d'engrais ou autres méthodes).
- Les éléments chimiques majeurs sont indispensables à la nutrition des plantes : l'azote, phosphore et potassium (N, P, K).
- Les éléments secondaires (calcium, le magnésium et soufre et les oligo-éléments, le fer, zinc, manganèse, cuivre, bore, molybdène, chlore et nickel) sont également nécessaires.
- La gestion raisonnée et durable des fertilisants repose sur trois lois fondamentales : la loi de restitution ou des avances ; la loi des accroissements moins que proportionnels ; la loi du minimum ou d'interaction.
- Les principes de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) reposent sur un apport combiné des engrais (essentiels pour accroître les rendements) et de matières organiques (pour améliorer l'efficacité des fertilisants apportés).
- L'efficience des facteurs de succès de la fertilisation dépend du mode d'utilisation des terres, du plan cultural et les façons culturales.
- Les principes de la GIFS se fondent sur les procédés de conservation, l'utilisation de la matière organique et le système d'emploi des engrais ou d'amendement raisonné.
- L'utilisation optimum des principaux éléments fertilisants (N, P, K) par les plantes dépend de leurs formes, leurs sources et du risque de perte de ces éléments.
- Les amendements minéraux apportent du calcium et du magnésium.
- Les amendements organiques (ou matières organiques) sont destinés à entretenir ou à enrichir le stock d'humus du sol.

6) Rôle de la phase aqueuse des sols dans la fertilité des sols

- L'eau du sol disponible pour la plante ou « eau utile » ou réserve utile en eau d'un sol (RU) est la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante.
- Les nutriments sont récupérés par les plantes seulement si elles disposent suffisamment d'eau dans le sol pour les absorber.
- L'eau est à la fois un aliment, source d'hydrogène et d'oxygène, et un véhicule qui permet aux racines d'absorber les éléments fertilisants.
- L'eau joue un rôle dans le transfert des ions entre la phase solide du sol et sa phase liquide: les éléments minéraux, adsorbés sur les colloïdes, sont dissous et libérés dans la solution du sol où ils transitent vers la racine par deux processus: le flux de masse et l'osmose.

NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS

FEUILLET 3

Les causes de la dégradation des sols

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de/d' :

- comprendre pourquoi et comment la dégradation des sols est avant tout due aux activités humaines, et quelle est l'ampleur du phénomène ;
- connaître les causes du déclin de la fertilité des sols (modification de leurs propriétés physiques et propriétés chimiques) ;
- comprendre les phénomènes d'érosion, de déforestation, de salinisation, de compaction des sols ;
- identifier la nature et l'origine des divers polluants du sol, et le danger qu'ils représentent pour l'homme, la plante et le milieu.

MESSAGES CLÉS

- 1) La dégradation des sols est avant tout due aux activités humaines et l'ampleur du phénomène est mondiale
 - Les superficies de terres cultivables sont en constante diminution, à un rythme élevé d'environ 5 à 10 millions d'ha par an.
 - Le taux de dégradation des terres cultivables est estimé à 25 % en Afrique, 38 % en Asie, 21 % en Amérique, 11 % en Europe et 5 % en Océanie
 - La dégradation des sols, leur perte de fertilité sont partout dans le monde une préoccupation autant économique qu'écologique.
 - La dégradation des sols est plus préoccupante là où la croissance démographique est la plus importante.
 - La dégradation des sols est aggravée par une augmentation des concurrences entre les différents usages de la terre.
 - La concurrence entre les différents usages de la terre, soutenue par une absence de gestion durable des sols, conduit à une dégradation continue des propriétés du sol et de sa fertilité.
 - Le sol est aujourd'hui un facteur limitant de l'offre alimentaire, tant en quantité qu'en qualité, et il faut nécessairement une politique de préservation des sols en agriculture.

2) Les causes du déclin de la fertilité des sols

- Le déclin de fertilité du sol (détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol) est pour une bonne part directement liée à l'action de l'homme.
- L'érosion, l'absence de couverture, la perte de matière organique et la compaction sont les causes de la détérioration des propriétés physiques ou de la structure du sol.
- La détérioration des propriétés chimiques des sols se traduit par leur salinisation, leur acidification, l'épuisement de leurs éléments nutritifs.
- La détérioration a pour origine leur pollution par des déchets industriels ou par l'application excessive des pesticides ou des engrais chimiques.
- L'acidification des sols est un phénomène naturel engendré par la pluie et par certains processus biologiques.
- L'acidification des sols est exacerbée par l'usage intensif des engrais chimiques.
- La pollution du sol par des métaux lourds (ou des matières toxiques) est due aux apports de fumiers, de lisiers, de compost, d'ordure ménagères et d'engrais chimiques.
- La dégradation biologique s'explique par certaines pratiques culturales, l'apport des produits chimiques toxiques pour les organismes du sol, la diminution de la teneur en matière organique du sol, le pH trop bas, la combustion de la biomasse et l'épuisement de la couverture de végétation.

3) L'érosion des sols

- L'érosion des sols est un phénomène naturel ou anthropique qui peut avoir des effets bénéfiques, comme le dépôt d'alluvions, mais elle est généralement nuisible.
- L'érosion des sols est le décapage ou le processus au cours duquel des particules de sol sont détachées, le transport ainsi que le dépôt des éléments solubles et solides du sol sous l'effet de l'eau (érosion hydrique) ou du vent (érosion éolienne).
- L'érosion hydrique passe par 3 étapes : le détachement, le transport et la sédimentation. Les particules se déposent dans l'ordre suivant : sable -> sable fin-> limon.
- Le phénomène d'érosion éolienne peut se produire n'importe où dès lors que les conditions de sol, de climat et de végétation sont favorables. Un sol meuble, sec et assez finement émietté, un champ suffisamment étendu et un vent suffisamment fort pour amorcer un mouvement des particules sont des conditions favorables pour l'érosion éolienne.
- La vitesse et l'ampleur de l'érosion dépendent de l'érodabilité du sol, de la rugosité de la surface du sol et du climat.

4) La déforestation et le surpâturage entraînent une dégradation de la terre

- La déforestation progresse rapidement surtout en Afrique sub-saharienne où on assiste à la destruction ininterrompue de forêts. Chaque année, quelque 13 millions d'hectares de forêts disparaît dans le monde, or les forêts abritent 80 % de la biodiversité terrestre.
- La déforestation signifie se priver de précieux services écosystémiques.

- La déforestation en zone tropicale est causée par l'expansion de l'agriculture, l'extraction du bois, la production du charbon bois ou du feu, l'expansion des infrastructures et l'exploitation minière.
- La déforestation engendre : la dégradation des sols, une perte de biodiversité, un changement climatique (libération massive de CO₂), des catastrophes naturelles, une diminution de la ressource en eau et l'aggravation de certaines maladies.
- Après déforestation, la régénération de la végétation naturelle prend énormément de temps (environ 20000 ans).
- Le surpâturage : la pression sur les zones de pâturage entraîne une perte de végétation comestible et une dominance d'espèces arbustives, amenant ensuite à une désertification.

5) La salinisation du sol

- La salinisation du sol est une manière par laquelle la productivité du sol peut diminuer sans perte du couvert pédologique.
- La salinisation résulte de l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol : le potassium (K⁺), le magnésium (Mg⁺), le calcium (Ca⁺⁺), le chlorure (Cl⁻), le sulfate (SO₄⁺⁺), le carbonate (CO₃⁺⁺), le bicarbonate (HCO₃⁻), et le sodium (Na⁺).
- La salinité des sols découle de la présence des solutés minéraux majeurs dissous dans les eaux ou dans ses sols.
- La salinisation du sol est une augmentation progressive de la concentration en sels hydrosolubles dans la solution du sol sous l'influence de facteurs naturels ou anthropogéniques.
- La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés, sous climat aride, et se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels.
- La salinisation est provoquée par les pratiques agricoles ou des aménagements inadaptés, le matériau géologique, de l'eau de mer ou la nappe phréatique par héritage géologique.
- La salinisation engendre une diminution des rendements, voire une stérilisation du sol, des variations du pH (pouvant monter jusqu'à 10) rendant de nombreux éléments nutritifs insoluble, donc une fertilité du sol réduite.
- La salinisation diminue l'activité microbienne du sol à la base des processus de nitrification, favorise l'augmentation des composés organiques solubles et la diminution des composés humiques.
- La salinité du sol est évaluée par des méthodes d'analyse ionique.
- Le seuil de tolérance à la salinité est propre à chaque espèce végétale.

6) La compaction

- Les sols tassés sont plus sensibles à l'érosion, contribuent moins aux fonctions épuratrices et « tampon » des sols.
- Le tassement du sol est causé par le piétinement du bétail, par les engins lourds avec l'emploi des machines plus puissantes.
- Le tassement du sol est causé par l'utilisation excessive ou inadaptée d'engrais chimiques et de certains amendements.

- Le passage répété d'engins lourds est un facteur d'asphyxie du sol et de dégradation, voire de régression du sol, du sol surtout sur les sols limoneux fragiles.
- La rapidité d'infiltration des eaux est affectée par la compaction avec la possibilité de la disparition du couvert végétal et une accélération de l'érosion du sol.

7) La pollution et la contamination des sols

- Les sols agricoles peuvent être pollués avant ou pendant leur mise en culture.
- La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît comme le sous-produit d'une action humaine et correspond à l'accumulation de composés toxiques.
- Les composés toxiques (produits chimiques, sels, matières radioactives ou agents pathogènes) agissent négativement sur la croissance des plantes et la santé des animaux.
- La pollution du sol signifie généralement la contamination d'un ou plusieurs composants des écosystèmes.
- La pollution du sol est due à l'accumulation (sur et dans le sol) de substances non biodégradables : ETM, PCB, dioxines, HAP, solvants utilisés en industrie, huiles usagés et pesticides.
- La pollution du sol est également engendrée par l'abandon des emballages de pesticides dans les champs.
- L'évolution des polluants dans les sols va dépendre de leurs propriétés physicochimiques: biodégradables ou non, polluants très solubles facilement entraînés vers les couches plus profondes des sols.
- Les polluants s'adsorbent, de manière plus ou moins durable, sur les particules du sol, particulièrement sur les colloïdes (CAH).
- Certains polluants, dont les pesticides, se trouvent insolubilisés et se fixent définitivement dans la phase solide des sols.

NO	NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS							

FEUILLET 4

Préserver et restaurer la fertilité des sols

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de/d' :

- comprendre les principes de base pour prévenir la dégradation des sols ;
- connaître les techniques de lutte contre l'érosion hydrique et éolienne ;
- expliquer le rôle et l'importance du chaulage et des divers amendements pour la préservation de la qualité des sols ;
- comprendre comment éviter la salinisation, la compaction ou la pollution des sols;
- connaître les techniques qui permettent la restauration de la fertilité des sols : le paillage, les cultures associées, l'apport de matière organique (compost, fumiers, lisiers) ou encore la jachère ;
- comprendre l'intérêt de quelques techniques de dépollution des sols par bioremédiation.

MESSAGES CLÉS

1) Respecter certains principes pour prévenir la dégradation des sols

- De nos jours, 33 % des terres sont dégradées du fait de l'érosion, de la salinisation, du compactage, de l'acidification et de la pollution chimique des sols.
- Pour prévenir efficacement la dégradation de la fertilité des sols, il est nécessaire d'analyser, au niveau le plus proche du terrain, les risques induits par la nature physico-chimique du sol, les pratiques culturales, la topographie, le climat, le type de cultures implantées.
- Le respect du sol commence par la réduction du travail du sol et la préférence accordée à l'agriculture de conservation : « labourage écologique » et techniques alternatives, comme le « grattage » du sol, le semis direct et le *strip-till*.
- Implanter des couverts végétaux pour protéger le sol de la chaleur, de l'érosion, de l'évaporation et du lessivage des éléments fertilisants par la pluie est nécessaire.
- Adopter le principe de la GIFS en combinant toujours les apports d'engrais avec des apports de matière organique pour éviter l'acidification des sols et mieux valoriser les engrais.
- Respecter l'intégrité du sol en évitant l'apport de composés toxiques : pesticides, métaux lourds (présents dans certains fertilisants), hydrocarbures, déchets ménagers.
- Amender le sol en lui apportant les éléments correctifs.
- Utiliser l'irrigation avec parcimonie pour éviter des apports d'eau non maîtrisés.

2) Adopter des techniques de lutte contre l'érosion hydrique

- Le principe est l'aménagement des sols (diverses techniques) en pente pour diminuer et/ou ralentir le ruissellement des eaux.
- Les techniques de terrasses en gradins : ce sont des constructions qui arrivent à casser la pente, mais qui sont plus compliquées et coûteuses à réaliser.
- Les techniques de cordons pierreux : ce sont des rangées de pierres disposées selon les courbes de niveau pour ralentir le ruissellement, créer un étalement en nappes et favoriser la sédimentation des particules.
- Les techniques de billons (simples ou cloisonnés) : permet d'augmenter l'infiltration de l'eau en diminuant la vitesse du ruissellement grâce à la rugosité apportée par ces éléments.
- Les techniques de création de bandes enherbées : d'une vingtaine de mètres de large, elles sont installées sur la pente, favorisent l'infiltration et retiennent les particules.
- Les techniques de la remise en prairie : consiste à rénover périodiquement et à entretenir les prairies qui constituent un des moyens les plus efficaces pour réduire l'érosion des sols.
- Les techniques d'aménagement : veiller à l'orientation, la taille et la forme des parcelles. Les parcelles doivent être travaillées perpendiculairement à la pente pour diminuer la vitesse de ruissellement, le risque de ravinement et de coulées de boues.
- Le système de *ridging tied* : des diguettes de terre construites à intervalles réguliers dans les sillons permettent de contrôler la vitesse de l'eau. C'est une mesure simple et efficace, qui peut être combinée avec la construction de terrasses et avec la culture en bandes pour en augmenter l'efficacité.

3) Adopter des techniques de lutte contre l'érosion éolienne

- La technique de la culture en bandes est une pratique qui consiste à diviser l'exploitation agricole en champs étroits ayant différentes cultures, avec ou sans jachère, et à faire alterner des bandes de cultures avec des bandes en jachère ou des bandes de végétation plus dense; elle réduit l'érosion éolienne en diminuant la vitesse du vent au sol
- L'apport de matières organiques dans les horizons, l'irrigation d'appoint pour augmenter la cohésion du matériau permettent de limiter l'érosion éolienne.
- Les techniques culturales laissant à la surface du sol de grosses mottes ou des billons perpendiculaires à la direction dominante des vents augmentent la rugosité du sol et réduisent la vitesse du vent à la surface du sol.
- L'installation de haies vives, de brise-vent, de toiles perméables au vent (mailles de 5 à 10 mm) ralentissent la vitesse du vent, réduisant l'évaporation et l'érosion éolienne.
- La fixation mécanique et biologique des dunes, pour d'une part éteindre la source des sables et d'autre part fixer les dunes sur place, en lignes perpendiculaires au vent et distantes de vingt fois la hauteur de ces lignes, est un système efficace pour arrêter l'érosion éolienne.

4) Le rôle et l'importance du chaulage et des divers amendements

- Le calcium joue un rôle déterminant sur les fertilités physique, chimique et biologique du sol et est un élément nutritif pour les plantes.
- Le rôle du calcium n'est pas seulement de lier la matière organique avec les argiles: il régule la mobilité des métaux, dont celle du fer impliqué dans les liaisons organominérales.
- La teneur en calcium dans les sols varie constamment : c'est le calcium échangeable qui importe.
- Il faut distinguer les sols calcaires riches en calcium actif, les sols non calcaires, mais bien pourvus en calcium échangeable, et les sols non calcaires, pauvres en calcium échangeable.
- Le chaulage, en plus de contribuer au développement de la plante, stabilise le complexe organo-minéral (CAH), stimule l'activité par la compensation de l'acidification et diminue la toxicité par immobilisation des minéraux en excès.
- Le chaulage d'entretien préserve un état calcique satisfaisant. Il consiste à apporter régulièrement tous les 3 à 4 ans un amendement basique pour maintenir le pH et restituer au sol les quantités de calcium et de magnésium exportées.
- Le chaulage de redressement consiste en apports plus importants d'amendements basiques pour pouvoir redresser le pH du sol, mais il doit être progressif et étalé sur plusieurs années.
- Les apports en calcium se font à partir de chaux et de calcaires, qui peuvent être des produits « crus » ou des produits « cuits » (chauffés pour être actifs).

5) Éviter la salinisation, la compaction ou la pollution des sols

- Une meilleure gestion de l'eau, la lixiviation, le drainage sont des moyens efficaces pour gérer le risque de salinisation des sols ou la réduire.
- Les mesures de prévention de la compaction du sol reposent sur 3 piliers : la planification des interventions culturales, la limitation des charges supportées par le sol et la maîtrise des propriétés physiques du sol.
- La prévention de la pollution des sols, surtout en milieu agricole, passe par l'adoption des pratiques culturales et phytosanitaires respectueuses de l'environnement, l'interception des flux polluants à l'échelle de l'exploitation et le contrôle des produits polluants à la ferme.
- Les flux de polluants tels que le mode de dispersion des pesticides et leurs résidus sont limités par le strict respect des Bonnes Pratiques Phytosanitaires (BPP).
- Pour une meilleure prévention de la pollution des sols, les déchets dangereux ne doivent pas être brûlés, ni surtout enterrés dans le sol, à la ferme.

6) Techniques qui permettent la restauration de la fertilité des sols

- Le paillage du sol consiste à recouvrir toute ou partie d'une parcelle de terre dégradée avec de la matière organique, pour une végétalisation et une reconstitution du sol par le maintien de l'humidité et le développement d'une activité biologique.
- La pratique des cultures associées (cultures mélangées ou *mixed cropping*, les cultures intercalées ou *intercropping* et les cultures-relais) se définit comme la culture

- simultanée d'au moins deux cultures sur une même parcelle durant une phase significative de leur croissance, mais sans nécessairement être semées ou récoltées en même temps.
- Bien conduite, la pratique des cultures associées engendre une amélioration de la fertilité, car de nombreuses plantes aux besoins complémentaires sont associées.
- L'apport de matière organique sur la parcelle : la matière organique est considérée non seulement comme un fertilisant, mais aussi comme un amendement du sol.
- L'apport de matière organique sur la parcelle est fait soit par l'utilisation de composts, de plantes de couverture, ou par des cultures d'engrais verts, du fumier, de lisiers et purins.
- La « jachère naturelle » consiste à interrompre momentanément (durant plusieurs mois ou années) la culture dans une parcelle pour laisser le sol se reconstituer (matière organique).
- La jachère dite « améliorée » est un système rotatif : des espèces d'arbres ou d'arbustes judicieusement choisies sont utilisées en rotation avec les cultures dans le but d'améliorer la fertilité du sol ou de produire des biens économiques.

7) Les techniques de dépollution des sols

- La bioremédiation : technique qui fait appel à l'inoculation au sol de micro-organismes, de champignons, de végétaux ou d'enzymes.
- La bioremédiation a pour but d'augmenter et d'accélérer la biodégradation ou la biotransformation, permettant de dépolluer un site naturel.
- La phytoremédiation : technique qui utilise des plantes tolérantes à la pollution, à croissance rapide, à forte production de biomasse et compétitives vis-à-vis des plantes du site pour la dépollution du sol par extraction du polluant.
- La phytoremédiation : technique qui met en œuvre quatre mécanismes principaux en fonction de la nature du polluant et de ses caractéristiques physico-chimiques.
- Les quatre mécanismes principaux de la phytoremédiation sont : la phyto-extraction, la phyto-dégradation et la phyto-séquestration, la rhizo-dégradation ou biostimulation et la phyto-stabilisation.
- La technique de traitements physiques utilise des fluides (eau, gaz), présents dans les sols ou injectés, pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser.
- La technique de traitements chimiques fait appel à des réactifs chimiques pour contrôler les polluants.
- La technique de traitements thermiques utilise de la chaleur pour neutraliser le polluant.



Gestion durable des sols

1. Définition du sol, de son importance et de sa composition	. 28
2. Influence des pratiques culturales sur la qualité des sols	. 32
3. La fertilité des sols	. 35
4. Les causes de la dégradation des sols	. 39
5 Préserver et restaurer la fertilité des sols	44

1. DÉFINITION DU SOL, DE SON IMPORTANCE ET DE SA COMPOSITION

Le mot « sol » désigne l'ensemble des matières minérales et organiques non consolidées, présentes sur la surface de la Terre et qui servent de milieu naturel pour la croissance des plantes. Dans son sens traditionnel, le sol est le milieu naturel pour la croissance des plantes. Il détermine ainsi la productivité primaire et, par conséquent, la vie sur Terre. On différencie le sol de la croûte terrestre par la présence significative de vie. On dit parfois que « le sol, c'est l'épiderme vivant de notre planète ».

Le sol est également défini comme un corps naturel comprenant des couches superposées (ou horizons, désignés par des lettres 0, A, B, E, C...) qui sont composées de matériaux altérés, de minéraux, de matières organiques, d'air et d'eau.

La capacité d'une parcelle de sol à soutenir des activités agricoles donne une mesure primaire de sa valeur économique. Elle est généralement mesurée sur la base de la capacité du sol à assumer certaines fonctions clés qui soutiennent la production. Ce n'est pas par hasard que les sociétés les plus riches se sont développées dans les zones où la fertilité inhérente du sol était élevée.

Selon le Consortium africain pour la santé des sols (CAB, 2015), le sol est le principal intrant et le principal facteur de production en agriculture. Le sol est donc le principal « actif » de l'agriculteur, et sa bonne gestion va économiquement valoriser les terres à long terme. Le sol est une source de denrées alimentaires, de biomasse et de matières premières, et assure des fonctions de stockage, de filtration et de transformation de nombreuses substances, y compris l'eau, les nutriments et le carbone.

Définition et intérêt d'une gestion durable des sols

La gestion intégrée de la fertilité du sol vise l'utilisation optimale et durable des réserves en nutriments dans le sol, des engrais minéraux et des amendements organiques.

Selon la définition de la FAO, dans les « Directives volontaires pour une gestion durable des sols » (FAO, 2017), la gestion durable des sols se caractérise par les 11 éléments suivants :

- 1. faible érosion hydrique et éolienne des sols ;
- 2. absence de dégradation de la structure du sol (absence de compactage, p. ex.), celuici offrant une surface stable qui permet à l'air, à l'eau et à la chaleur de circuler, ainsi qu'aux racines de pousser;
- 3. présence d'un couvert végétal (végétaux sur pied, résidus de végétaux, etc.) suffisant pour protéger le sol ;
- 4. réserve de matière organique du sol stable ou croissante et, idéalement, proche du niveau optimal pour l'environnement local ;
- 5. disponibilité ainsi que circulation des éléments nutritifs à un degré adapté au maintien ou à l'amélioration de la fertilité et de la productivité du sol, et à la réduction des déperditions de fertilité et de productivité dans l'environnement ;
- 6. salinisation, sodisation et alcalinisations faibles du sol;
- 7. infiltration et stockage de l'eau (issue des précipitations et des sources complémentaires telles que l'irrigation) efficaces, c'est-à-dire permettant de répondre aux besoins des végétaux et d'assurer le drainage de tout excédent ;
- 8. concentration en contaminants inférieure aux niveaux de toxicité, c'est-à-dire susceptibles de présenter un danger pour les végétaux, les animaux, l'homme et l'environnement;

- 9. biodiversité du sol assurant l'éventail complet des fonctions biologiques ;
- 10. systèmes de gestion des sols reposant sur une utilisation optimisée et sans danger des intrants (dans le cadre la production d'aliments, de fourrage, de carburant, de bois d'œuvre et de fibres);
- 11. imperméabilisation du sol réduite le plus possible, grâce à une planification responsable de l'utilisation des terres.

La gestion durable des sols est une réponse aux enjeux mondiaux de la sécurité alimentaire de la planète pour une agriculture écologiquement durable axée sur la sauvegarde du sol et l'environnement.

La gestion durable des sols est une exigence de certains référentiels. Ainsi, le référentiel GLOBALG.A.P. a des exigences précises en ce qui concerne les sols, le maintien de leur structure et la prévention de l'érosion, par exemple. De même, le cahier des charges Fair Trade déclare se consacrer aux méthodes agricoles écologiques en vue de protéger et de maintenir la biodiversité. Fair Trade vise l'utilisation limitée et sûre des produits chimiques, la gestion des déchets, le contrôle de l'érosion, le maintien de la fertilité des sols et une gestion responsable de l'eau. Si gérer la fertilité des sols et développer des systèmes de production durables est une préoccupation essentielle en agriculture conventionnelle, c'est encore plus vrai en agriculture biologique. En agriculture biologique, parmi ses objectifs, le règlement (CE) n° 834/2007 souhaite que soit établi « un système de gestion durable pour l'agriculture qui respecte les systèmes et cycles naturels, et maintient et améliore la santé du sol ». Le règlement exige donc que la gestion des sols permette non seulement le maintien (voire l'amélioration) de la fertilité des sols (ex. : selon l'article 12, la fertilité et l'activité biologique du sol sont préservées et augmentées par la rotation pluriannuelle des cultures), mais aussi la prévention de l'érosion et du tassement des sols.

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 résilience et deviennent plus sensibles à la sécheresse, 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. Pour maintenir à long terme la fertilité du sol, il faut commencer par comprendre de quoi se compose un sol et comment il fonctionne.

Principaux constituants minéraux et organiques du sol et leurs rôles

La formation des sols étant un processus extrêmement lent, on peut en conclure qu'il s'agit essentiellement d'une ressource non renouvelable. Selon *l'Atlas des sols d'Afrique*, certains sols en Afrique peuvent être très vieux et reflètent souvent des changements radicaux de climat et de végétation. Les sols de couleur rouge dominent, indiquant un niveau élevé d'oxydes de fer. Près de la moitié de la superficie de l'Afrique est caractérisée par des sols sableux (22 %), caillouteux peu profonds (17 %) et peu développés (11 %).

Un échantillon de sol est constitué (en masse) de minéraux (jusqu'à 95 %), d'eau (15-35 %), d'air (15-35 %) et de matière organique (0-5 %) et de trois phases :

- une phase solide, composée de constituants minéraux (sables, argile) et de constituants organiques (matière organique, MO);
- une phase liquide (encore appelée la solution du sol), composée d'eau dans laquelle sont dissoutes des substances solubles ;

• une phase gazeuse, ou atmosphère du sol (ou encore « phase vapeur »), composée des mêmes gaz que l'air, avec en plus des gaz provenant de la décomposition des matières organiques.

Les constituants minéraux du sol sont : les éléments grossiers (gravier, cailloux, sable et limon : diamètre > 2 μ m), les sables grossiers, les limons fins et sables fins, les argiles ou les minéraux argileux (diamètres < 2 μ m). En s'associant avec la matière organique, les fines particules d'argiles participent à la formation de colloïdes mixtes, le complexe argilo-humique (CAH). Les colloïdes mixtes sont responsables des réactions d'adsorption permettant la fixation de cations, d'anions, voire de molécules chargées, comme les résidus de pesticides et autres contaminants des sols.

Les constituants organiques se retrouvent dans la matière organique du sol provenant de la mort des êtres vivants, de leurs déchets et de leurs sécrétions. Les substances végétales interviennent pour la presque totalité (99 %) dans l'élaboration de l'humus. L'ensemble de la matière organique des sols comporte les matières organiques fraîches, ou peu évoluées, et les substances humiques constituées de macromolécules organiques ou « colloïdes ». Les produits évolués sont les acides humiques et fulviques. Ainsi, le sol représente le puits de carbone le plus important au monde (1 500 gigatonnes).

La formation des sols, les types de sols et les propriétés importantes des sols

Le sol met très longtemps à se constituer et, dans certaines conditions, la roche mère, élément minéral, est altérée par l'air et l'eau. Cela permet l'installation de premières plantes pionnières. Ensuite, la matière organique provenant de plantes et d'animaux morts forme en surface une litière. Décomposée par la faune du sol, elle est transformée en humus. Puis, mélangé à des éléments minéraux, le sol devient cultivable : c'est ce que l'on appelle de la « terre arable ». Il est important de comprendre que les processus de formation des sols peuvent évoluer et varier avec la topographie et le temps, en réponse à des facteurs tels que la variabilité climatique et l'utilisation des terres pour les activités humaines.

La formation d'un sol met en œuvre plusieurs processus :

- la désagrégation et l'altération de la roche mère (altération) ;
- l'enrichissement du sol par la matière organique (accumulation et incorporation) ;
- la migration de substances et de particules dans le profil du sol (lixiviation des éléments solubles et mouvements de particules).

Selon les pédologues, six éléments interviennent fondamentalement dans la formation du sol :

- la composition de la roche mère (le matériau parental qui va s'altérer);
- les conditions climatiques (le climat est le moteur du changement);
- les organismes vivants : végétation et autres (micro-)organismes ;
- le temps (la durée des événements) ;
- la topographie;
- les interventions humaines (p. ex., les pratiques culturales, mais aussi les incendies et la déforestation).

Les types de sol

Il existe énormément des variations et des types de sol que seuls les pédologues sont à même de reconnaître et de décrire valablement. Parmi les types de sols les plus représentatifs des pays ACP d'Afrique sub-saharienne, on trouve principalement :

- des sols désertiques ;
- des sols marrons et bruns ;
- des sols ferrugineux, fersiallitiques et des vertisols;
- des sols ferrallitiques et des brunizems.

Propriétés physiques, physico-chimiques et biologiques des sols

La texture du sol donne la proportion de particules minérales de différentes tailles. Les principales classes de taille des particules sont l'argile (< 0,002 mm), le limon (0,002 à 0,063 mm) et le sable (0,063 à 2,0 mm). On distingue donc 4 classes fondamentales : texture sablonneuse, limoneuse, argileuse ou équilibrée. La texture peut être estimée au toucher entre les doigts et mesurée par tamisage et sédimentation. Les classes texturales peuvent varier selon les pays.

La structure du sol désigne l'arrangement des particules du sol (également appelés agrégats) et l'espace qui les sépare (pores). La structure est donc importante pour le mouvement de l'eau et de l'air, et pour le développement des racines (la porosité du sol est un élément essentiel à considérer). Il existe 3 grands types de structures : fragmentaire, particulaire ou compacte.

Le type de structure du sol **dépend de l'activité biologique**, des caractéristiques physicochimiques et minéralogiques, de la matière organique et de la gestion du sol (des pratiques agricoles, y compris de l'usage plus ou moins intensif des engrais chimiques et des pesticides). Les propriétés biologiques des sols dépendent de la présence et de la diversité des espèces. On trouve dans le sol plus de 4 000 génotypes bactériens et plus de 2 000 espèces de champignons saprophages pour la décomposition et la production de MO. Le sol contient jusqu'à 1 000 espèces d'invertébrés : mollusques, insectes, diplopodes ou myriapodes, vers de terre (fouisseurs), acariens, collemboles, nématodes et protozoaires.

Le complexe argilo-humique (CAH) représente une **structure formée d'argile et d'humus**. Des échanges de cations ont lieu entre le CAH et la solution du sol : c'est la CEC (capacité d'échange cationique). L'acidité du sol (pH) et le pouvoir tampon du sol se définissent par la concentration en ion H⁺ dans l'eau du sol et le pouvoir tampon intervient dans la stabilisation du pH du sol.

Les principales fonctions du sol

Le sol n'est pas qu'un « substrat », et le réduire à cette simple et unique fonction serait une erreur.

En tout premier lieu, le sol participe au cycle des éléments nutritifs, au stockage de l'eau et du carbone, à la régulation du climat et des bioagresseurs, ainsi qu'à la conservation de la biodiversité globale.

Le sol participe aux cycles de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K), éléments nécessaires au développement des plantes. Tout en représentant un des puits du carbone, le sol participe au cycle du carbone en stockant et en rejetant le carbone dans l'atmosphère. Les sols, en relâchant du carbone atmosphérique (CO_2) participent également à la régulation climatique du globe.

Le sol est un milieu de stockage permettant l'épuration de l'eau qui s'infiltre.

Le sol est une **réserve de la biodiversité**. C'est une formidable usine à transformer et à faire naître du vivant, car des milliers d'espèces animales et végétales vivent dans le sol. Il est un lieu de vie, riche en espèces et en êtres vivants : les nombreux micro-organismes, invertébrés et bactéries forment 80 % de la biomasse. Dans le sol, chaque espèce joue un rôle de transformateur des matières organiques et minérales pour les rendre utilisables par les plantes. Le sol joue un rôle de régulation des populations biologiques.

Le sol est une source de matières premières pour la construction, pour réaliser des ustensiles de cuisine, pour l'extraction d'énergie ou de minerais.

2. INFLUENCE DES PRATIQUES CULTURALES SUR LA QUALITÉ DES SOLS

Alors que les agriculteurs devraient gérer en « bons pères de famille » les sols, force est de constater que, sous la pression économique, ils adoptent souvent un ensemble de pratiques qui portent atteinte à la fertilité de leurs sols. La dégradation de la fertilité est un phénomène progressif, ses effets sur la production ne se font pas sentir immédiatement, mais vont en s'amplifiant, conduisant l'agriculteur dans une impasse. Revenir à une situation favorable devient alors le plus souvent compliqué et nécessite, non seulement une remise en question de pratiques devenues habituelles, mais aussi de lourds investissements en temps, en main-d'œuvre et autres. Plus que jamais, en ce qui concerne les sols, « prévenir vaut mieux que guérir », car souvent il est trop tard pour agir et rétablir une fertilité suffisante. Certaines pratiques culturales ont un effet néfaste sur la qualité des sols. D'autres, au contraire, sont favorables pour le maintien de la fertilité.

Impact de quelques pratiques culturales et leurs effets

- Le labour facilite le semis et permet d'enfouir profondément les restes de culture, les engrais et fumiers, et détruit les mauvaises herbes. Cependant, le labour est responsable de l'érosion et favorise grandement le ruissellement de l'eau et l'entraînement de sédiments vers le bas de la pente, conduit à la compaction du sol et entraîne une réduction de sa porosité.
- La culture sans labour comme les techniques du strip till (travail du sol limité, sur les bandes de semis seulement) ou du ridge till (sur billons), ou du mulch till (travail en surface seulement sans enfouir les résidus de culture) ou encore, « semis direct sous couvert associé à une rotation des cultures performante » influent positivement sur la qualité du sol.
- Le non-labour (semis direct) prend environ 5 ans pour réduire de 90 % l'érosion des sols. En non-labour ou semis direct, l'acidification peut s'accentuer dans l'horizon de surface.
- La monoculture accentue l'érosion hydrique et éolienne, les risques d'inondation des sols et l'épuisement du sol par des prélèvements répétés des mêmes éléments.

- L'association culturale contribue à l'épuisement rapide du sol malgré l'amélioration de la disponibilité de l'azote qu'elle offre dans l'association avec les légumineuses.
- La rotation culturale permet d'atteindre une meilleure exploitation du sol par les racines et une meilleure couverture du sol tout au long de l'année si l'ordre de succession des cultures est bien choisi et soutenu par l'incorporation au sol de la matière organique résiduelle.

Impacts de l'usage des intrants chimiques

Les polluants organiques rejetés dans l'atmosphère et qui retombent sur les sols sont un gros problème, car les sols gardent en « mémoire » les produits chimiques : spécialement les dioxines et les PCB (polychlorobiphényles), qui sont des polluants persistants dans les sols, ou les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), ou encore les métaux lourds comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). Les pollutions industrielles sont très importantes autour des centres urbains, où les industries et la forte utilisation de carburant plombé ont contaminé le sol en plomb. Mais les pratiques agricoles intensives peuvent aussi « marquer » durablement les sols.

On observe une différence entre les sols cultivés en agriculture biologique et ceux où des engrais minéraux, des insecticides, des fongicides et des herbicides ont été utilisés pendant des années : la biodiversité diminue, l'activité biologique se réduit, la structure se fragilise.

Les effets suivants illustrent bien les impacts de l'usage de certains intrants chimiques.

- Certains pesticides, les dioxines et PCB sont des polluants persistants dans les sols.
- En cas de contamination par les HAP ou les métaux lourds plomb (Pb), cadmium (Cd), cuivre (Cu), zinc (Zn) qui sont des polluants industriels, le sol devient impropre à la culture, notamment dans les bas-fonds ou en périphérie des sites miniers.
- Les engrais minéraux et les amendements agissent aussi sur les propriétés du sol : salinisation et acidification (pH acide). Certains engrais phosphatés contiennent du cadmium (Cd).
- Certains fertilisants organiques (lisiers, fumiers de porcs) contiennent des concentrations élevées en cuivre (Cu) en zinc (Zn) en cadmium (Cd) et plomb (Pb) qui sont des polluants du sol.

Modes de production et impacts sur la fertilité du sol

Divers modes de production cherchent à conserver, améliorer ou restaurer la fertilité des sols. Ces modes de production sont intéressants à étudier, car ils permettent de confronter ce que l'on appelle l'« agriculture conventionnelle » qui sert trop souvent de modèle technique de référence, à d'autres approches, d'autres façons de penser l'agriculture, le rôle des sols, l'intérêt des techniques traditionnelles, etc. Tous les agriculteurs ont leur propre manière de conduire leur exploitation. Il est très difficile aujourd'hui de définir valablement tous les modes de production et de les classer en fonction de leur « durabilité », selon les diverses façons d'exploiter et de gérer les sols. Néanmoins, il est utile de tenter de les différencier et d'expliquer au praticien, confronté à ces concepts, leurs différences.

On peut présenter comme suit les divers modes de production connus.

• L'agriculture dite « conventionnelle » ou plutôt « agriculture industrielle » : elle est fortement mécanisée, très consommatrice en énergie fossile et en intrants, et, à

long terme, nuit à la qualité des sols : diminution de la teneur en matière organique, perte de structure, régression de l'activité biologique des sols, accumulation de produits toxiques dans les sols.

- L'agriculture dite « raisonnée » : les apports sont raisonnés et limités. Les observations montrent que l'effet à long terme est le ralentissement du phénomène de dégradation de la fertilité normale du sol.
- La production intégrée : le travail du sol est limité et la fertilisation du sol est pratiquée « au plus juste » ; on se rapproche de l'idéal de l'agriculture durable.
- L'agriculture biologique : elle refuse l'utilisation des produits chimiques de synthèse et allie les meilleures pratiques environnementales, un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles et en protégeant notamment les sols.
- L'agriculture de conservation, parfois dite « agriculture écologiquement intensive » :
 elle redonne au sol son rôle de pilier dans la production végétale et est considérée,
 non pas comme un support inerte, mais comme un milieu vivant. Elle est perçue
 par les utilisateurs comme un outil valable pour la gestion pérenne du terroir ».
 L'agriculture de conservation améliore la biodiversité et les processus biologiques
 du sol. Elle est garante d'une bonne agronomie, avec des interventions ciblées dans
 le temps, améliorant la qualité générale des sols. Elle permet l'intégration des
 végétaux, du bétail ainsi celle des arbres et du pâturage.
- La permaculture : c'est un mode d'aménagement écologique du territoire dont les trois piliers sont : prendre soin des hommes et de la terre, produire et partager équitablement les ressources.
- L'agroforesterie : elle désigne des pratiques, nouvelles ou historiques, associant arbres, cultures et/ou animaux sur une même parcelle agricole, en bordure ou en plein champ. L'agroforesterie se fonde sur le principe de la complémentarité (arbre sol cultures). Elle réduit la perte des substances nutritives du sol et fournit la protection contre l'érosion, elle permet la maîtrise des surfaces cultivées en protégeant les sols et les eaux ; elle lutte contre l'effet de serre ; l'arbre remonte l'eau et les minéraux des couches profondes du sol pour les remettre à disposition des cultures de surface. L'agroforesterie est un système de gestion des ressources qui est écologique, dynamique et naturel, et qui, par l'intégration des arbres dans le paysage, permet une production durable et diversifiée, procurant au paysan des bénéfices sociaux économiques et environnementaux accrus.
- Le zaï (cuvettes ou micro-bassins pour piéger les sables, limons des matières organiques): elle permet de concentrer l'eau localement, de maîtriser le ruissellement et l'érosion, de restaurer la macroporosité et le potentiel de production d'un sol dégradé. Le zaï revitalise la couche superficielle, corrige les carences, supprime les toxicités aluminiques et manganiques du sol, et améliore son activité biologique. Le zaï homogénéise les sols et sécurise la production par son efficacité sur la gestion de l'eau ; c'est une technique culturale traditionnelle originaire d'Afrique de l'Ouest (Dogons du Mali, Niger, Burkina Faso), aujourd'hui principalement pratiquée par la population du nord du Burkina Faso (Yatenga). Elle donne de bons résultats même quand la pluie est en retard, et même quand la pluie manque. Quand la pluie est bonne, les récoltes sont très bonnes.

• La technique de culture en demi-lunes : c'est une méthode de réhabilitation des terres dégradées qui vise à collecter l'eau de ruissellement nécessaire à la croissance des cultures dans les zones arides et semi-arides. La culture en demi-lunes utilise le même principe que le zaï, mais ces demi-lunes sont plus adaptées aux terrains fortement inclinés. Elle augmente l'infiltration et le stock d'eau du sol et elle améliore la fertilité du sol et la productivité. Elle permet de récupérer des terres encroûtées.

3. LA FERTILITÉ DES SOLS

La fertilité d'un sol est son aptitude à soutenir la production des cultures et, dans ce sens, fertilité et productivité sont synonymes. Un sol fertile est un substrat qui peut soutenir la croissance optimale des végétaux, de la germination de la semence à la maturité de la plante. Ce soutien consiste principalement à fournir :

- un volume de sol adéquat pour le développement racinaire de la plante ;
- de l'eau et de l'air pour le développement racinaire et la croissance ;
- les éléments chimiques pour répondre aux besoins nutritionnels de la plante ;
- l'ancrage pour la structure végétale qui en résulte.

Pourtant, une vision de la fertilité fondée sur les composantes physiques du milieu est trop réductrice, car le sol n'est pas uniquement un assemblage d'éléments organiques et minéraux, mais il est préférable de le considérer comme un « être vivant » qui naît puis évolue sous l'influence de divers facteurs dont la (micro)faune, la (micro)flore, et surtout les pratiques agricoles et son usage par l'homme (Samake, 2007).

La fertilité du sol **dépend de son origine** (sols alluviaux, sols développés sur des différents types de roche mère), de sa texture, de sa structure, de sa teneur en matière organique et de la gestion de cette fertilité par le producteur dans le passé (apport en engrais minéraux et organiques, précédents culturaux, etc.).

Pour expliquer la fertilité des sols, on peut distinguer **deux types d'indicateurs** qui évoluent avec le temps et sont directement affectés par les pratiques agricoles.

- Des paramètres inhérents de la qualité du sol se rapportent aux caractéristiques du sol dans son état naturel et lui permettent de fonctionner correctement. Il s'agit de la texture du sol, de la profondeur de la roche mère, qui peuvent diminuer à la suite de l'érosion.
- Des paramètres dynamiques de la qualité du sol qui dépendent de la façon dont le sol est géré et comprennent la structure du sol, la teneur en matière organique du sol, et la capacité de rétention de l'eau et des nutriments.

Les facteurs physiques qui conditionnent la fertilité du sol sont nombreux. Ces facteurs souvent, interagissent entre eux et influencent la fertilité du sol, c'est-à-dire sa capacité à produire.

Parmi ceux-ci, certains ont aussi une influence sur la durabilité de cette fertilité. Ce sont :

- la pluviométrie et la température (climat), qui influencent la fertilité des sols ;
- la profondeur, la texture, la structure du sol, les propriétés physicochimiques du sol, qui conditionnent sa fertilité.

Importance de la matière organique pour la fertilité nutritionnelle des sols et la biologie du sol pour sa fertilité

Il est nécessaire de connaître l'importance de la matière organique pour la fertilité nutritionnelle des sols. Pour maintenir la fertilité du sol, il faut commencer par préserver la matière organique qu'il contient. Longtemps le rôle de l'humus dans la nutrition des plantes a été minimisé, et on a donc ignoré les rôles multifonctionnels critiques que jouent la matière organique et la biologie du sol dans la fourniture aux plantes de bonnes quantités de minéraux.

La présence de matière organique dans le sol est essentielle pour maintenir sa richesse en éléments nutritifs pour la plante. C'est l'humus, qui donne une couleur foncée au sol, qui permet de retenir beaucoup d'eau et de substances nutritives.

Si le sol est très détérioré, l'utilisation d'engrais chimiques peut devenir nécessaire pour permettre une restauration très rapide de la fertilité du sol.

Importance de la biologie du sol pour sa fertilité

La plupart des systèmes agricoles conventionnels ont ignoré les rôles multifonctionnels clés de la biologie du sol et ses relations avec la productivité des terres agricoles. Pourtant, les organismes du sol interviennent aussi bien dans les aspects physiques que chimiques de la qualité des sols.

Les macro-organismes creusent jusqu'à de grandes profondeurs de larges pores, ou même des galeries, facilitant le drainage, l'aération, etc., et donc participent à l'entretien du sol, à l'enfouissement de la litière, à la décomposition de la croûte, au déplacement des particules du sol et à la formation des pores.

Mais **ce sont les micro-organismes qui conditionnent le plus la fertilité du sol**. Ils ont pour rôle de :

- rendre les nutriments disponibles ;
- améliorer la structure du sol par la formation d'agrégats ;
- capter et fixer l'azote : de nombreuses études montrent que ces micro-organismes produisent un éventail de composants que les plantes utilisent pour se nourrir et pour se protéger;
- d'augmenter l'**absorption des éléments nutritifs** : les groupes de micro-organismes qui sont bénéfiques pour la fertilité du sol sont les mycorhizes et les champignons apparentés.

La plus forte concentration de micro-organismes du sol se trouve dans une région étroite **au voisinage des racines des plantes**. La biologie du sol joue donc de nombreux rôles dans l'optimisation de la production agricole, et toute gestion durable de la fertilité doit éviter de porter atteinte à la vie et à l'équilibre du sol.

Comment apprécier la fertilité du sol

Les critères d'appréciation de la fertilité du sol dépendent de :

- la profondeur, une grande profondeur : offre un grand espace aux racines, et une grande réserve de matières nutritives et d'eau du sol ;
- sa texture et sa structure qui montrent que les grains moyens et une bonne structure sont des critères d'une bonne fertilité :

- la teneur en composition de l'humus, en éléments nutritifs et en en produits toxiques pour les sols, pour les plantes, mais aussi pour l'homme ;
- sa composition minéralogique du substrat parental : un substrat parental homogène donne un sol pauvre en éléments nutritifs et fournit une alimentation déséquilibrée ;
- la réaction du sol qui se traduit par la valeur de son pH : le pH voisin de la neutralité (pH 6-7) favorise l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes.

Le diagnostic visuel permet la fertilité du sol par sa couleur, qui est une bonne indication de sa teneur en matière organique et de sa nature. En agriculture, on a pendant très longtemps utilisé des **plantes indicatrices** pour connaître ce qu'on appelle le milieu naturel, sa fertilité en général, ses aptitudes culturales particulières ou plus précisément certaines contraintes ou conditions pédoclimatiques. Les agriculteurs estiment aussi la fertilité en se fondant sur une connaissance longuement acquise de la valeur indicatrice de la végétation ou de certains signes observables à la surface du sol. **Les analyses en laboratoire complètent utilement l'observation de terrain pour établir le diagnostic** et pour mieux statuer sur les qualités et les défauts du sol.

La détermination de la fertilité du sol se fait aussi, par :

- l'analyse des tissus comme indicateur de la fertilité du sol, qui consiste à déterminer la teneur en certains éléments de certains organes des plantes ;
- l'analyse des tissus de plante, car l'analyse des tissus donne des indications sur la qualité nutritionnelle du sol ;
- le diagnostic de la structure et de l'activité biologique du sol par un profil du sol, qui est le test de la « bèche » : comptage des macropores ;
- le dénombrement et l'identification des vers de terre ;
- le mesurage du temps d'infiltration de l'eau (évaluer la porosité du sol) ;
- une bonne observation de la forme et la densité des racines des plantes;
- Llanalyse de la biomasse microbienne.

La fertilisation des sols et les éléments fertilisants

La fertilisation est le processus consistant à apporter à un milieu de culture, tel que le sol (mais aussi tout autre substrat artificiel utilisé en horticulture), les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante. Les engrais ou « matières fertilisantes » peuvent être de deux types: chimiques ou organiques. Ils sont présentés sous forme solide ou sous forme liquide.

La fertilisation reste difficilement maîtrisée par les producteurs malgré les efforts déployés dans la vulgarisation. Leurs pratiques habituelles de fertilisation ne sont pas adaptées à une production durable. Elles sont souvent dépendantes de nombreux facteurs tels que la disponibilité de ressources organiques, la disponibilité sur le marché des engrais minéraux et surtout leur pouvoir d'achat. La croissance de la production ne peut venir que d'une amélioration des rendements par l'utilisation des éléments fertilisants.

Les matières fertilisantes, tant chimiques qu'organiques, jouent un rôle important en agriculture, car elles :

• augmentent le rendement quantitatif et qualitatif, permettant aux agriculteurs de réaliser plus de bénéfices par rapport au travail fourni et aux produits utilisés ;

- permettent d'obtenir de bons rendements avec des cultures de valeur au travers d'un élargissement du choix des espèces cultivées, qui permet à l'agriculteur d'adopter un système de culture plus productif et plus avantageux. Dans ces conditions, il existe la possibilité de diversifier la production;
- permettent l'introduction des éléments nutritifs supplémentaires dans le cycle de la croissance des plantes et dans la composition de leurs débris, et ainsi d'améliorer la fertilité;
- augmentent indirectement la quantité de résidus de récoltes qui pourront être incorporés au sol par les labours ;
- jouent également un rôle sur la qualité des produits. Par exemple, la fertilisation potassique améliore la tenue à la cuisson de la pomme de terre, mais peut aussi diminuer la farinosité de la chair.

La fertilisation doit toujours être raisonnée, elle doit répondre aux objectifs de durabilité ,et notamment intégrer le contexte économique et environnemental. L'agriculteur devra définir précisément ses besoins en fonction de ses objectifs de production et de son mode de production. Il devra prendre en compte la nature du sol et les exigences de chaque culture, dans le cadre de la rotation ou des associations culturales, ainsi que les ressources minérales ou organiques disponibles localement, en quantité et qualité suffisantes et adéquates.

Rôle de la phase aqueuse des sols dans la fertilité des sols

L'approche durable vise plutôt à **collecter le plus d'eau possible** pour répondre aux besoins, au lieu d'apporter de l'eau par irrigation. On peut collecter de l'eau, par exemple, en installant des structures permettant de diminuer le ruissellement, de ralentir la vitesse d'écoulement de l'eau sur le sol, ou on peut penser à couvrir la surface du sol avec un paillis organique pour favoriser l'infiltration et réduire l'évaporation à la surface du sol.

L'eau est à la fois un aliment, source d'hydrogène et d'oxygène, et un véhicule qui permet aux racines d'absorber les éléments fertilisants dissous. Les plantes, pour la plupart, tirent du sol l'eau et les sels minéraux qui leur sont nécessaires. Les racines, qui forment l'appareil radiculaire et les poils absorbants localisés sur les plus jeunes d'entre elles, jouent pour cela un rôle essentiel. Les racines absorbent les éléments minéraux sous forme d'ions, soit à partir de la solution du sol, qu'ils soient libres ou piégés dans des complexes organiques particuliers, soit à partir de réseaux colloïdaux du sol sur lesquels les éléments sont adsorbés.

Les éléments minéraux adsorbés sur les colloïdes ou dissous dans la solution du sol transitent vers la racine par deux processus :

- flux de masse (mass-flow) : transport par l'eau de transpiration des végétaux ;
- osmose : mouvement d'ions se produisant sous l'effet d'un gradient de concentrations, qui dépend du pouvoir absorbant du sol et de la mobilité des ions.

L'absorption des éléments minéraux par les racines est un phénomène sélectif et la plante choisit les éléments les plus utiles à son métabolisme. Elle comporte :

• une phase passive d'échanges des ions sur les surfaces d'échange de la racine, c'est-à-dire que les cations sont échangés contre les H⁺ des parois cellulaires porteuses, essentiel pour déterminer la capacité d'échange de cations ;

• une phase active de pénétration qui est assurée par l'énergie fournie par la respiration. Le transport de chaque ion se fait par un transporteur spécifique.

L'eau du sol disponible pour la plante ou « eau utile » ou **réserve utile en eau d'un sol (RU)** est la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. Les nutriments sont récupérés par les plantes seulement si elles disposent suffisamment d'eau dans le sol pour les absorber.

4. LES CAUSES DE LA DÉGRADATION DES SOLS

La dégradation des sols est due essentiellement à l'homme et à un phénomène à l'échelle mondiale. À travers le monde, les exemples de régions où les sols ont été gravement altérés à la suite de leur mauvaise exploitation sont très nombreux. Le sol peut se dégrader rapidement alors qu'il lui faut environ 20000 ans pour se former et se régénérer. Il est donc capital de préserver la qualité agricole et la fertilité des sols.

Le taux de dégradation des terres cultivables est estimé à 25 % en Afrique, 38 % en Asie, 21 % en Amérique, 11 % en Europe et 5 % en Océanie. Les superficies de terres cultivables sont en constante diminution, à un rythme élevé d'environ 5 à 10 millions d'ha par an. La dégradation des sols, leur perte de fertilité, est donc partout dans le monde une préoccupation autant économique qu'écologique, mais les conséquences en sont ressenties le plus fortement par les populations pauvres des pays en voie de développement.

Les principales manifestations de cette dégradation du sol se rapportent à **deux cas de figure.**

- Celles qui concernent actuellement tous les sols directement utilisés par l'homme : il s'agit, d'une part, de l'appauvrissement biologique et de la diminution des taux de matière organique, et, d'autre part, de la compaction des sols.
- Celles, plus localisées, qui ne concernent, pour l'instant, que des surfaces relativement limitées de l'ensemble des surfaces cultivables de la planète : hydromorphie, salinisation, alcalinisation, acidification, appauvrissement en particules fines et en éléments nutritifs, érosion ou pollution. Malheureusement, ces surfaces ont tendance à s'accroître, parfois rapidement.

La concurrence graduelle entre les différents usages de la terre, soutenue par une insuffisance de gestion durable des sols, conduit à une dégradation continue des propriétés du sol et de sa fertilité. Aujourd'hui, le sol est un facteur limitant de l'offre alimentaire, tant en quantité qu'en qualité, et il faut nécessairement une politique de préservation des sols en agriculture.

Les causes du déclin de la fertilité des sols

Le déclin de fertilité du sol peut être défini comme une détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Selon une étude menée en 1991, la dégradation physique des sols est la plus importante, et elle est pour une bonne part directement liée à l'action de l'homme. Le déclin de fertilité du sol, ou la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, est pour une bonne part directement liée à l'action de l'homme.

La dégradation de la fertilité du sol peut avoir de nombreuses causes.

- L'érosion, l'absence de couverture, la perte de matière organique et la compaction causent la détérioration des propriétés physiques ou de la structure du sol.
- La salinisation, l'acidification, l'épuisement des éléments nutritifs endommagent les propriétés chimiques des sols. La pollution par des déchets industriels ou par l'application excessive des pesticides ou des engrais chimiques provoquent également la détérioration des propriétés chimiques des sols.
- La dégradation biologique s'explique par certaines pratiques culturales, l'apport des produits chimiques toxiques pour les organismes du sol, la diminution de la teneur en matière organique du sol, le pH trop bas, la combustion de la biomasse et l'épuisement de la couverture de végétation.

L'érosion des sols

L'érosion est le décapage ou le processus au cours duquel des particules de sol sont détachées. Le mode de transport, et le dépôt des éléments solubles et solides du sol déterminent le type d'érosion.

- Sous l'effet de l'eau, c'est l'érosion hydrique : l'érosion hydrique est un phénomène complexe, qui menace particulièrement les potentialités en eau et en sol. Elle se définit comme le détachement et le transport de particules de sol de son emplacement d'origine par différents agents vers un lieu de dépôt. Les trois étapes par lesquelles passe l'érosion sont le détachement, le transport et la sédimentation.
- Transportées par le vent, il s'agit de l'érosion éolienne : le phénomène d'érosion éolienne peut se produire n'importe où dès lors que les conditions de sol, de climat et de végétation leur offrent un terrain favorable, c'est-à-dire que :
 - le sol est meuble, sec, et assez finement émietté ;
 - la surface du sol est relativement égale et la couverture végétale absente ou clairsemée ;
 - le champ est suffisamment étendu ;
 - le vent est suffisamment fort pour amorcer un mouvement des particules.

La vitesse et l'ampleur de l'érosion causée par le vent dépendent de l'érodabilité du sol, de la rugosité de la surface du sol et du climat. L'érosion peut être d'origine naturelle ou humaine, qui est l'érosion anthropique engendrée par le travail du sol.

L'érosion est un phénomène naturel qui peut avoir des effets :

- bénéfiques : dépôt d'alluvions fertiles ;
- nuisibles : être un danger majeur pour les sols, soit qu'elle appauvrisse sélectivement l'horizon superficiel de sa substance vitale, ou soit qu'elle décape les horizons superficiels parfois jusqu'à la roche.

Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable, tolérable. En effet, l'érosion est à l'origine du rajeunissement des sols de montagne et de la formation des plaines les plus fertiles. L'érosion ne devient un problème que lorsque la perte de sol affecte considérablement la productivité. C'est malheureusement le cas dans une grande partie de l'Afrique subsaharienne.

La déforestation et le surpâturage entraînent une dégradation de la terre

Les forêts abritent 80 % de la biodiversité terrestre, la plupart des forêts du monde rendent de grands services à l'homme. La forêt couvre, protège et conserve le sol ; elle fournit de l'énergie et a une fonction essentielle dans la lutte contre le changement climatique. En effet, la végétation est une source de carbone très importante : 40 % du carbone terrestre y serait stocké. Les forêts tropicales couvraient au début du XIX^e siècle dans le monde une superficie de 16 millions de km² environ. Aujourd'hui, moins de la moitié subsiste.

Les animaux sont une des composantes majeures du système de production alimentaire dans les régions arides, semi-arides et subhumides. La valeur des fumiers a été depuis longtemps largement reconnue dans la production agricole. Ils sont essentiels pour la production agricole durable dans la plupart des systèmes à niveau d'intrants faible et intermédiaire.

À mesure que la surface des terres cultivées augmente, les meilleurs sols sont choisis pour la mise en culture, de sorte que la productivité des pâturages restants diminue. Autour des points d'eau servant d'abreuvoir, la couverture végétale peut être détruite et les sols compactés par le piétinement augmentent ainsi la quantité d'eau qui ruisselle. La déforestation correspond au déboisement de parcelles de forêt, à la suite d'une surexploitation de la forêt ou afin de libérer des terres pour d'autres usages. Chaque année, elle fait disparaître quelque 13 millions d'hectares de forêts dans le monde. La déforestation progresse rapidement en Afrique subsaharienne. Les « services écosystémiques » que rend la forêt sont précieux et multiples.

Les causes de la déforestation en zone tropicale sont les suivantes.

- L'expansion de l'agriculture : elle est subdivisée en plusieurs types d'activités, pouvant toutes entraîner la conversion de forêts.
- L'extraction du bois : le bois d'œuvre est trop souvent exploité de façon dévastatrice en régions tropicales exploitées pour leur bois précieux, puis pour leur bois d'œuvre, et enfin pour la production de pâte à papier.
- La production de charbon de bois ou son utilisation comme bois de feu : le bois est souvent le seul combustible disponible ou accessible aux populations pour fournir l'énergie nécessaire à la cuisson des aliments et à la transformation des produits agricoles.
- L'expansion des infrastructures et de l'exploitation minière : les impacts du secteur minier sur le couvert forestier sont directs. Ces impacts sont irréversibles sans action de réhabilitation.

Les conséquences de cette déforestation sont nombreuses, à savoir la dégradation des sols, la perte de la biodiversité, le changement climatique, les catastrophes naturelles, la diminution de la ressource en eau et l'aggravation des maladies.

En fait, la déforestation et le surpâturage entraînent une dégradation de la terre.

- La déforestation engendre la dégradation des sols, une perte de biodiversité, un changement climatique (libération massive de CO₂), des catastrophes naturelles, une diminution de la ressource en eau et l'aggravation de certaines maladies.
- Après déforestation la régénération de la végétation naturelle prend énormément de temps (environ 20000 ans).

• Le surpâturage : la pression sur les zones de pâturage entraîne une perte de végétation comestible et une dominance d'espèces arbustives, amenant ensuite à une désertification.

La salinisation du sol

La salinité d'un sol découle de la présence des solutés minéraux majeurs dissous dans les eaux ou dans les sols. La salinisation du sol désigne l'augmentation progressive de la concentration en sels hydrosolubles de la solution du sol, sous l'influence de facteurs naturels.

Les sols salés couvrent de grandes surfaces, sur tous les continents et sous tous les climats. La salinisation du sol est une manière par laquelle la productivité du sol peut diminuer sans perte du couvert pédologique, un scénario similaire à celui de la pollution du sol par des produits chimiques.

La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride, excèdent de beaucoup l'infiltration et donc le lessivage.

Les conséquences de la salinisation sont les suivantes.

- L'accumulation de sels solubles, en particulier les sels de sodium, à la surface du sol et dans la zone racinaire provoque des effets nocifs sur les végétaux qui induisent une diminution des rendements, voire une stérilisation du sol.
- Le plus grave danger pour le sol est l'eau présente en trop grande quantité qui cause, d'une part, son engorgement, et, d'autre part, élève le niveau de la nappe des eaux souterraines. La pression osmotique dans la solution du sol empêche la pénétration de l'eau dans la plante.
- Des variations de pH peuvent aussi survenir à la suite des phénomènes de salinisation.
- La salinisation diminue également l'activité microbienne du sol à la base des processus de nitrification.

Les cultures maraîchères et arboricoles sont généralement plus sensibles à la concentration en sels dans la zone radiculaire que les céréales. La salinité du sol est évaluée par des méthodes d'analyse ionique et son seuil de tolérance à la salinité est propre à chaque espèce végétale.

La compaction du sol

Les sols tassés sont moins productifs, plus sensibles à l'érosion et contribuent moins aux fonctions épuratrices et « tampon » des sols. Partout dans le monde, les sols utilisés par l'homme tendent à se tasser, perdant de leur porosité, souvent sur 10 à 50 cm. Cette compaction est le plus souvent due aux engins agricoles, mais le surpâturage et la surfréquentation d'un milieu par l'homme peuvent y contribuer localement. La compaction a des impacts divers.

 Les sols tassés causés par le piétinement du bétail et/ou par les engins lourds avec l'emploi des machines plus puissantes sont plus sensibles à l'érosion, contribuent moins aux fonctions épuratrices et « tampon » des sols. Le tassement du sol peut être également causé par l'utilisation excessive ou inadaptée d'engrais chimiques et de certains amendements.

- Le passage répété d'engins lourds est un facteur d'asphyxie du sol et de dégradation, voire de régression du sol, surtout sur les sols limoneux fragiles.
- La rapidité d'infiltration des eaux est affectée par la compaction avec la possibilité de la disparition du couvert végétal et une accélération de l'érosion du sol.

La pollution et la contamination des sols

On dit qu'un sol est pollué lorsqu'il contient une **concentration anormale** de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé des plantes ou des animaux. Les sols agricoles peuvent être pollués avant ou pendant leur mise en culture. C'est pourquoi il est important de connaître l'« historique du sol » sur plusieurs années, surtout dans le cadre de certaines certifications (ex. : GLOBALG.A.P. qui l'exige).

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît comme le sousproduit d'une action humaine, au travers des effets directs et indirects de ses activités. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers de ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques. La pollution du sol correspond à l'accumulation de composés toxiques: produits chimiques, sels, matières radioactives ou agents pathogènes qui, tous, ont des effets sur la croissance des plantes et la santé des animaux.

Dans une approche « milieu », le sol est interfacé avec l'eau et l'air ; la notion de pollution du sol appelle donc généralement aussi celle de contamination d'un ou plusieurs composants des écosystèmes ou potentiellement des organismes vivant en contact direct ou indirect avec le sol avec une incidence sur l'écosystème, au-delà de seuils variant selon la nature du polluant et du sol. Les effets de la pollution des sols dépendent de leur structure et de leur texture. Certains sols ont la capacité de filtrer, d'absorber et de recycler des quantités importantes de déchets ; dans d'autres sols, certains constituants toxiques ne sont pas retenus et se retrouvent dans les fleuves et dans les nappes phréatiques. Les sols sableux sont favorables au lessivage, alors que les sols argileux épais retiennent mieux les polluants. Ainsi, toutes les activités humaines sur les sols doivent tenir compte des propriétés des sols, et de la position de la nappe et des cours d'eau du milieu.

Outre les composés toxiques tels que les produits chimiques, les sels, les matières radioactives ou agents pathogènes qui agissent négativement sur la croissance des plantes et la santé des animaux, il y a également :

- la pollution du sol due à l'accumulation (sur et dans le sol) de substances non biodégradables : ETM, PCB, dioxines, HAP, solvants utilisés en industrie, huiles usagés et pesticides ;
- la pollution du sol également engendrée par l'abandon des emballages de pesticides dans les champs ;
- l'évolution des polluants dans les sols va dépendant de leurs propriétés physicochimiques: biodégradables ou non, polluants très solubles facilement entraînés vers les couches plus profondes des sols.

Les polluants s'adsorbent, de manière plus ou moins durable, sur les particules du sol, particulièrement sur les colloïdes (CAH), et certains polluants, dont les pesticides, se trouvent insolubilisés et se fixent définitivement dans la phase solide des sols.

5. PRÉSERVER ET RESTAURER LA FERTILITÉ DES SOLS

De nos jours, 33 % des terres sont modérément ou gravement dégradées du fait de l'érosion, de la salinisation, du compactage, de l'acidification et de la pollution chimique des sols. Le taux actuel de dégradation des sols menace la capacité des générations futures à satisfaire leurs besoins les plus élémentaires. Cependant, on assiste à une prise de conscience de la nécessité d'une réforme générale des pratiques agricoles de référence.

Les mesures « agro-environnementales » dans le cadre de la politique agricole en Europe sont des aides aux agriculteurs pour favoriser, entre autres, les actions de protection des sols. La Convention de Rio sur la diversité biologique (CDB) a mis en place une initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique des sols. Divers États, tels que les États-Unis, le Japon, le Canada, l'Australie, le Brésil et quelques pays en développement, ont créé des politiques d'observation et de protection des sols.

Comprendre et respecter certains principes de base pour prévenir la dégradation des sols

Pour prévenir efficacement la dégradation de la fertilité des sols, il nécessaire d'analyser, au niveau le plus proche du terrain, les risques induits par la nature du sol et sa teneur en matière organique, les pratiques culturales, surtout le travail du sol et la fertilisation, la topographie particulièrement la pente, le climat, notamment le régime des pluies, le type de cultures implantées, à savoir la couverture du sol.

Le respect d'un certain nombre de principes de base permettra déjà de réduire fortement ou de ralentir le risque de dégradation de la fertilité.

- Réduire **le travail du sol** à ce qui est vraiment nécessaire et préférer l'approche adoptée par l'agriculture de conservation : « labourage écologique » et techniques alternatives.
- Implanter des **couverts végétaux** pour protéger le sol de la chaleur, de l'érosion, de l'évaporation et du lessivage des éléments fertilisants par la pluie.
- Adopter la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) en combinant toujours les apports d'engrais avec des apports de matière organique.
- Amender le sol : lui apporter les éléments tels que la matière organique, la chaux, qui permettront de maintenir une bonne structure d'une part, et de dynamiser naturellement son activité biologique d'autre part.
- Utiliser l'irrigation avec parcimonie : éviter les apports d'eau non maîtrisés, et s'assurer d'un bon drainage pour éviter l'accumulation de sels dans la couche superficielle du sol.
- Respecter l'intégrité du sol : éviter de polluer le sol avec des composés toxiques : pesticides, métaux lourds présents dans certains engrais ou fertilisants, hydrocarbures, déchets ménagers.

Opter pour des techniques de lutte contre l'érosion hydrique et éolienne

L'érosion du sol constitue l'un des problèmes les plus cruciaux auxquels l'agriculture est confrontée aujourd'hui. Cette préoccupation a conduit à l'expérimentation et à la mise au point de techniques de lutte contre l'érosion hydrique et éolienne.

La lutte contre l'érosion hydrique passe par la connaissance des causes de ce type d'érosion, l'évolution du processus et les relations entre l'érosion et l'état du sol. Ensuite, on peut choisir les **mesures d'amélioration et de lutte** qui sont toujours basées sur les principes suivants :

- la réduction de la force de l'impact des gouttes de pluies ;
- l'amélioration de la stabilité ou résistance du sol ;
- la réduction de la quantité d'eau entraînant le ruissellement ;
- la réduction de la vitesse de l'eau et le contrôle de l'évacuation des eaux de ruissellement ;
- la réduction de la compaction du sol : le tassement du sol et les traces de roues qui concentrent les eaux accentuent e ruissellement.

La présence d'une **culture qui couvre bien le sol** est un moyen efficace de lutte contre l'érosion hydrique, car, premièrement, elle diminue la force de l'attaque des gouttes de pluie ; deuxièmement, elle diminue la vitesse de l'eau de ruissellement, pour enfin augmenter la stabilité du sol, sa perméabilité ayant pour conséquence la capacité d'infiltration de l'eau.

La lutte contre l'érosion éolienne s'organise à deux niveaux : augmenter la cohésion du matériau face à cette agression et réduire la vitesse du vent à la surface du sol. Les principes de lutte se reposent sur :

- une augmentation de la **cohésion du matériau** : l'apport de matières organiques dans les horizons superficiels du sol améliore sa structure ;
- une augmentation de la **rugosité de la surface du sol** : il s'agit de techniques culturales laissant à la surface du sol de grosses mottes ou des billons perpendiculaires à la direction dominante des vents.

Dans les zones soumises à des vents violents, mais de **direction régulière**, l'installation de haies vives et de brise-vent sont des méthodes adaptées. Elles permettent de **ralentir la vitesse du vent** pour réduire l'évaporation et l'érosion éolienne. Dans le cas où les vents dangereux soufflent **de plusieurs côtés**, on est amené à utiliser plutôt des toiles perméables au vent, grâce à une maille d'environ 5 à 10 mm.

Pour les zones très désertiques et sablonneuses, la fixation des dunes s'avère également efficace et efficace. Elle a pour but, d'une part, d'éteindre la source des sables et, d'autre part, de fixer les dunes sur place.

Le rôle et l'importance du chaulage et des divers amendements

Le rôle du calcium n'est pas seulement de lier la matière organique avec les argiles: il régule la mobilité des métaux, dont celle du fer impliqué dans les liaisons organominérales. Il faut distinguer les sols calcaires riches en calcium actif, les sols non calcaires, mais bien pourvus en calcium échangeable et les sols non calcaires, pauvres en calcium échangeable.

Le calcium joue un rôle déterminant à deux niveaux.

- Premièrement, action sur les fertilisants :
 - physique, par la **stabilisation des structures du sol**, avec réduction de la sensibilité à la battance et amélioration des échanges gazeux et hydrique ;
 - chimique, au travers du fonctionnement de la CEC, avec désalinisation;

- biologique, avec l'activité de la biomasse microbienne du sol.
- Deuxièmement, le calcium est aussi un élément nutritif pour les plantes.

Les apports en calcium (chaulage) se font à partir de chaux et de calcaires, qui peuvent être des produits « crus » ou des produits « cuits » (chauffés pour être actifs). En agriculture biologique, les produits autorisés par la réglementation sont des carbonates de calcium d'origine naturelle. Le chaulage, en plus, de contribuer au développement de la plante, stabilise le complexe organo-minéral (CAH), stimule l'activité par la compensation de l'acidification et diminue la toxicité par immobilisation des minéraux en excès.

On distingue deux types de chaulage :

- le **chaulage d'entretien** : il préserve un état calcique satisfaisant pour maintenir le pH correct et restituer au sol les quantités de calcium et de magnésium exportées ;
- le chaulage de redressement : il consiste en apports plus importants, mais progressifs, d'amendements basiques pour pouvoir redresser le pH du sol.

La salinisation, la compaction ou la pollution des sols

La dégradation et l'amélioration des sols varient ainsi en fonction du lieu, de l'usage du terrain et des objectifs des acteurs agricoles. Il existe plusieurs moyens de prévenir ou de corriger la salinisation : une meilleure gestion de l'eau, la lixiviation, le drainage et enfin l'inondation des terres sont des moyens efficaces pour gérer le risque de salinisation des sols ou la réduire. Les solutions proposées pour répondre aux problèmes de la compaction des sols peuvent être classées en deux catégories : les mesures préventives et les mesures curatives.

En général pour éviter la salinisation, le compactage ou la pollution des sols, il faut instaurer les pratique suivantes.

- Des mesures de prévention de la compaction du sol, qui se reposent sur 3 piliers : la planification des interventions culturales, la limitation des charges supportées par le sol et la maîtrise des propriétés physiques du sol. Pour une meilleure prévention de la pollution des sols, les déchets dangereux ne doivent pas être brûlés, ni surtout enterrés dans le sol, à la ferme.
- L'adoption des **pratiques culturales et phytosanitaires** respectueuses de l'environnement, avec l'interception des flux polluants à l'échelle de l'exploitation et le contrôle des produits polluants à la ferme pour prévenir la pollution des sols, surtout en milieu agricole.
- Le strict **respect des Bonnes Pratiques Phytosanitaires (BPP)** pour limiter les flux de polluants tels que le mode de dispersion des pesticides et leurs résidus.

La restauration de la fertilité des sols

La matière organique dans le sol joue un rôle très important au vu de ses effets bénéfiques potentiels sur le sol et les cultures. Par conséquent, toutes les techniques qui ont pour objectif d'améliorer ou de préserver la fertilité d'un sol ont un point en commun : l'enrichissement du sol en matière organique.

Les techniques qui permettent la restauration de la fertilité des sols sessentiellement les suivantes.

• Le **paillage du sol** : il consiste à recouvrir toute ou partie d'une parcelle de terre dégradée avec de la matière organique pour une végétalisation et une reconstitution du sol.

- La **pratique des cultures associées** : ce sont des cultures mélangées (*mixed cropping*), des cultures intercalées (*intercropping*) et des cultures-relais.
- L'apport de matière organique sur la parcelle : très efficace non seulement comme fertilisant, mais aussi comme amendement du sol.
- La « **jachère naturelle** » : elle consiste à interrompre momentanément, durant plusieurs mois ou années la culture dans une parcelle pour laisser le sol se reconstituer la matière organique.
- La « jachère améliorée » : c'est un système rotatif où des espèces d'arbres ou d'arbustes judicieusement choisies sont utilisées en rotation avec les cultures.

Les techniques de dépollution des sols

Il existe très peu de techniques de dépollution des sols, sauf l'extraction de la masse polluée. Pour les composés organiques, les micro-organismes du sol peuvent « digérer » les molécules, mais à condition qu'elles soient « biodisponibles », c'est-à-dire non adsorbées/fixées aux particules du sol. Dans ce cas, on parle de bioremédiation. Pour les métaux lourds, certaines plantes peuvent les extraire du sol et les concentrer, on parle alors de **phytoremédiation**.

- La bioremédiation est la technique qui fait appel à l'inoculation au sol de microorganismes, de champignons, de végétaux ou d'enzymes pour augmenter et ou accélérer la biodégradation permettant de dépolluer un site de façon naturelle.
- La phytoremédiation est la technique qui utilise des plantes tolérantes à la pollution, à croissance rapide, à forte production de biomasse et compétitives vis-à-vis des plantes du site pour la dépollution du sol par extraction du polluant. La technique met en œuvre quatre mécanismes principaux en fonction de la nature du polluant et de ses caractéristiques physico-chimiques. Ce sont : la phyto-extraction, la phytodégradation et la phyto-séquestration, la rhizo-dégradation ou bio-stimulation et la phyto-stabilisation.

Quelques autres traitements sont théoriquement possibles :

- des traitements physiques qui utilisent des fluides (eau, gaz), présents dans les sols ou injectés, pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser;
- des traitements chimiques qui font appel à des réactifs chimiques pour contrôler les polluants;
- des traitements thermiques qui utilisent de la chaleur pour neutraliser le polluant.

NOTES PERSONNELLES

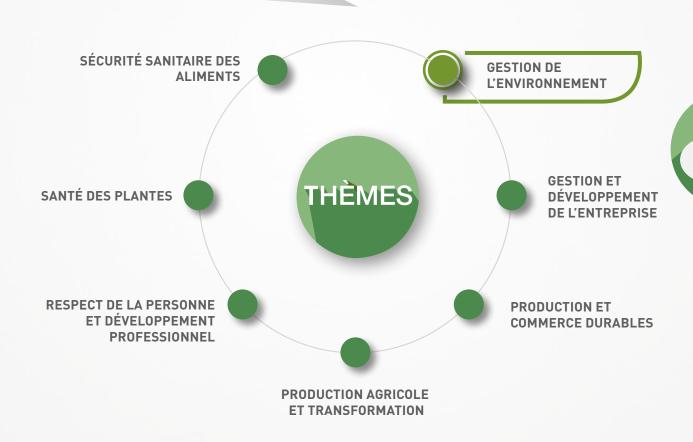
•••
•••

PLATEFORME E-LEARNING DU COLEACP

RECEVEZ VOTRE ACCÈS À NOTRE PLATEFORME DE FORMATION À DISTANCE RÉSERVÉE AUX ACTEURS DU SECTEUR AGRICOLE DANS LES PAYS D'AFRIQUE, DES CARAÏBES ET DU PACIFIQUE.

P

TESTEZ ET AMÉLIOREZ VOS CONNAISSANCES À VOTRE RYTHME!







https://training.coleacp.org



PRODUCTION ET COMMERCE DURABLES

SANTÉ DES PLANTES

SÉCURITÉ SANITAIRE DES ALIMENTS

PRODUCTION AGRICOLE ET TRANSFORMATION

RESPECT DE LA PERSONNE ET DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL

GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

GESTION ET DÉVELOPPEMENT DE L'ENTREPRISE

MÉTHODOLOGIES DE FORMATION

