

# L'AGROÉCOLOGIE

## Une science et une pratique agricole pour les petits producteurs d'Afrique subsaharienne

---

Kim Schneider



Février 2022



## MOT SUR L'AUTEUR

Kim Schneider travaille pour la Fondation Antenna en tant que chef de projet, consultant technique et co-responsable de l'unité agroécologie. Kim est titulaire d'un master en sciences agricoles de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich (ETHZ) spécialisé en agriculture africaine, en sciences du sol et en agroécologie. Au cours de ses études, il a participé à des études sur la gestion durable des sols à Madagascar, en Côte d'Ivoire, au Burkina Faso et au Kenya.

Il a rejoint la Fondation Antenna en 2018, où son premier rôle était de concevoir des agroécosystèmes productifs durables pour différentes régions géographiques et climatiques d'Afrique. Il a ensuite établi des partenariats avec des organisations locales en Afrique subsaharienne pour créer des fermes agroécologiques didactiques basées sur les agroécosystèmes conçus. Ces fermes ont été créées pour tester et améliorer les modèles de production, ainsi que pour promouvoir les pratiques agroécologiques auprès des agriculteurs locaux. Au cours des 3 dernières années, il a dirigé des équipes locales au Mali, au Burkina Faso, au Cameroun et en Guinée et a voyagé régulièrement pour établir et suivre la prospérité des fermes. Il a rédigé ce manuel en agroécologie comme support pour des cours et des formations données en parallèle des projets, notamment au Cameroun, en RDC, au Burkina et en Guinée. Le cours est également donné en ligne et réunit des étudiants d'une dizaine de pays africains.

## MOT SUR LA FONDATION ANTENNA

La Fondation Antenna, dont le siège se situe à Genève, est une Fondation de Droit suisse à but non lucratif, reconnue d'utilité publique, créée en 1989 par Denis von der Weid. Elle a pour vocation de favoriser la recherche, le développement, la diffusion et la mise en œuvre de solutions scientifiques, technologiques et économiques permettant de répondre aux besoins essentiels des populations, particulièrement les plus démunies, selon les principes du développement durable, de la justice sociale et de l'accès à l'autonomie.

En collaboration avec un réseau international de scientifiques, la Fondation Antenna entreprend et participe à des projets de recherche dans les domaines de l'eau potable & hygiène, de l'agriculture, de la nutrition, de la médecine et de l'énergie. En partenariat avec des Instituts de recherches, Universités, Organisations Non-Gouvernementales, Fondations et compagnies privées, elle développe et dissémine toute solution pertinente permettant de favoriser durablement l'accès à l'autonomie des populations dans la satisfaction de leurs besoins essentiels.

Dans le cadre des activités de l'Unité AgroEcologie de la Fondation Antenna, l'accent est mis sur la recherche, le développement et la diffusion de systèmes de productions agroécologiques performants et sur l'autosuffisance alimentaire

**Auteur :** Kim Schneider

**Relecture :** Julian Tugwell, Interserv SA Lausanne

**Dessins :** Johanne Martin, Susana Lauer

**Photos :** Geronce Loick Otomé, Kalifa Zida Wend-Dolea, Albert Dembele, Julian Tugwell, Kim Schneider, Thierno Mamadou Korka Bah, Manon Renfer

**Mise en page :** Johanne Martin



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>7</b>	6.3 La nutrition des plantes et la fertilité du sol ..40	
<b>2. LA FERTILITÉ DU SOL</b>	<b>9</b>	6.4 L'hygiène .....40	
2.1 L'absorption des nutriments par la plante...10		6.5 Les semences.....40	
2.2 La sorption des molécules aux particules du sol .....10		6.6 Les animaux..... 41	
2.3 Le pH .....11		6.7 Les associations de cultures..... 41	
2.4 La matière organique.....11		6.8 La culture sous moustiquaire..... 41	
2.5 Les nutriments..... 13		6.9 Les rotations..... 41	
<b>3. LA PROTECTION DES SOLS EN AFRIQUE</b>	<b>17</b>	6.10 La biofumigation .....44	
3.1 Les sols en Afrique subsaharienne..... 18		6.11 Les traitements naturels..... 44	
3.2 Les dangers pour les sols africains ..... 19		<b>7. LES ASSOCIATIONS CULTURALES</b>	<b>47</b>
3.3 Les mesures de protection du sol ..... 19		7.1 Généralités..... 48	
<b>4. LA FERTILISATION</b>	<b>23</b>	7.2 Les associations céréale-légumineuse .....48	
4.1 La fertilisation organique..... 24		7.3 Les associations de légumes..... 51	
4.2 La fertilisation minérale ..... 25		7.4 Associations de plantes souterraines ..... 52	
4.3 La fertilisation par les plantes: engrais verts. 26		7.5 La semi-agroforesterie ..... 53	
4.4 Les engrais verts: les arbres légumineux .... 29		7.6 L'agroforesterie..... 56	
4.5 Les engrais verts: les graminées..... 29		7.7 Les haies vives..... 57	
4.6 Les engrais verts: les mélanges.....30		<b>8. L'ÉLEVAGE</b>	<b>59</b>
<b>5. LA GESTION DE L'EAU</b>	<b>31</b>	8.1 La nutrition des ruminants .....60	
5.1 Les systèmes d'irrigation ..... 32		8.2 La nutrition des volailles..... 61	
5.2 Les bonnes pratiques d'irrigation..... 33		8.3 La santé des animaux ..... 61	
5.3 Les techniques de rétention d'eau..... 33		8.4 La détention des animaux..... 61	
5.4 Les cordons pierreux et haies..... 34		<b>9. LA RÉCUPÉRATION ET LA CONSERVATION DES SEMENCES</b>	<b>63</b>
5.5 Le ceinturage des parcelles ..... 34		9.1 La reproduction végétative .....64	
5.6 Les aménagements en courbe de niveau (ACN) ..... 35		9.2 Production de semences.....66	
5.7 Les demi-lunes ..... 35		9.3 Sélection..... 67	
5.8 Les trous zaïs ..... 35		9.4 Conservation ..... 67	
<b>6. CONTRÔLE DES RAVAGEURS ET DES MALADIES</b>	<b>37</b>	9.5 Spécificités des cultures.....68	
6.1 La biodiversité: discontinuité des ressources ..... 38		<b>10. RÉFÉRENCES</b>	<b>72</b>
6.2 La biodiversité: contrôle par les auxiliaires 38			



# 1. INTRODUCTION

L'agriculture moderne conventionnelle issue de la révolution verte permet une production intensive de denrées alimentaires grâce à des produits phytosanitaires et des engrais issus de la chimie de synthèse, à l'utilisation de variétés de cultures sélectionnées pour leur haut rendement, et à une importante mécanisation. Ce mode de production, même s'il a permis de soutenir la forte croissance de l'humanité au cours du dernier siècle, présente des problèmes majeurs de type environnemental mais également sanitaire et social. Ceux-ci incluent la pollution des eaux, la dégradation des sols, la perte de biodiversité, le réchauffement climatique, la dépendance des producteurs envers les fournisseurs d'intrants et la mise en danger de la santé humaine.

Une première caractéristique de l'agriculture moderne est la prédominance de la monoculture. Le fait de ne cultiver qu'une seule espèce sur des champs de plusieurs hectares à parfois plusieurs milliers d'hectares implique une biodiversité très faible sur ces surfaces. Une faible diversité de plantes causera en conséquence une faible diversité d'insectes et autres organismes. Le système agricole possède donc une très faible résilience vis-à-vis des attaques de ravageurs et de maladies et impose une forte utilisation de pesticides. Le sol s'épuise également si l'on y cultive toujours la même culture qui puisera les mêmes ressources chaque saison.

L'utilisation des pesticides est une deuxième caractéristique de l'agriculture moderne conventionnelle. Les pesticides sont des produits souvent issus de la chimie de synthèse qui permettent de tuer les organismes nuisibles dans les agroécosystèmes, tels les ravageurs, les maladies fongiques ou les adventices. Les pesticides peuvent causer des problèmes de pollution du sol et des eaux, des problèmes de santé pour les usagers ainsi que pour les consommateurs des produits, et impactent négativement la biodiversité en tuant de nombreux organismes bénéfiques dans les agroécosystèmes. Pour terminer, une forte utilisation de pesticides peut entraîner une résistance des ravageurs, maladies et adventices, amplifiant ainsi le problème initial.

L'Afrique n'utilisant que 2,1 % des pesticides produits dans le monde (FAO, 2021) on pourrait croire qu'il ne s'agit pas nécessairement d'un problème central de l'agriculture africaine. Or, une faible régulation, une sensibilisation insuffisante des usagers et l'utilisation de produits particulièrement toxiques, parfois interdits en Europe, rendent l'utilisation des pesticides hasardeuse pour la santé et l'environnement des Africains.

L'utilisation d'engrais minéraux est une caractéristique supplémentaire de l'agriculture moderne. Les engrais sont des produits qui contiennent sous forme minérale, non organique, les nutriments dont la plante a besoin pour se nourrir. Il s'agit en

grande partie de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K). Leur apport, sous forme assimilable pour la culture, permet des augmentations de rendement considérables. Le P et le K proviennent de mines alors que le N est obtenu dans l'atmosphère grâce à un procédé chimique. Les engrais minéraux ne sont pas toxiques ni dangereux comme le sont les pesticides. Ils peuvent néanmoins poser des soucis de pollution des eaux. En trop grande quantité et appliqués de manière inappropriée, ces nutriments se retrouveront dans les rivières, les lacs et les mers où ils nourriront les algues. Ceci causera une forte croissance des algues, amenant à une eutrophisation des eaux, soit l'absence d'oxygène dans l'eau due à l'invasion de ces dernières (Anderson, Bennion, & Lotter, 2014). Pour terminer, la fabrication des engrais azotés est énergivore et source de gaz à effet de serre. La fixation d'un kilogramme d'azote, nécessaire pour fertiliser 10 m<sup>2</sup> de céréales, émet l'équivalent de 8,6 kg de CO<sub>2</sub>. Or, la faible utilisation des engrais minéraux en Afrique due au manque de moyens rend ces problèmes secondaires. Les problèmes d'eutrophisation des lacs y sont rares, et la part des émissions de gaz à effet de serre liée à l'utilisation des engrais, minime. Le fort coût des engrais minéraux rend par contre la recherche d'alternatives primordiale pour une grande partie des petits producteurs.

L'agriculture est aujourd'hui responsable de 24 % des émissions de gaz à effet de serre dans le monde (FAO, 2016). Les facteurs principaux de ces émissions sont l'utilisation d'engrais mentionnés ci-dessus, la riziculture, les feux de forêt et savanes mais avant tout l'élevage, qui comptabilise 63 % des émissions globales. Il est donc essentiel et urgent que l'agriculture mondiale limite ses émissions, mais est-ce à l'agriculture africaine de se soucier de ce problème global ? Celle-ci contribue à hauteur de 15 % aux émissions liées à l'agriculture, et représente 17 % de la population mondiale. Or, l'Afrique ne contribue qu'à 4 % des émissions totales de la planète. Le souci des émissions de gaz à effet de serre peut donc être vu comme un problème secondaire de l'agriculture africaine, bien derrière l'importance qu'il pourrait avoir eu en Europe et dans les pays à haut revenu.

Pour terminer, différentes pratiques de l'agriculture moderne contribuent à la dégradation des sols. L'érosion est un souci majeur, particulièrement dans les tropiques où les pluies sont diluviennes, intensifiées par des mauvaises pratiques telles que le labour inadapté, la monoculture et l'absence de mesures protectrices du sol. D'autres vecteurs de dégradations du sol incluent le tassement, lié à l'utilisation de machines trop lourdes et la salinisation, liée à une irrigation mal gérée. Si l'érosion est un facteur de dégradation principal en Afrique (Montanarella et al., 2016), le tassement et l'irrigation ne sont que secondaires, du fait de la petite taille du parc de machines et des faibles surfaces irriguées. La perte de matière organique est par

## 1. INTRODUCTION

contre un facteur crucial diminuant la fertilité des sols africains. Le maintien de la matière organique du sol dans les tropiques est un processus naturellement difficile, ceci étant dû à la rapide décomposition de celle-ci sous un climat chaud et humide. L'absence de mesures protectrices, l'exposition du sol et la trop faible utilisation d'engrais organiques impactent de ce fait fortement la fertilité du sol.

L'agroécologie pourrait être une alternative à l'agriculture moderne conventionnelle, et ceci particulièrement pour les petits producteurs d'Afrique subsaharienne. L'agroécologie peut être définie comme un domaine scientifique, une pratique et un mouvement social (Wezel et al., 2009). Dans ce document, il sera question de l'agroécologie en tant que science et pratique agricole uniquement. Il s'agit d'une approche holistique innovante visant à l'utilisation durable et raisonnée des ressources agricoles et hydriques. Cette technologie vise à transformer le système agricole actuel en proposant des solutions intégrant les trois dimensions du développement durable – les aspects sociaux, économiques et environnementaux – afin de lutter contre les racines des problèmes de malnutrition, de pauvreté et d'inégalité. L'agroécologie peut être une partie de la solution pour atteindre certains des Objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies : pas de pauvreté, faim zéro, bonne santé et bien-être, eau propre et assainissement, entre autres.

L'agroécologie est une méthodologie agricole se basant sur les connaissances des sciences de l'agronomie, de la biologie et de l'écologie. Elle constitue une approche rationnelle et efficiente pour faire émerger la nouvelle donne agricole, saine et durable, indispensable à la transition écologique mondiale. Elle permet la production de denrées alimentaires saines et de hautes qualités nutritionnelles, exemptes de résidus de produits issus de la chimie de synthèse. L'approche vise autant à produire qu'à régénérer les sols et les environnements dégradés, favoriser la biodiversité et préserver le patrimoine génétique local.

L'agroécologie ne place pas seulement l'aspect écologique au cœur de son processus ; l'humain est au centre de ses préoccupations. Le savoir local des agriculteurs est inclus et renforcé, car l'approche fondamentale de l'agroécologie passe avant tout par un renforcement de la souveraineté agricole des agriculteurs locaux. L'agroécologie est un système de management des pratiques fermières assimilant les principes sociaux, culturels et politiques du développement durable.

L'agroécologie a un fort potentiel pour améliorer la qualité de vie des petits producteurs africains. Pour les exploitants de petites productions vivrières, elle propose les avantages suivants :

- Réduction des coûts (pesticides, semences, engrais). L'agroécologie fonctionne le plus possible en circuit fermé. Les intrants nécessaires sont produits par le système agricole lui-même.

- Préservation du sol. Des mesures de protection du sol et de gestion durable de ses ressources sont intégrées.
- Diversification des revenus. La production agroécologique assure diverses cultures et limite la dépendance envers les rendements d'une culture particulière. De nombreuses plantes sont cultivées et des animaux sont élevés.
- Meilleure résilience face aux aléas climatiques dans un contexte de dérèglement global. De nombreuses pratiques proposées par l'agroécologie permettent une meilleure rétention d'eau dans le système.
- Impact sur la santé. Les produits sont variés, de meilleure qualité nutritionnelle et exempts de résidus de pesticides issus de la chimie de synthèse.

L'application de l'agroécologie comporte les contraintes suivantes :

- Forte main d'œuvre nécessaire. La complexité et l'imbrication des différents éléments (arbres, annuelles, animaux) rend la mécanisation difficile.
- Complexité des systèmes de production. L'élaboration et la gestion d'un système de production agroécologique demande une bonne compréhension des interactions entre les différentes espèces qui le composent.
- Difficulté à la commercialisation d'une offre très variée.
- Rendements parfois plus bas que dans le conventionnel.
- Difficulté à gérer les ravageurs de certaines cultures (légumes en particulier).

L'agroécologie est de ce fait particulièrement adaptée à des petites productions vivrières. La surface y est petite, la main d'œuvre abondante et une diversité de culture bénéfique pour les exploitants. L'agroécologie a le potentiel d'améliorer le niveau de vie de ces producteurs, particulièrement ceux en difficulté (sols infertiles, ressources hydriques irrégulières ou insuffisantes, peu de moyens). La diversité de production se prête moins à l'agriculture de rente, où les exploitants sont souvent spécialisés dans une culture particulière.

Ce document s'adresse à des agronomes déjà convenablement formés dans la gestion et la compréhension des systèmes de production conventionnels ou biologiques. Il aborde les bases d'écologie, de chimie et d'agronomie nécessaires à la compréhension des pratiques agroécologiques. Il décrit ces pratiques et le pourquoi de celles-ci. Après avoir parcouru ce document, le lecteur sera en mesure de mettre en place, de développer et de gérer un agroécosystème productif durable : un écosystème capable de produire sans apports d'intrants externes et sans épuiser ses ressources.

## **2. LA FERTILITÉ DU SOL**

**Ce chapitre parcourt les bases de chimie du sol et de nutrition des plantes nécessaires à la compréhension de ce cours et donc d'un système de production agroécologique.**

## 2.1 L'ABSORPTION DES NUTRIMENTS PAR LA PLANTE

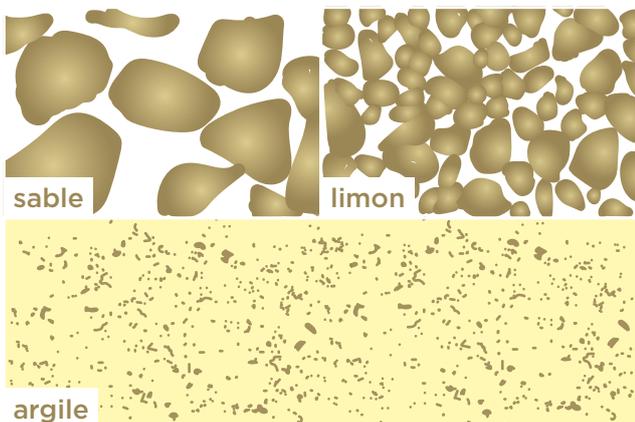
Les plantes puisent les nutriments dont elles ont besoin dans la solution du sol grâce à leurs racines. La solution du sol représente la phase aqueuse du sol, c'est-à-dire l'eau chargée en ions qui occupe les espaces libres du sol (pores). La plante dispose de différents moyens pour faciliter l'accès aux nutriments dont elle a besoin :

- Augmentation de la surface racinaire : allongement et multiplication des racines et des poils radiculaires.
- Symbiose avec des mycorhizes (champignons) et échange de nutriments contre des carbohydrates. Les mycorhizes, par leur énorme réseau d'hyphes, ont accès à des réserves d'eau et de nutriments inaccessibles à la plante.
- Symbiose avec des bactéries rhizobia, pour certaines plantes (légumineuses), pour se procurer de l'azote (voir ch. 2.5.1).
- Sécrétion d'exsudats racinaires qui modifient les conditions chimiques de la solution du sol : les protons et les carboxylates acidifient la solution et dissolvent des nutriments liés aux particules du sol, les phosphatases dissolvent le phosphore fixé aux particules du sol.

## 2.2 LA SORPTION DES MOLÉCULES AUX PARTICULES DU SOL

La surface spécifique correspond à la taille de la surface par masse de sol. Elle dépend principalement de la taille et de la forme des particules de sol. Plus les particules sont petites, plus les espaces entre elles sont nombreux, plus la surface spécifique augmente. Pour cette raison, les sols argileux ont une surface spécifique beaucoup plus grande que les sols sableux. Ils peuvent donc mieux retenir les nutriments et l'eau, ce qui sera expliqué ci-dessous.

Différentes tailles de particules de sol illustrant les différences de surface spécifique.



Les surfaces des particules du sol en contact avec l'eau portent presque toujours des charges négatives ou positives, ce que l'on nomme la charge de surface. Cette charge comporte une partie permanente et une partie variable.

- La charge de surface permanente : cette charge est liée à des ions bloqués à l'intérieur de la particule, elle ne peut donc que très difficilement être modifiée.
- La charge de surface variable : beaucoup de particules du sol, en particulier les oxydes ou hydroxydes des différents métaux ainsi que les particules argileuses, possèdent à leur surface des groupes  $\text{OH}^-$ . Le pH diminuant, des protons se lieront à ces groupes  $\text{OH}^-$ , causant une charge de surface fortement positive, alors qu'avec un pH croissant, la présence des groupes  $\text{OH}^-$  causera une charge de surface fortement négative.

Il existe en permanence un échange d'ions entre la solution du sol et les particules du sol, minérales ou organiques. Le phénomène de liaison des ions aux particules du sol se nomme sorption. La liaison peut être de deux principaux types :

- Liaison électrostatique : l'ion chargé est accroché à la particule du sol de charge contraire. Cette liaison étant faible, l'ion peut être facilement et rapidement échangé avec un ion de la solution du sol. Les ions liés ainsi sont rapidement libérés dans la solution et peuvent donc être assimilés facilement par la plante. La charge de surface étant généralement négative (sauf dans un sol très acide), ce sont les cations basiques ( $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) qui, majoritairement, se lient de cette manière aux particules du sol. La capacité du sol à fournir des places pour la liaison de ces cations, et donc sa capacité à nourrir la plante en cations basiques, essentiels, se nomme la capacité d'échange cationique (CEC). La CEC est une mesure essentielle pour évaluer la fertilité d'un sol. La CEC augmente avec un pH croissant, ceci étant dû à la charge négative croissante mentionnée ci-dessus.
- Complexation spécifique de surface : la molécule, chargée ou non, forme un complexe avec une molécule de la surface. Cette liaison peut être très forte et est peu influencée par les conditions chimiques de la solution. L'échange avec la solution du sol est très lent, ce qui rend les molécules fixées de cette manière peu ou pas assimilables par la plante. La complexation spécifique est, de manière similaire à la liaison électrostatique, dépendante du pH. Un pH alcalin cause la fixation de cations métalliques ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) et limite leur disponibilité pour les plantes. Par le même mécanisme, des métaux lourds dangereux pour l'homme ou pour la plante ( $\text{Hg}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ) sont fixés et ne se retrouvent pas dans l'alimentation humaine. Un pH acide, au contraire, provoque une charge de surface positive, ce qui cause la fixation des anions, dont le phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), d'importance cruciale pour la nutrition des plantes (voir ch. 2.5.2).

### 2.3 LE PH

Le pH correspond à la concentration de protons ( $H^+$ ) dans la solution du sol. Il s'agit d'une des valeurs chimiques les plus importantes pour évaluer la fertilité d'un sol. Les sols tropicaux sont généralement acides et, sans mesure pour contrecarrer le phénomène, ont tendance à s'acidifier de manière naturelle. Les raisons de cette acidification sont les suivantes :

- Absence de calcaire pour neutraliser l'acidité.
- Pluies acides, principalement dans les régions industrielles.
- Création d'acide carbonique par la respiration des organismes du sol.
- Sécrétion d'exsudats racinaires acides des plantes (protons et acides organiques)
- Oxydation du  $NH_4^+$  en  $NO_3^-$  (voir ch. [2.5.1](#))

Le pH a une grande influence sur la disponibilité des nutriments. Un pH acide causera :

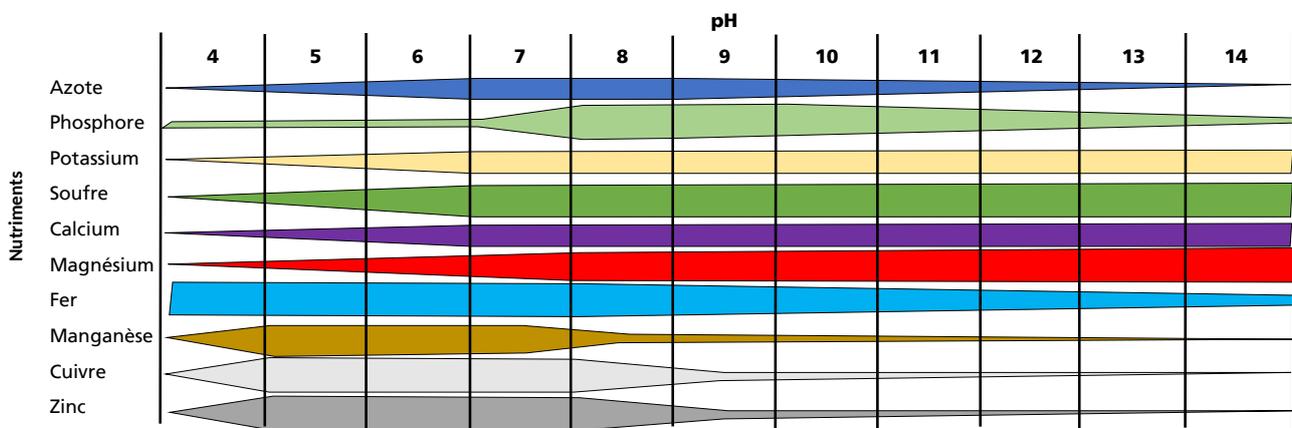
- La fixation du phosphate : déficience en P.
- La saturation de la CEC par les ions  $H^+$  et  $Al^{3+}$ , déficience en cations basiques ( $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ).
- Une diminution de la CEC.
- Un milieu inhospitalier pour les organismes du sol.

Un pH alcalin causera :

- Une fixation de métaux essentiels. Déficience en Cu, Zn et Mn.
- Une fixation de métaux lourds toxiques (Hg, Al, Pb, Cd).
- Une augmentation de la CEC.
- L'insolubilité des minéraux phosphatés (voir ch. [2.5.2](#)) : déficience en P.

Le tableau ci-dessous résume la disponibilité des nutriments en fonction du pH. Un pH idéal pour l'agriculture se trouve entre 6 et 7. Un pH en dessous de 5,5 cause de sérieux problèmes de disponibilité du P et des cations basiques.

Disponibilité des nutriments en fonction du pH



### 2.4 LA MATIÈRE ORGANIQUE

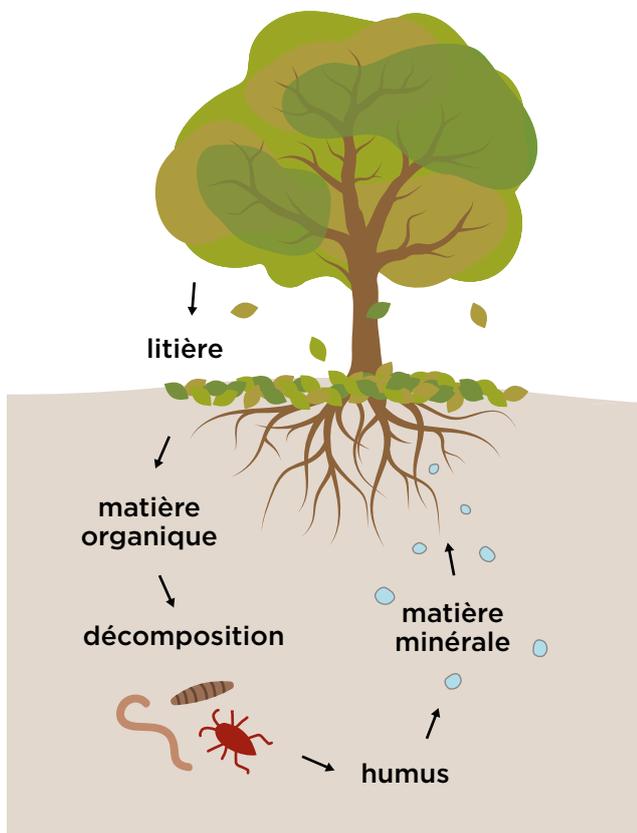
La matière organique du sol correspond aux molécules organiques principalement créées par les êtres vivants et composées essentiellement de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote. Elle ne représente qu'une petite proportion de la masse des sols mais est d'importance primordiale pour les fonctions du sol et pour la nutrition des plantes, même si celles-ci n'y puisent pas leur carbone nécessaire. Grâce à sa très grande surface spécifique, la matière organique fournit de nombreuses possibilités de liaisons pour des molécules organiques et inorganiques. Elle

propose autant des charges majoritairement négatives, augmentant considérablement la CEC, que des molécules hydrophobes permettant la rétention de molécules peu solubles. De plus, la matière organique joue un rôle central dans la création et le maintien d'une structure de sol stable, et ceci à travers la création de tissus et d'agrégats, notamment des complexes argilo-humiques (complexe matière organique – argile). Pour terminer, la matière organique est une source d'énergie essentielle à la vie du sol, autant microbienne qu'animale. Ces organismes sont d'importance cruciale pour la décomposition des apports organiques et donc pour la nutrition des cultures.

### 2.4.1 DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL (MOS)

L'apport de matière organique dans le sol se fait principalement par la décomposition de la biomasse des plantes ainsi que des défécations animales. Les organismes du sol (micro-organismes et arthropodes) sont responsables de la décomposition de la litière (MO non décomposée : paille, tige, racine, feuille) en humus (matière organique sans structure macroscopique restante). Cette matière organique, selon sa composition, peut être plus ou moins rapidement minéralisée. Ce processus libère des molécules minérales dans la solution du sol (nitrates, phosphates, cations) et du carbone sous forme de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. Les processus de décomposition de la litière et de minéralisation de la MOS sont dépendants principalement de l'humidité et de la température. Sous un climat chaud et humide, ils sont très rapides, alors qu'une sécheresse ou des températures basses les stoppent complètement. Les climats avec une longue période sèche ou/et froide sont donc propices à une accumulation de MOS, celle-ci ne se décomposant que lentement, et donc à la création d'un sol très fertile : sols noirs des steppes de Russie. Au contraire, sous un climat tropical chaud et humide, le processus est tellement rapide qu'il met en danger la préservation de la MOS sans mesures adéquates. De plus, une exposition à l'air, par un retournement du sol ou par un sol nu exposé, accélère la minéralisation.

Cycle de la matière organique



Un apport de fertilisant, organique ou minéral, a un impact non négligeable sur la MOS. Un amendement riche en carbone (paillage, fumier avec beaucoup de paille) va fournir du carbone aux organismes du sol, qui pour grandir vont puiser dans les réserves de nutriments du sol, principalement d'azote, ce qui va diminuer la quantité disponible pour la plante. Il peut donc y avoir un effet d'immobilisation causé par l'amendement. Un apport d'amendement ne fertilise donc pas la culture sur laquelle il est appliqué, mais permet d'entretenir la fertilité du sol en augmentant la MOS.

Un apport d'engrais riche en azote provoque l'effet contraire, un « priming effect » : les micro-organismes ont suffisamment d'azote à disposition et puisent donc dans les réserves de MOS pour se nourrir en carbone. Cela cause une accélération du phénomène de minéralisation. Un priming effect est majoritairement causé par l'apport d'un engrais synthétique concentré, mais peut dans une moindre mesure être provoqué par l'apport d'un engrais organique riche en azote (Kuz'yakov, Friedel, & Stahr, 2000), comme la fiente de poulet. La perte de MOS est par ailleurs en partie compensée par l'apport de MO de la fiente.

Pour résumer, les risques de perte de matière organique dans un sol sont énumérés ci-dessous. Ces mécanismes, ainsi que les mesures nécessaires pour les prévenir, sont décrits plus précisément au chapitre 3 :

- Minéralisation de la matière organique.
- Erosion.
- Labour. Enterrement trop profond de la litière, elle ne se décompose plus.
- Minage des nutriments de la MOS.

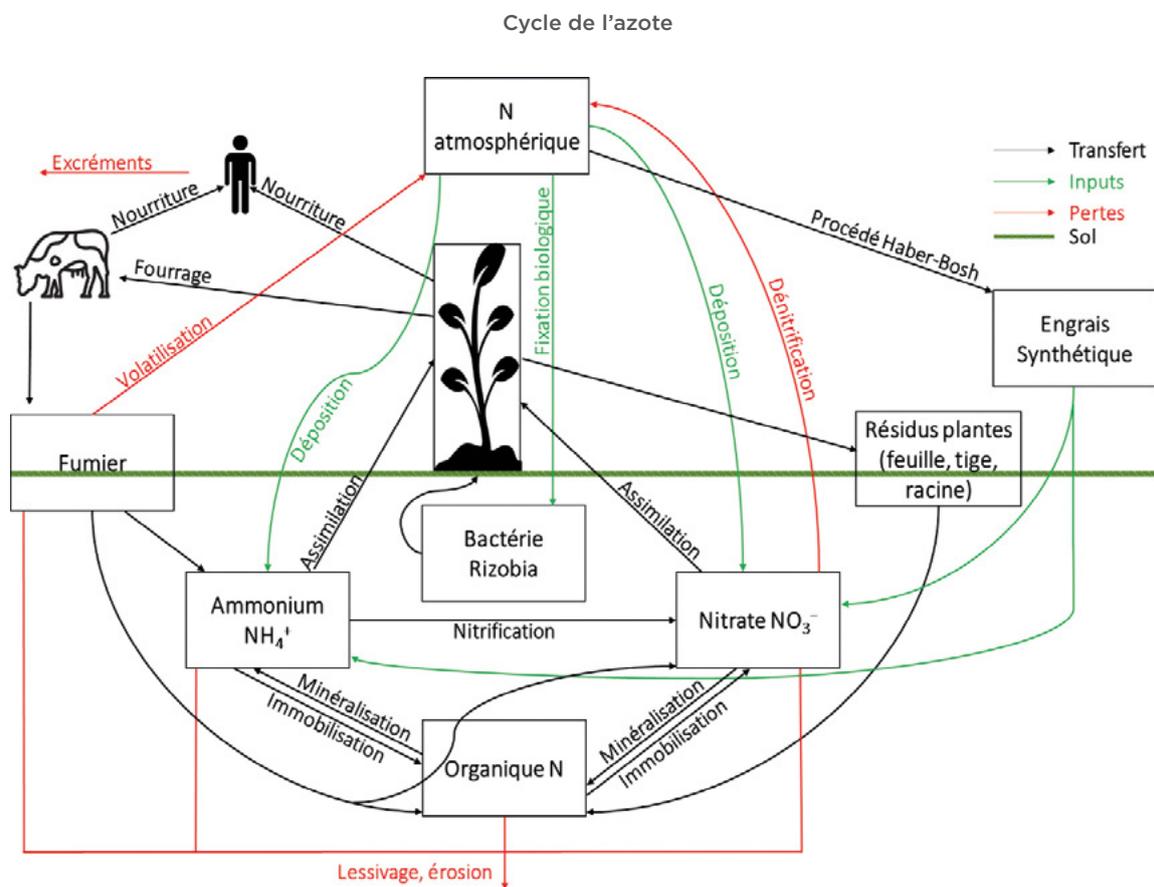
### 2.4.2 LE RAPPORT CN

Le rapport CN représente la concentration de C divisée par la concentration de N, soit  $[C] / [N]$ . Cette valeur est très importante pour évaluer la fertilité d'un sol, de même que pour caractériser un amendement organique. Cette valeur s'applique en effet autant au sol même qu'à n'importe quel composé organique, dont des amendements comme le fumier, la paille, l'herbe ou le compost. Un rapport CN haut ( $\text{CN} > 20$ ) implique qu'il y a beaucoup de carbone et peu d'azote, ce qui risque de créer une faim d'azote. La plante ne poussera pas bien car en manque d'azote. Un rapport CN bas ( $\text{CN} < 15$ ) implique au contraire qu'il y a beaucoup d'azote et peu de carbone, ce qui causera une minéralisation accélérée de la matière organique (priming effect) et donc une perte de fertilité. Un rapport  $15 < \text{C/N} < 20$  est idéal, les besoins de la plante en azote sont couverts et une minéralisation trop rapide de la matière organique n'est pas à craindre.

## 2.5 LES NUTRIMENTS

### 2.5.1 L'AZOTE (N)

L'azote (N) est un élément essentiel pour la plupart des organismes vivants, en tant que composant de molécules telles que les acides aminés, les protéines, les vitamines et les chlorophylles. Outre le carbone et l'oxygène, l'azote est l'élément le plus abondant dans les plantes (McNeill & Unkovich, 2007). C'est souvent le facteur limitant la croissance des cultures en raison des besoins élevés en N des plantes et des réserves extrêmement faibles dans le sol.



#### L'AZOTE DANS LE SOL

Le cycle de l'azote dans le sol est très rapide, l'azote ne se stocke que très peu de temps dans le sol, ce qui rend un apport constant essentiel au maintien de la fertilité du sol. L'azote dans le sol se trouve sous forme soit organique soit minérale. Le pool organique contient les débris (feuilles, plantes, racines mortes, sécrétions animales) et les micro-organismes. La décomposition (minéralisation) de ces débris par les micro-organismes libère des molécules d'ammonium ( $NH_4^+$ ) qui sont ensuite transformées en nitrate ( $NO_3^-$ ), processus de nitrification.

Sous forme minérale, l'azote se trouve dans les molécules d'ammonium et de nitrate. Ces molécules se trouvent principalement dans la solution du sol, ou liées aux particules de sol, minérales ou organiques. Ces liaisons ne sont pas fortes, ce qui explique une bonne disponibilité de l'azote sous forme minérale, mais également une rétention et une durée de stockage très limitées.

Les plantes assimilent principalement l'azote sous forme de nitrate depuis la solution du sol, secondairement sous forme d'ammonium.

## 2. LA FERTILITÉ DU SOL

## L'IMMOBILISATION DE L'AZOTE

Certains organismes du sol consomment également les nitrates et les ammoniums de la solution du sol, et immobilisent donc l'azote sous forme organique. Cet azote n'est plus disponible pour la plante jusqu'à la mort et la décomposition de ces organismes. Le rapport CN des amendements réalisés est donc d'importance cruciale. Un amendement riche en carbone (paille, fumier avec beaucoup de paille) donne de l'énergie aux organismes du sol, qui pour grandir vont puiser dans les réserves d'azote, ce qui va diminuer la quantité disponible pour la plante. Il y a donc un effet d'immobilisation causée par l'amendement. L'azote immobilisé sera disponible seulement au moment de sa décomposition. L'apport d'un tel amendement ne promet donc pas la croissance de la culture sur laquelle il est appliqué, au contraire ! Il entretient cependant la fertilité du sol et permet une libération de l'azote plus régulière pour les cultures suivantes, et évite les pertes par lessivage et érosion. Un apport d'engrais trop riche en azote (faible rapport CN) provoque l'effet inverse, un priming effect : décomposition et perte de matière organique (voir ch. [2.4.1](#)).

## LES PERTES D'AZOTE DU SOL

L'azote du sol peut quitter le sol de plusieurs manières. En cas de mauvaises pratiques, jusqu'à 50 voire 75 % de l'azote peut être perdu lors d'un apport (Freney, 1997).

L'azote peut être perdu du sol vers l'atmosphère :

- Perte par volatilisation de l'ammonium. L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) est un acide en équilibre avec sa base : l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), un gaz volatil. La volatilisation de l'ammonium peut causer des pertes importantes en cas de mauvaise gestion du fumier, du purin ou des fientes. Les défécations animales sont en effet très riches en ammonium. Une exposition à l'air, particulièrement sec, provoque une forte volatilisation pouvant causer les pertes les plus importantes d'un apport azoté. Pour cette raison, il faut rassembler les défécations animales rapidement et ne pas les laisser sécher au soleil. Il faut les stocker dans une fosse recouverte d'une bâche pour éviter le contact avec l'air. La fumure appliquée doit être incorporée dans le sol pour éviter le contact avec l'air.
- Dans des conditions anaérobiques (peu d'air, parcelles inondées, riziculture), un processus de dénitrification a lieu. Ce processus peut être biologique ou chimique. Il provoque la réduction des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en oxydes d'azote ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) et en diazote ( $\text{N}_2$ ), des gaz qui vont se perdre dans l'atmosphère.
- En cas d'incendie d'intensité modérée, comme lors de la pratique du brûlis, 50 à 75 % de l'azote de la biomasse peut se perdre dans l'atmosphère (Raison, Khanna, & Woods, 1985).

L'azote peut être perdu dans des couches inférieures du sol puis dans les nappes et cours d'eau :

- Perte par lessivage. L'eau entraîne les molécules de nitrate et d'ammonium, voire des molécules organiques dans des horizons plus profonds du sol ou dans les nappes phréatiques. Une partie peut être recyclée par les racines des plantes.
- Perte par érosion. L'eau ruisselante entraîne les molécules d'azote, voire des particules entières de sols, en dehors du champ puis dans les cours d'eau.

Une partie de l'azote est perdue lors de la récolte des cultures. La nourriture produite et vendue représente une proportion non négligeable de l'azote du système. Ces nutriments se retrouvent dans l'urine et les fèces humaines et ne sont que rarement recyclés (voir ch. [4.2.2](#)).

## LES APPORTS D'AZOTE DANS LE SYSTÈME

L'azote se trouve principalement dans l'atmosphère sous forme de gaz  $\text{N}_2$ . Ce gaz inerte n'est pas utilisable par la grande majorité des êtres vivants. Il existe certains mécanismes qui amènent cet azote sous forme réactive dans le sol.

- Déposition. L'azote sous forme atmosphérique  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$  et  $\text{NO}_3^-$  est ramené dans le sol principalement lors de précipitations. Ces gaz se trouvent dans l'atmosphère du fait des émissions de l'agriculture (voir page suivante), de l'industrie ou de l'oxydation du  $\text{N}_2$  lors d'un orage. L'apport peut atteindre 10 à 20 kg N / ha dans les zones où l'air est fortement pollué.
- Fixation biologique
- Fixation artificielle

## LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

Seuls certains micro-organismes vivant dans le sol ou l'eau ont la capacité de réduire l'azote atmosphérique en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et donc de l'injecter dans le système sol-plante. La bactérie la plus connue pour la fixation biologique d'azote est la rhizobia. Cette bactérie forme une symbiose avec les plantes de la famille *Fabaceae* (légumineuses), elle leur fournit l'ammonium fixé en échange de carbohydrates. Il existe de nombreuses autres espèces capables de fixer l'azote de l'atmosphère, organismes au mode de vie symbiotique ou libre. Ces espèces ne sont pas autant exploitées que la symbiose rhizobia-légumineuses dans l'agriculture.

## LA FIXATION ARTIFICIELLE DE L'AZOTE

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, le procédé dit Haber-Bosh a été inventé par l'homme. Il permet de fixer artificiellement l'azote atmosphérique en ammonium et donc de produire des engrais synthétiques azotés. Cette invention rend possible un transfert massif d'azote de l'atmosphère vers les sols, ce qui causa une augmentation des rendements sans précédent dans le monde industriel

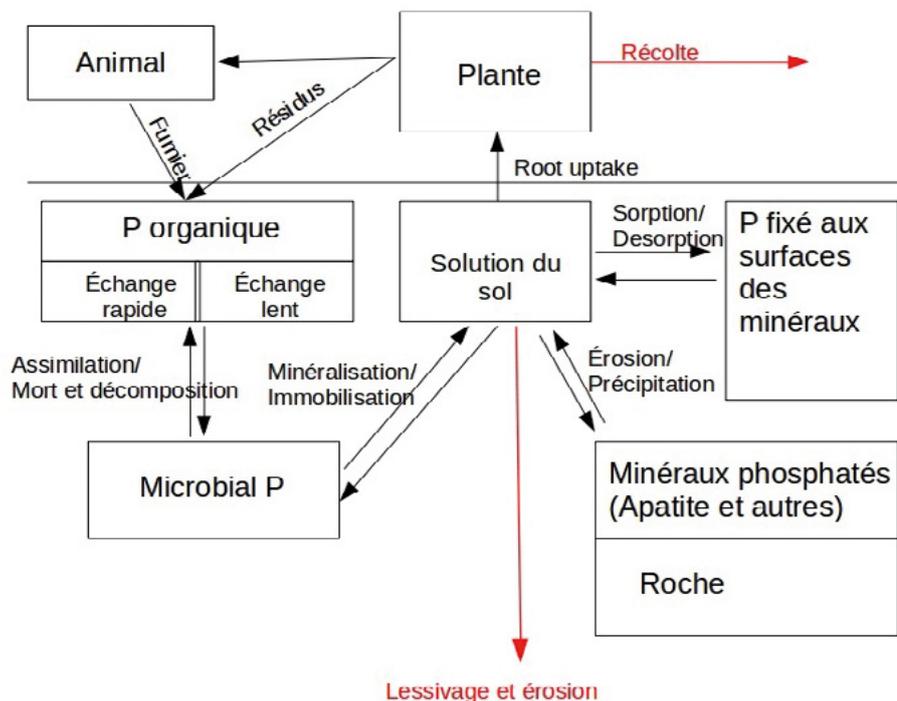
## 2. LA FERTILITÉ DU SOL

(Erisman, Sutton, Galloway, Klimont, & Winiwarter, 2008). Malgré le fait que ce procédé ait permis de nourrir une population croissante durant le dernier siècle, il a entraîné l'apport massif d'azote dans les agroécosystèmes, provoquant ou accentuant des risques environnementaux majeurs tels que la pollution en nitrate des cours d'eau, amenant à une eutrophisation des lacs et des mers (Anderson et al., 2014); la déposition d'azote dans les écosystèmes naturels impactant négativement la biodiversité; la production de CO<sub>2</sub> lors de cette fixation d'azote énergivore, ainsi que l'augmentation de l'émission de N<sub>2</sub>O des sols, un gaz à effet de serre extrêmement puissant.

## 2.5.2 LE PHOSPHORE (P)

Le phosphore (P) est un nutriment essentiel pour tous les organismes vivants. Les plantes l'utilisent comme composants cellulaires et pour des fonctions métaboliques, telles que le transfert

d'énergie et la synthèse de matière organique (Martin & Sauerborn, 2013). Par conséquent, la carence en P entraîne rapidement une diminution de la croissance des tiges, des feuilles et des racines (Schubert, 2017). L'importance de l'approvisionnement en P pour la plante, combinée avec une faible disponibilité dans le sol et une forte demande, fait de la fertilisation phosphorée une nécessité pour maintenir la fertilité du sol et obtenir des rendements suffisants (Scheffer et al., 2010). Cela est particulièrement essentiel dans les régions tropicales, où la carence en P est l'un des facteurs les plus limitants pour la production agricole (Randriamanantsoa et al., 2013). La fertilisation de P peut être faite par l'application des ressources primaires de P, telles que le phosphate de roche extraite et transformée, ou les ressources secondaires de P, telles que le fumier animal, le compost, les résidus de culture, les boues d'épuration ou les os d'animaux.



## LE PHOSPHORE DANS LE SOL

Dans les sols, le P se trouve habituellement sous forme d'orthophosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), soit dans la solution de sol, soit lié à des composés organiques ou inorganiques. Le phosphate dissout dans la solution est l'unique forme assimilable par la plante. Le phosphate dissout est en équilibre avec le phosphate fixé à la surface des oxydes de fer, d'aluminium ou des minéraux argileux. Ce processus de fixation, discuté au chapitre 2.2, est particulièrement fort dans un milieu acide, car les protons facilitent la complexation spécifique de surface. La désorption du

phosphate fixé est un processus très lent, ce qui rend la disponibilité de ces éléments quasi nulle.

Le phosphate peut également être présent dans les structures peu solubles de phosphate-cation, les minéraux phosphatés, par exemple le calciumphosphate ((Ca<sup>2+</sup>)<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)<sub>2</sub>) (Apatite). Contrairement au phosphate fixé, ces minéraux ont besoin d'un milieu acide pour être dissouts et libérer des ions phosphates dans la solution du sol. Ceci explique la faible disponibilité du P en milieu basique.

Le phosphate se retrouve pour finir sous forme organique. Les molécules organiques peuvent être dégradées par des micro-organismes et libérer rapidement du phosphate assimilable. Les mêmes phénomènes de minéralisation et d'immobilisation discutés pour l'azote sont valables pour le phosphore. Le P dans la solution est également susceptible d'être perdu par lessivage ou érosion. Les pertes gazeuses de P sont rares et n'ont lieu qu'en cas de fortes températures. Un incendie d'intensité modérée peut causer la perte de 37 à 50 % du phosphore d'un système (Raison et al., 1985).

Les processus mentionnés sont les principales raisons pour lesquelles la carence en P des plantes est plus souvent liée à une faible disponibilité du P qu'à une faible teneur en P du sol. En fait, Martin and Sauerborn (2013) affirment que le P disponible pour une plante ne représente que 0,1 % des réserves totales du sol.

#### ASSIMILATION DU P PAR LES PLANTES

Les plantes assimilent principalement le P sous la forme de  $H_2PO_4^-$  et  $HPO_4^{2-}$  de la solution de sol (Schubert, 2011). Néanmoins, les plantes peuvent faciliter la disponibilité du P en le dissolvant des pools organiques et minérales. Les légumineuses peuvent sécréter de grandes quantités d'exsudats racinaires, tels que des protons, des carboxylates et des phosphatases, qui facilitent la libération du P fixé et la dissolution des minéraux phosphatés (Hinsinger et autres, 2011).

#### 2.5.3 LES CATIONS BASIQUES: (K+, CA2+, MG2+, NA+)

Ces cations se trouvent soit dans la solution du sol, soit liés de manière électrostatique (cations échangeables) ou peuvent être les composants des agrégats du sol, de minéraux ou dans une moindre mesure de molécules organiques. Les plantes assimilent le potassium, le calcium et le magnésium sous leur forme cationique depuis la solution du sol. Seuls les cations échangeables ou dissouts sont donc assimilables par la plante. Le

potassium peut être fixé de manière spécifique, ce qui rend sa libération dans la solution du sol très lente. Les cations échangeables, formant la CEC, sont donc d'importance primordiale pour l'approvisionnement des plantes en métaux alcalins ou alcalino-terreux.

Les cations basiques forment des liaisons uniques très faibles (principalement  $Na^+$  et  $K^+$ ). Leur présence au centre d'un agrégat rend ce dernier instable, ce qui peut facilement provoquer sa floculation puis sa dispersion. L'agrégat déstabilisé n'est plus accroché aux particules voisines, il peut donc être lessivé par l'eau ruisselante ou infiltrante. Un apport d'engrais riche en cations basiques, comme la fiente de poulet, est essentiel pour la nutrition des plantes mais ne doit pas être surdosé car il risque de causer une déstabilisation du sol, amenant à une forte érosion et à un lessivage et, donc, à une perte de fertilité du sol.

## **3. LA PROTECTION DES SOLS EN AFRIQUE**

**Ce chapitre vise à décrire les principaux sols rencontrés en Afrique tropicale et identifier les menaces pour ceux-ci. Les mesures pour les protéger et maintenir leur fertilité sont ensuite discutées.**

### 3.1 LES SOLS EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

Les sols des zones de savane et de forêt d'Afrique subsaharienne ont subi durant des millénaires l'influence d'un climat chaud et humide et de pluies intensives. Cela a provoqué une très forte altération chimique et physique de la roche mère et des minéraux primaires, suivi d'un lessivage constant des minéraux secondaires produits par ce processus. Les minéraux alcalins puis les cations basiques complètement lessivés, les sols ont perdu leur capacité de tampon et se sont acidifiés. Le lessivage des nutriments libérés des minéraux est responsable d'un appauvrissement extrême de ces sols. Ces processus érosifs ont conduit à l'accumulation relative de quartz, d'oxydes et d'argiles inaltérables (sols ferralitiques). Ces minéraux n'ont pas d'importantes charges de surface et sont de ce fait quasi-

ment incapables de retenir l'eau et les nutriments. Au contraire, de nombreux sols tropicaux sont capables de fixer le phosphore et de le rendre difficilement accessible, rendant une fertilisation phosphorée quasiment inutile.

Un autre processus pédogénétique typique qui peut se produire, en cas d'alternance de périodes sèches et humides, est le lessivage des argiles vers des horizons plus profonds. Les sols ainsi créés (sols lessivés) sont pauvres en argile en surface, ce qui limite également leur capacité de rétention d'eau et de nutriments.

Un processus pouvant survenir également est la formation de concrétions d'oxydes de fer : des latérites. Ces concrétions sont formées par dessiccation et alternance répétée avec des périodes humides. Ce processus se produit dans des zones avec un fort contraste entre la saison sèche et humide, ou dans des zones où l'eau stagne périodiquement.

Les sols des tropiques : à gauche un sol ferralitique (Ferralsol), au centre un sol lessivé (Lixisol ou Acrisol) et à droite un sol ferralitique pétrifié (Plinthosol)



Tendanciellement, les horizons minéraux des sols tropicaux ont :

- Une mauvaise rétention de l'eau et des nutriments.
- Une faible CEC.
- Une fixation du phosphore.
- Une faible teneur et disponibilité des nutriments.
- Un pH bas ou très bas.

La matière organique est donc cruciale pour la fertilité de ces sols : elle fournit une forte rétention de l'eau et des nutriments, retenant le P et l'empêchant d'être fixé par les minéraux ; elle fournit un réservoir de nutriments, une forte CEC et un tampon empêchant l'acidification des horizons de surface. Le maintien, ou l'augmentation, de la MOS est donc essentiel pour cultiver durablement les sols des tropiques. Un apport d'engrais synthétique ne suffit pas car les nutriments apportés seront lessivés (N, P, cations basiques) ou fixés (P). Le maintien de la MOS est une tâche ardue, principalement du fait du climat chaud et humide (forte décomposition) et des pluies (érosion, lessivage). En cas d'absence de forêt primaire, lors de la mise en cultivation, des mesures doivent être prises pour protéger le sol et limiter les pertes de MOS, et des apports constants de fumure organique doivent être effectués pour compenser les pertes et les exportations. Les risques pour le sol, ainsi que les mesures pour le protéger, sont discutés au chapitre suivant.

### 3.2 LES DANGERS POUR LES SOLS AFRICAINS

Comme mentionné ci-dessus, la perte de matière organique est un risque constant pour les sols africains, principalement à cause de l'infertilité des horizons minéraux et donc de la dépendance envers les horizons organiques pour la nutrition des plantes. Les risques majeurs pour ces sols, majoritairement liés à la perte de matière organique sont les suivants (Montanarella et al., 2016) :

- Décomposition de la matière organique.
 

Causes :

  - Climat chaud et humide.
  - Sol exposé à l'air (sol nu).
  - Sol retourné (labour, récolte de tubercules, etc.) et donc exposé à l'air.
  - Apport d'engrais minéral : priming effect.
  - Absence d'amendements organiques : les pertes ne sont pas compensées
- Érosion et lessivage
 

Causes :

  - Pluies intenses.
  - Faible couverture du sol, sol nu.
  - Sol retourné → Structure du sol détruite → Particules libres emportées par l'eau.
  - Absence de mesures anti-érosion : billons, haies, cordons pierreux, drains.
  - Surfertilisation avec fientes de poulet → déstabilisation du sol.
  - MOS insuffisante

- Minage des nutriments : les nutriments assimilés par la plante ne sont pas rendus au sol.

Causes :

- Fertilisation inexistante ou insuffisante.

- Acidification

Causes :

- Naturelles : pluie, absence de capacités tampons du sol, sécrétion d'exsudats racinaires acides des plantes.
- Rotation trop chargée en légumineuses (sécrétions exsudats racinaires acides).
- Fertilisation minérale d'ammonium ou de triple phosphate (engrais acide)
- Absence d'utilisation de chaux ou de fiente de poulet pour faire remonter le pH.
- Perte de matière organique (capacité tampon)

### 3.3 LES MESURES DE PROTECTION DU SOL

Les mesures de protection du sol visent avant tout à protéger, voire à augmenter la matière organique du sol, élément clef de la fertilité du sol. Elles se résument en ces 5 objectifs :

1. Protéger le sol et sa MO de la pluie (lessivage, érosion).
2. Protéger le sol et sa MO de l'air (minéralisation, perte d'azote par volatilisation).
3. Ajouter de la matière organique pour compenser les pertes.
4. Ajouter des nutriments pour compenser les pertes/exportations.
5. Augmenter ou stabiliser le pH pour éviter une acidification.

Les mesures discutées dans ce chapitre permettent d'atteindre un ou plusieurs de ces objectifs.

#### LES ASSOCIATIONS DE CULTURES (VOIR CH. 7)

Les associations de cultures permettent une meilleure couverture du sol grâce à l'optimisation de l'espace. Elles permettent de combler les espaces entre les lignes d'une culture lente au démarrage. Elles permettent d'associer des cultures exigeantes pour le sol (manioc, igname) avec des cultures le protégeant (culture rampante ou couvrante). La culture d'arbres dans un

## 3. LA PROTECTION DES SOLS EN AFRIQUE

champ (semi-agroforesterie ou agroforesterie) permet de protéger le sol en interceptant les gouttes de pluie à plusieurs niveaux (plusieurs étages de culture).

**LES ROTATIONS DE CULTURES (VOIR CH. 6.9)**

Une rotation bien planifiée permet de couvrir le sol en tout temps et de le protéger de l'air et de la pluie. Elle permet d'alterner des cultures destructives avec des cultures régénératrices. Un sol ne doit jamais être laissé nu ! Entre 2 cultures, on laisse pousser une jachère ou l'on sème un engrais vert.

Sur un sol nu, les gouttes de pluie ne sont pas ralenties et provoquent la dispersion des particules de sol au moment de l'impact. Les particules ainsi détachées sont ensuite entraînées par l'eau ruisselante ou infiltrante. Le sol nu ne dresse par ailleurs aucune barrière sur le chemin de l'eau ruisselante.

**LES ENGRAIS VERTS (VOIR CH. 4.3)**

Les engrais verts produisent une grande quantité de biomasse, qui sera ensuite entièrement rendue à la terre, comme paillage, compost ou comme fumier après avoir nourri les animaux. Cet apport est riche en nutriments et en matière organique.

**LE PAILLAGE**

Le paillage permet une couverture du sol entre les rangées de culture. Il est conseillé pour les cultures lentes au démarrage (par exemple maïs). Il permet également de maintenir l'humidité, de limiter l'enherbement et sert de refuge pour de nombreux organismes bénéfiques (voir ch. 6.2).

**UNE FERTILISATION ADAPTÉE (VOIR CH. 4)**

La fertilisation des cultures doit correspondre aux besoins des cultures pour éviter un minage de nutriments. En cas d'exportation de nutriments (vente de produits), ces nutriments doivent être compensés par un apport externe : fixation d'azote par les légumineuses, fixation de carbone par n'importe quelle plante et transformation de ces biomasses en engrais. Une fertilisation uniquement minérale ne suffit pas : premièrement elle ne compensera pas les pertes de MO, deuxièmement elle provoquera un priming effect et une perte de MOS.

**UN TRAVAIL DU SOL CONSERVATEUR**

Le retournement intensif du sol ainsi que l'exposition du sol sans couverture sont des pratiques responsables d'une dégradation de la fertilité du sol à travers une forte érosion et décomposition de la matière organique. C'est pour cela que le sol ne doit être travaillé que superficiellement et localement à l'endroit où sera planté la graine ou le planton. Ceci est facilité par un sol sans croûte durcie. Une couverture permanente du

sol, soit par une culture soit par un paillage déposé sur le sol, est donc essentielle pour prévenir la création de la croûte, tout en protégeant le sol de l'érosion.

Le semis direct, sans utilisation de labour, rend difficile le contrôle des adventices sans usage d'herbicide. Dans un système de production biologique, il est conseillé de limiter au maximum l'intensité du travail du sol, mais il est très difficile de se passer du labour. Ce dernier doit être réalisé superficiellement (10-20 cm), idéalement à la main ou par une traction animale. Le semis direct est quasiment impossible pour certaines cultures de tubercules (pomme de terre, igname).

Le travail du sol peut être réalisé de manière à limiter l'érosion. Des billons, particulièrement pour les cultures de tubercules, peuvent être créés dans le sens perpendiculaire à la pente, ce qui réduira le ruissellement. Des billons cloisonnés de petites tailles peuvent être ajoutés pour stopper le ruissellement entre les billons (voir chapitre 5).

**LES HAIES**

Les haies, plantées perpendiculairement à la pente, permettent de limiter le ruissellement et l'érosion. Elles permettent également de recycler l'eau et les nutriments lessivés. Des haies autour des parcelles sont donc conseillées pour empêcher l'exportation de matériaux en dehors de celles-ci. Les haies doivent être idéalement placées perpendiculairement à la pente. Plus la pente est raide, plus la distance entre les haies doit être rapprochée. Les haies ont d'autres avantages : biodiversité, production fourragère, barrière contre les ravageurs et les aléas climatiques.

**LE BIOCHAR**

Le charbon végétal (biochar) est un matériel organique pyrolysé (combustion sous manque d'oxygène). Le biochar est très intéressant pour le maintien de la fertilité des sols car il contient 70 % de carbone, sous une forme quasiment inaltérable. L'apport de biochar permet donc un apport de carbone durable sur une longue durée. Le biochar fournit les avantages suivants :

- Surface spécifique extrêmement haute.
- Forte CEC.
- Forte rétention de l'eau et des nutriments.
- Riche en cations basiques.
- pH haut, potentiel de tampon.

En Amazonie, des sols remarquablement fertiles (Terra Preta) ont été découverts, et témoignent d'un apport régulier de charbon végétal sur une longue durée.

Le substrat initial doit être choisi attentivement, car de potentiels métaux lourds pourraient être concentrés de cette manière.

Il peut exister également une concurrence sur l'utilisation d'un substrat qui pourrait être utilisé comme aliment, comme fourrage ou comme amendement organique.

#### CONTRÔLE DE L'ACIDITÉ

L'acidification des sols tropicaux, déjà acides, est un danger majeur pour le maintien de la fertilité de ces sols. Les mesures suivantes doivent être entreprises pour limiter cette acidification :

- En cas d'apport d'engrais azoté synthétique, privilégier les engrais sous forme de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) ou d'urée ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ). Éviter les apports d'engrais d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), un acide.
- Limiter les apports d'engrais phosphoré synthétique, le P s'y trouvant sous forme d'acide phosphorique.
- Privilégier les apports d'engrais organiques, spécialement la fiente de poulet, qui agissent comme tampon.
- Protéger ou augmenter la MOS.
- Appliquer de la chaux.
- Ne pas surcharger les rotations en légumineuses.



## 4. LA FERTILISATION

Ce chapitre aborde les différents moyens de fertiliser ces cultures. Il décrit principalement les engrais organiques utilisables en agriculture biologique et sont un pilier essentiel de l'agroécologie. Il décrit également les engrais minéraux, dits synthétiques, et explique les dangers et problèmes liés à leur utilisation, ainsi que les alternatives non synthétiques. Pour terminer, la fertilisation par les plantes est abordée exhaustivement, à savoir les engrais verts.

## 4.1 LA FERTILISATION ORGANIQUE

### 4.1.1 LE FUMIER BOVIN, OVIN ET CAPRIN

Le fumier de ruminants est un excellent engrais, car il contient tous les nutriments nécessaires à la culture et en proportions équilibrées. Sa facilité de décomposition en milieu tropical permet d'améliorer son rendement en tant que fumure. De plus, il contient beaucoup de matière organique. Cela contribue au maintien de la fertilité du sol.

Pour obtenir un fumier de qualité, il est essentiel de respecter les recommandations suivantes :

- Conserver le fumier dans une fosse bétonnée et à l'abri de la pluie pour éviter que l'eau entraîne les nutriments, et éviter la perte du purin par infiltration.
- Recouvrir le fumier avec une bâche pour empêcher la perte de nutriments sous forme de gaz (volatilisation azote, voir ch 2.1).
- Nourrir suffisamment les animaux, avec du fourrage de qualité (feuilles de légumineuses, biomasse de graminées, grains de maïs).
- Garder les animaux dans un enclos pour faciliter le ramassage du fumier. Le fumier à l'air libre va sécher et la volatilisation de l'azote sera accélérée.
- Mélanger immédiatement la terre au fumier lorsqu'il est appliqué.
- Appliquer entre 5 et 12 t/ha selon les cultures.

Le rapport CN du fumier frais est généralement autour de 30 avec paille, 20 sans paille et peut atteindre 10 après 2 à 3 mois de décomposition.

### 4.1.2 LA FIENTE DE POULET

La fiente de poulet est semblable à celle du bovin concernant l'augmentation des rendements et l'apport de matière organique. Sa composition est moins équilibrée que le fumier de ruminant. En revanche, elle contient de grandes quantités de cations basiques ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) importants pour les plantes et pour les hommes. Ces cations basiques ont aussi le potentiel de réduire l'acidité du sol. En effet, les protons présents dans la solution du sol créent des liaisons ioniques plus fortes que les cations basiques, et vont donc les remplacer et se fixer à la matière organique (Blume et al., 2015). La diminution de la concentration des protons dans la solution est synonyme d'un pH croissant, soit d'une diminution de l'acidité. En cas de problèmes d'acidité, il est donc conseillé d'appliquer de la fiente de poulet. L'effet alcalin de la fiente de poulet a été mesuré

comme étant égal à 25 % à celui de la chaux (Materchera & Mkhabela, 2002).

La fiente se décompose encore plus rapidement que le fumier bovin et peut donc être utilisée similairement à un engrais minéral. Cela signifie qu'elle peut être utilisée à l'épiaison des céréales et à la floraison/fructification des légumes pour améliorer le rendement.

Attention, la grande quantité de cations basiques peut déstabiliser le sol. Les cations  $K^+$  et  $Na^+$  ne forment que des liaisons faibles, ce qui peut déstabiliser les agrégats et provoquer leur lessivage et leur perte par érosion (Haynes & Naidu, 1998). Il est donc conseillé d'en appliquer entre 2 et 6 t/ha et de compléter avec d'autres engrais. Il faut utiliser au maximum 10 t/ha.

Suivre les mêmes recommandations que pour le fumier de ruminant pour obtenir de la fiente de qualité. Le rapport CN est souvent entre 10 et 15.

### 4.1.3 LE COMPOST

Le compost apporte une grande quantité de matière organique et de nutriments et est donc excellent pour maintenir la fertilité du sol. Il est conseillé d'en appliquer entre 0,5 et 2 t/ha avant le semis.

Le compost se crée à partir de différents déchets végétaux rassemblés en un tas et qui se décomposent au fil du temps. La décomposition génère de la chaleur, cela a pour effet d'accélérer le processus et de tuer les maladies présentes dans les déchets. Pour garantir une chaleur suffisante à la stérilisation du substrat, il est important d'isoler les côtés du compost. Pour éviter des pertes de nutriments par lessivage, le tas de compost doit se situer dans un lieu à l'abri de la pluie. Il est important de placer le compost à même le sol, car les vers et insectes doivent pouvoir y accéder.

Pour obtenir un compost de qualité, il est essentiel de respecter cette marche à suivre :

1. Déposer de la paille sur le sol pour optimiser l'aération (20 cm).
2. Ajouter 10 cm de déchets de cuisine (CN bas) (pas de déchets d'animaux, particulièrement os, sang).
3. Ajouter 30 cm de déchets feuillus et boisés hachés en petites pièces (CN haut) (2-5 cm). Il est important d'avoir des pièces respectant ces dimensions. Cela permet une décomposition aérée.
4. Arroser légèrement pour humidifier.
5. Répéter les points 2 à 4 jusqu'à atteindre la hauteur souhaitée.

#### 4. LA FERTILISATION

6. Déposer de la paille sur le tas.
7. Arroser tous les 3-4 jours.
8. Tous les 10 jours, il faut retourner le tas en mélangeant toutes les couches.

Le compost est prêt à l'usage quand il est noir et ressemble à du sol. (2-3 mois). Le rapport CN dépend de la matière première utilisée, mais un compost mûr bien équilibré à un rapport CN autour de 15.

Du fumier ou de la fiente peut être utilisé à la place des déchets de cuisine ou en supplément. Il est également possible de mélanger le compost au charbon végétal quand le compostage est terminé (voir [4.1.4 Le charbon végétal](#)).

##### 4.1.4 LE CHARBON VÉGÉTAL

L'apport de charbon dans le sol améliore fortement la qualité du sol. Le charbon fonctionne comme une éponge. Il retient l'eau et les nutriments, puis, les relâche lorsque la plante en a besoin. Le charbon empêche également la stagnation de l'eau.

On peut appliquer entre 5 et 50 t/ha de charbon, sachant que plus l'apport est grand, mieux le sol se portera (si l'on reste dans cette fourchette). Le charbon ne disparaît pas du sol, il n'y a donc pas besoin d'en réappliquer une fois que la quantité voulue a été incorporée dans le sol.

Le charbon n'apporte que très peu de nutriments. Il est conseillé de le mélanger avec du compost ou du fumier avant de l'appliquer. Pour créer du charbon végétal, il faut carboniser des déchets végétaux secs (rachis de maïs, coques de noix, branches). Pour des instructions sur la construction et l'utilisation d'un four à biochar, voir annexes.

## 4.2 LA FERTILISATION MINÉRALE

### 4.2.1 LES ENGRAIS SYNTHÉTIQUES ET MINÉRAUX

Les engrais synthétiques sont produits par l'industrie. Ils sont généralement dénommés engrais minéraux, car ils ne contiennent que des nutriments sous forme minérale (non organique). Ces engrais fournissent des nutriments directement disponibles pour la plante, ce qui permet un effet rapide et efficace sur la croissance et le rendement final. Les engrais azotés (N) et phosphatés (P) peuvent fortement améliorer le rendement de certaines cultures, principalement les céréales et les légumes. L'engrais potassé (K) est important pour des légumes comme la tomate. L'apport d'azote sur les légumineuses est déconseillé, celles-ci pouvant se fournir en azote grâce à leur symbiose

avec les bactéries rhyzobium. Un apport d'azote rendra cette symbiose inutile et diminuera donc la production d'azote des bactéries.

La facilité d'utilisation ainsi que la rapidité de l'effet de ces engrais permettent un apport ciblé dans le temps et dans l'espace. Il est conseillé d'appliquer l'engrais :

- aux pieds des cultures pour un effet efficace ;
- sur un sol mouillé, mais pas durant une pluie. De préférence, au début d'une période sans pluie ;
- sans toucher les feuilles et les racines, car elles pourraient être brûlées.

En dépit des effets positifs sur le rendement, l'apport de nutriments réactifs va favoriser les organismes minéralisants du sol par rapport aux organismes immobilisants, et donc provoquer une décomposition de la matière organique, un phénomène dit « Priming Effect » (Jenkinson, Fox, & Rayner, 1985 ; Kuzyakov et al., 2000). L'apport d'engrais minéraux peut de ce fait, de façon paradoxale, causer une perte de fertilité importante. Ils engendrent par la suite un cercle vicieux, la perte de matière organique rendant leur apport de plus en plus indispensable à l'achèvement de rendements acceptables.

Les nutriments des engrais minéraux sont très solubles (nitrate, ammonium, urée, phosphate). Ils risquent donc d'être rapidement lessivés en cas de pluies intensives, particulièrement sur un sol pauvre en matière organique et offrant donc peu de possibilités de liaisons pour les nutriments. De plus, beaucoup de sols tropicaux contiennent des oxydes de fer et des argiles capables de fixer le phosphore et de le rendre indisponible pour les cultures.

Pour ces différentes raisons, et particulièrement dans les tropiques où les pluies sont intensives et les sols susceptibles de fixer très fortement le phosphore, il est essentiel d'utiliser les engrais minéraux en combinaison avec un apport organique.

En Afrique, il est conseillé d'utiliser l'urée comme engrais azoté. Les engrais d'ammonium (par exemple « DAP », phosphate de diammonium) acidifient le sol, ce qui est très problématique pour les sols tropicaux. Les engrais de nitrate sont trop solubles et risquent d'être trop rapidement lessivés par les pluies. Pour les engrais phosphatés, il est conseillé d'utiliser le TSP (Triple Super Phosphate) malgré sa solubilité et son acidité.

Les engrais synthétiques ne sont généralement pas autorisés dans l'agriculture biologique.

### 4.2.2 L'URINE HUMAINE

La plupart des nutriments excrétés par l'homme se retrouvent dans l'urine et non dans les selles. L'urine contient respective-

## 4. LA FERTILISATION

ment 80 % et 55 % de l'azote et du phosphore que l'humain sécrète. Elle contient également de nombreux minéraux (calcium, potassium, fer, magnésium, cuivre, zinc). En conséquence, le recyclage des nutriments de l'urine a un fort potentiel pour remplacer l'utilisation des engrais synthétiques. L'apport d'urine va fournir aux plantes les nutriments dont elles ont besoin et donc empêcher un appauvrissement du sol. Cependant, l'urine ne contenant aucune matière organique, elle doit obligatoirement être utilisée en combinaison avec un engrais organique.

L'urine d'une personne saine est stérile. Les pathogènes se retrouvent dans les selles. Il est donc essentiel de respecter les règles suivantes pour éviter des contaminations :

- L'urine ne doit pas entrer en contact avec les selles.
- L'urine de personnes malades ou qui prennent des médicaments ne doit pas être utilisée.
- L'urine doit être stockée au minimum 3 mois dans un jerrican fermé avant d'être utilisée.

Alternativement au délai d'attente de 3 mois, un traitement à l'hydroxyde de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  est possible. Ajouter 10 g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  par litre d'urine directement dans le jerrican. Ceci va augmenter le pH de l'urine jusqu'à une valeur de 12,5. Cela aura les effets suivants :

- Inhibition de l'hydrolyse de l'urée, ce qui empêche la formation d'ammonium gazeux :
  - Limite les pertes d'azote
  - Limite les odeurs
- Tue une grande partie des éventuels pathogènes restants dans l'urine.

Si le  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  n'est pas disponible ou pas abordable, on peut le produire à partir de chaux (CaO). Il suffit de dissoudre la chaux dans de l'eau. Attention, car la réaction dégage énormément de chaleur. Ajouter la chaux petit à petit dans l'eau et laisser régulièrement refroidir. Il faut 7,6 g de chaux pour produire 10 g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

L'application de l'urine peut se faire de 2 façons :

- Mélangée avec un engrais organique : Après 3 mois de stockage dans les jerricans, on mélange l'urine avec le compost ou le fumier prêt à l'application. Cela permet d'enrichir l'engrais organique en nutriments.
- Directement par arrosage au pied des cultures. Cela permet d'avoir une fertilisation ciblée dans l'espace et dans le temps (comme avec un engrais minéral). Puisque l'urine est très soluble, il faut l'appliquer régulièrement par petites doses (1 fois toutes les 1 à 2 semaines). Il est important de ne pas

mouiller les feuilles avec l'urine, car le sel et l'ammonium pourraient les brûler. Il est conseillé de diluer l'urine par 4 avec de l'eau.

Un apport de 3 000 l/ha permet de satisfaire les besoins en phosphore du maïs. Cependant, 20 000 l/ha sont nécessaires pour les besoins en azote. Il est donc conseillé d'utiliser l'urine principalement pour les cultures exigeantes en phosphore (légumineuses, céréales), à un taux entre 1 000 et 5 000 l/ha.

### 4.3 LA FERTILISATION PAR LES PLANTES: ENGRAIS VERTS

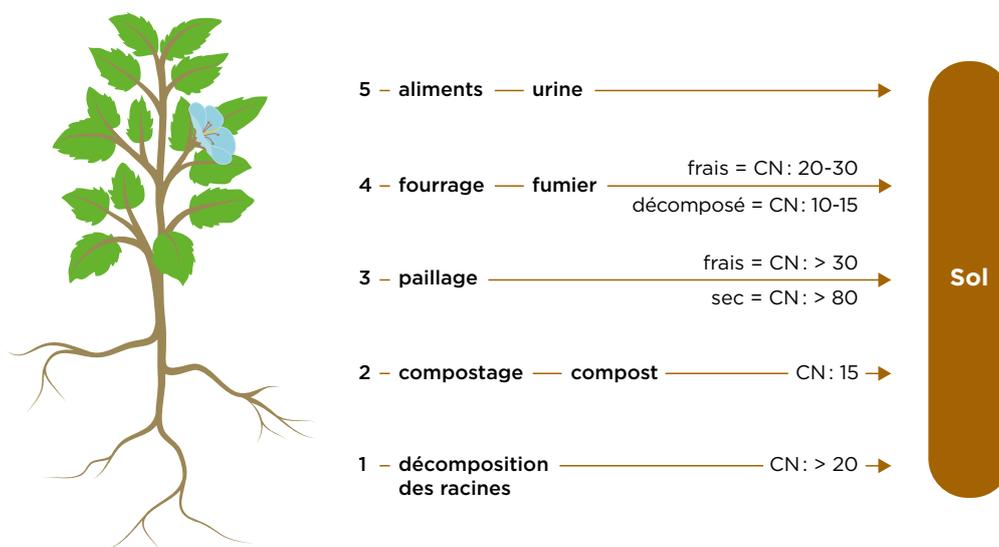
Comme mentionné au chapitre 2.2, les légumineuses sont une famille de plantes (Fabacées) dont les membres ont la spécificité de former une symbiose avec la bactérie rhizobia. Les racines des légumineuses sécrètent des molécules qui attirent les bactéries et créent des nodules qui les enferment. La rhizobia a la capacité de fixer le gaz atmosphérique et presque inerte  $\text{N}_2$  en ammonium, et de le transmettre à la légumineuse en échange de carbone (McNeill & Unkovich, 2007). En cas de sols fertilisés en azote, la rhizobia sera considérée comme parasite, puisqu'elle se procurera du carbone en échange d'azote déjà fourni par la terre et donc inutile à la plante. Dans ce cas, la plante ne va pas effectuer de symbiose avec la rhizobia et aucun azote ne sera fixé. Il est donc déconseillé d'apporter de l'azote aux légumineuses. Par ailleurs, il est très important d'avoir un apport en phosphore pour la bonne croissance de la plante et l'efficacité de la fixation biologique.

La culture de légumineuses permet donc d'effectuer un apport d'azote depuis l'atmosphère ( $\text{N}_2$ ) dans le système agricole. Le transfert d'azote, ainsi que celui des nutriments mobilisés et de la matière organique produite, s'effectue ensuite par cinq différents chemins jusqu'au sol et à l'éventuelle culture cible.

- Les racines et certaines parties aériennes non récoltées se décomposent sur place après la mort de la culture. Cette décomposition enrichit le sol en azote, en matière organique et retourne les nutriments mobilisés sous forme assimilable.
- La biomasse de la plante est compostée et enrichit donc le compost, qui pourra être utilisé comme fumure.
- La biomasse de la plante sert de paillage. En se décomposant, elle enrichira le sol d'une autre culture.
- La biomasse et/ou les grains servent de fourrage. L'azote, la matière organique et les nutriments mobilisés se retrouveront donc dans le fumier animal qui permettra de fertiliser.
- Les grains sont mangés par l'homme. L'azote et les autres nutriments se retrouvent dans l'urine qui, si utilisée, permettra de fertiliser.

## 4. LA FERTILISATION

## 5 chemins pour le transfert des nutriments



Seul un passage par l'animal, l'homme ou le compost permet de produire un fertilisant aisément assimilable dont l'utilisation pourra être ciblée dans l'espace/le temps. La décomposition de la biomasse directement sur le sol (paillage) permet d'enrichir le sol uniquement. Le temps de décomposition du paillage ne permet pas de fertiliser la culture sur lequel il est appliqué. À noter également que certaines plantes vont, elles aussi, mobiliser certains nutriments provenant des réserves du sol (P, K, Mg, Ca). La transformation en fumure permet donc un apport de nutriments assimilables autres que l'azote.

## 4.3.1 LES LÉGUMINEUSES À GRAIN

Les légumineuses à grain (haricot, pois, arachide, niébé, soja) produisent du grain comestible en quantité, enrichissent le sol et n'ont pas besoin d'apport azoté. Le grain contient des protéines importantes pour une alimentation saine et équilibrée. Pour améliorer la performance de ces plantes, il est conseillé d'appliquer un complément en phosphore (P): fumier, engrais minéral ou urine humaine. Il est possible d'utiliser les légumineuses à grain afin d'améliorer la fertilité du sol. Pour cela, il faut utiliser les tiges et feuilles comme paillage, s'en servir comme compost ou nourrir les animaux avec pour produire du fumier.

Différents types de grains de légumineuses



© Peggy Marco / pixabay.com

4.3.2 LES ENGRAIS VERTS :  
LES LÉGUMINEUSES

On peut aussi utiliser des légumineuses dans le but unique d'enrichir le sol. Ces espèces (Desmodium, Mucuna, Stylosanthes, Arachide Pérenne, Pois Cajan) ne produisent pas de grains comestibles, mais captent de plus grandes quantités d'azote qu'on retrouve dans leurs feuillages abondants. On peut utiliser ensuite la biomasse pour créer une fumure comme mentionné ci-dessus.

Le potentiel pour enrichir le sol est beaucoup plus grand avec les engrais verts qu'avec les légumineuses à grain. Il est donc conseillé d'inclure des engrais verts dans les rotations entre les cultures vivrières.

*Stylosanthes guianensis, Stylosanthes hamata*

Légumineuse pérenne (3 ans), érigée avec tiges lignifiées (1-1,80 m)

**Noms communs:** Stylo, luzerne tropicale.

**Climat:** Climat équatorial, climat de savane, climat semi-aride chaud. Supporte les saisons sèches.

**Sol:** Nombreux types de sol, en particulier sols pauvres et acidifiés.

**Potentiel:** Forte production de biomasse (5-10 t/ha), pas besoin d'engrais, système racinaire puissant, forte fixation d'azote (70-200 kg/ha), aptitude à mobiliser du phosphore et

## 4. LA FERTILISATION

des oligoéléments (B, Cu, Zn, Mn), excellent fourrage (reste vert en saison sèche), mellifère, forte compétitivité, contrôlable par simple fauche au ras du sol.

**Limitations :** Implantation lente, récolte des graines fastidieuse, supporte mal le surpâturage.

**Gestion :** Le semis se fait en poquet (7-12 graines/poquet), très légèrement recouvert (<1 cm de profondeur) avec 30 à 40 cm entre les poquets. La quantité de semence nécessaire est de 2-3 kg/ha. À la volée, la quantité nécessaire est de 5 à 6 kg mélangés à 15-20 kg de sable. Le stylo peut se cultiver en culture pure ou en association avec des cultures vivrières (riz, manioc, maïs). Le stylo est peu compétitif en début de croissance, un désherbage peut être nécessaire pour une bonne implantation. Le stylo peut être fauché tous les 2-3 mois (25 cm du sol). Il peut être utilisé comme fourrage pour les bovins, les ovins, les porcins et les volailles. Vu la lente croissance initiale, il faut cultiver le stylo une saison au minimum. Une simple fauche à ras du sol, de préférence en fin de saison sèche, permet de le retirer et de laisser la place à un sol enrichi pour la culture suivante. Si la remise en culture n'est pas souhaitée, le stylosantes peut rester en place plusieurs années. En effet cela permet l'enrichissement du sol et favorise la restauration de sols dégradés.

*Mucuna pruriens*

© Ton Rulkens / commons.wikimedia.org

Annuel vivace rampante

**Noms communs :**  
Pois mascate, haricot pourpre.

**Climat :** Climat équatorial, climat de savane.

**Sol :** Sol moyennement fertile, tolère l'acidité.

**Potentiel :** Forte compétitivité, croissance rapide (3-4 mois), forte production de biomasse (5-10 t/ha)

**Limitations :** Toxicité pour l'homme et pour les non-ruminants, présence de substances anti-nutritives.

**Gestion :** Le semis se fait en poquets espacés de 20-80 cm. La récolte a lieu 3-4 mois après le semis. Idéale comme couverture entre 2 cultures. L'élimination du mucuna peut être difficile sans herbicide.

*Desmodium intortum, desmodium uncinatum*

**Climat :** Climat équatorial, climat de savane, climat semi-aride chaud.

**Sol :** Tout type de sol, tolère l'acidité.

**Potentiel :** Contrôle des ravageurs dans les céréales (voir [chapitre 7](#)), excellent fourrage.

**Limitations :** Toxicité pour l'homme et pour les non-ruminants, présence de substances anti-nutritives.

**Gestion :** Le semis se fait en lignes espacées de 50 cm, semer 5 kg/ha mélangés à 10 kg/ha de sable. Faucher tous les 2-3 mois.

*Arachis pintoï, arachis repens*

Légumineuse pérenne et rampante.

**Noms communs :** arachide pérenne.

**Climat :** Climat équatorial, climat de savane.

**Sol :** Tout type de sol.

**Potentiel :** Peu exigeante, pas besoin de fertilisation, fixatrice d'azote (50 kg/ha), excellente couverture végétale (anti-érosion), excellent contrôle des adventives, bonne restructuration du sol (idéal pour la restauration des sols dégradés), tolère l'ombre (couverture idéale sous les vergers), excellent fourrage, supporte le surpâturage.

**Limitations :** Installation lente et difficile (boutures), tolère peu la sécheresse, éradication difficile.

**Gestion :** Le semis se fait avec des boutures (stolons ou tiges de 20-30 cm). Planter 2 nœuds dans le sol en saison humide à une densité comprise entre 30 cm x 30 cm et 50 cm x 50 cm. Contrôler l'enherbement les premières semaines. Une fois la couverture installée, la parcelle peut être utilisée comme pâturage de manière intensive. Les arachides pérennes sont parmi les légumineuses tropicales les plus nutritives. L'éradication est difficile et nécessite un travail du sol important, un herbicide ou un surpâturage intensif. Il est donc conseillé d'installer cet engrais vert pour plusieurs années.

### *Cajanus cajan*



Légumineuse pérenne buissonnante (0,5-4 m)

**Noms communs :**  
pois cajan, pois angole, pigeon pea.

**Climat :** Climat équatorial, climat de savane, climat semi-aride chaud, supporte de longues saisons sèches.

**Sol :** Tout type de sol.

**Potentiel :** Création de buissons en quelques mois, forte production de biomasse et de grains, grains comestibles.

**Limitations :** Peu adapté à des mélanges ou à du pâturage vu sa formation de buissons.

**Gestion :** Le semis se fait directement dans le sol à une densité de 35 cm entre les plants. Pour une utilisation fourragère, faucher régulièrement les plantes pour empêcher la formation de grands buissons. Pour une production de graines, semer à une densité de 1 m, laisser pousser et récolter les graines après 7-8 mois. Le pois cajan peut être cultivé dans des haies, ou en association avec d'autres cultures (maïs, manioc).

## 4.4 LES ENGRAIS VERTS : LES ARBRES LÉGUMINEUX

On peut aussi planter des arbres légumineux (*Gliricidia*, *Sesbania*, *Calliandra*, *Leucaena*, *Pois Cajan*, *Acacia*) en haies autour des cultures (photo ci-contre) et transférer les feuillages par les procédés expliqués ci-dessus. Les racines des arbres pourront puiser l'eau et les nutriments dans des couches plus profondes. Les haies légumineuses permettent d'avoir rapidement une haie protectrice (contre les aléas climatiques et les ravageurs) et d'avoir une production de fourrage, de paillage ainsi qu'un transfert d'azote de l'atmosphère vers les champs. Les feuillages et les graines des arbres légumineux sont de très bons fourrages.

## 4.5 LES ENGRAIS VERTS : LES GRAMINÉES

On peut également utiliser des graminées comme engrais verts. Ces plantes (à l'exception de l'éleusine) ne vont pas fixer d'azote mais vont restructurer le sol, augmenter les teneurs en matière organiques du sol (par une forte production de biomasse, donc une forte fixation de carbone par photosynthèse). Les graminées vont également mobiliser des nutriments du sol (phosphore et oligoéléments). Le rapport CN des graminées est par contre beaucoup plus haut (frais : CN entre 40 et 60, sec entre 60 et 100), il faut donc faire attention à une faim d'azote en cas d'application comme paillage.

*Brachiaria ruzuzuiensis*, *B. brizantha*,  
*B. decumbens*, *B. humidicola*



Graminée pérenne C4 érigée (1-1,50 m)

**Climat :** Climat de savane, climat semi-aride chaud, supporte de longues saisons sèches.

**Sol :** Tout type de sol, supporte l'acidité.

**Potentiel :** Forte production de biomasse, fourrage de qualité, suppression des adventices, système racinaire puissant et profond permettant le recyclage des nutriments et de l'eau des couches inférieures, capacité à extraire le phosphore, capacité à décompacter et à restructurer le sol, idéal pour la régénération des sols dégradés. Potentiel pour combattre les ravageurs dans les cultures de céréales (voir ch. [7.2.2](#))

**Limitations :** Difficulté à éradiquer le brachiaria pour la remise en culture. Important de ne pas laisser le brachiaria germer si l'on veut remettre en culture.

**Gestion :** Poquets (8-10 graines) ou boutures espacés de 30-40 cm 3 à 7 kg/ha nécessaires, à la volée : 10-20 kg/ha. Le brachiaria est fauché tous les 2-3 mois, il peut être utilisé comme fourrage frais, pâturé ou séché et utilisé comme foin. La remise en culture nécessite une fauche à ras le sol, un surpâturage et un travail du sol intensif. Le brachiaria peut être planté comme haie, ou comme séparation de parcelles, ce qui élimine le problème de la remise en culture.

### *Pennisetum purpureum*



Graminée pérenne C4 érigée (1-1,50 m)

**Climat :** Climat de savane, climat *équatorial*

**Sol :** Tout type de sol.

**Potentiel :** Forte production de biomasse, fourrage de qualité, suppression des adventices, système racinaire

puissant et profond permettant le recyclage des nutriments et de l'eau des couches inférieures, capacité à mobiliser le phosphore. Potentiel pour combattre les ravageurs dans les cultures de céréales (voir ch. [7.2.2](#))

**Limitations :** Difficulté à éradiquer le Pennisetum pour la remise en culture.

**Gestion :** Poquets (8-10 graines) ou boutures espacées de 30-40 cm 3 à 7 kg/ha nécessaires, à la volée : 10-20 kg/ha. Le pennisetum est fauché tous les 2-3 mois, il peut être utilisé comme fourrage frais, pâturé ou séché et utilisé comme foin. La remise en culture nécessite une fauche à ras le sol, un sur-pâturage et un travail du sol intensif. Le pennisetum peut être planté comme haie, ou comme séparation de parcelles, ce qui élimine le problème de la remise en culture.

### *Eleusine coracana*

Graminée annuelle C4

**Nom commun :** Eleusine, petit mil.

**Climat :** Climat de savane, climat semi-aride chaud.

**Sol :** Sol moyennement fertile.

**Potentiel :** Forte production de biomasse (12 t/ha) en un temps limité, faible besoin en eau, fourrage de qualité, graines comestibles, système racinaire puissant et profond permettant le recyclage des nutriments et de l'eau des couches inférieures, capacité à restructurer le sol, capacité à fixer l'azote, facile à éradiquer par simple fauche.

**Limitations :** Photopériodique (cultivable uniquement en saison pluvieuse), peu compétitive, plante hôte du striga.

**Gestion :** Semis à la volée (8-10 kg/ha). Désherber régulièrement. Récolte des graines (comestibles) après 3-4 mois. L'éleusine doit être fauchée avant l'épiaison pour la production de fourrage grossier. Une simple fauche à ras le sol suffit à éradiquer l'éleusine.

## 4.6 LES ENGRAIS VERTS : LES MÉLANGES

En fonction de l'utilité, de la durée, du sol et du climat, les différents engrais verts mentionnés ci-dessus peuvent être utilisés. Pour une production fourragère ou pour un pâturage, il est conseillé de mélanger les différentes espèces. Ceci permettra de diminuer les risques de maladies ou de ravageurs, augmentera la qualité nutritionnelle du fourrage et optimisera la restructuration et la régénération du sol. Un équilibre légumineuse-graminée est essentiel pour un fourrage de qualité : les légumineuses apportant les protéines manquantes dans les graminées, les graminées fournissant les glucides et les fibres en faible concentration dans les légumineuses. Cet équilibre est également important dans la fumure produite in-fine (paillage, compost, fumier). Comme expliqué dans le chapitre 2, une fumure pauvre en azote causera une immobilisation des nutriments du sol, alors qu'une fumure trop riche en azote causera un priming-effect et une perte de matière organique.

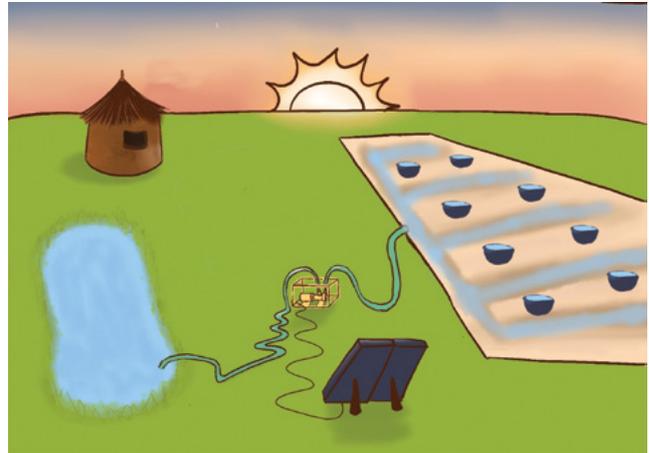
## **5. LA GESTION DE L'EAU**

**Ce chapitre expose les techniques d'irrigation avec leurs avantages et désavantages. Il décrit ensuite les pratiques de rétention d'eau essentielles à la cultivation en milieu aride.**

## 5.1 LES SYSTÈMES D'IRRIGATION

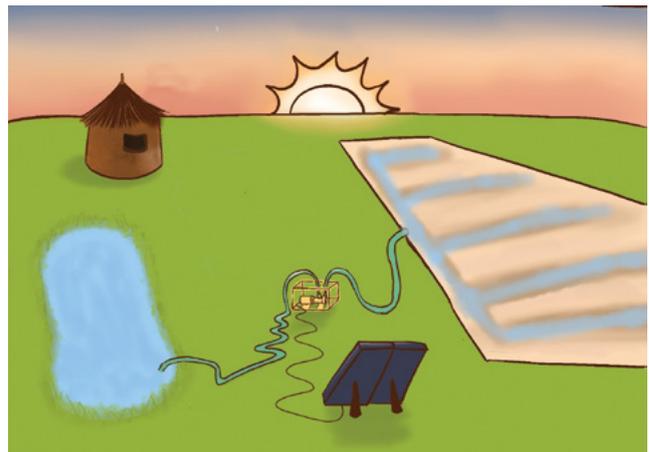
### 5.1.1 L'IRRIGATION MANUELLE

L'irrigation manuelle est le système d'irrigation nécessitant le moins d'infrastructures et le plus simple à mettre en place. Il consiste à arroser les plantes directement à la main ; soit à l'arrosoir soit au tuyau. Ceci représente une charge de travail très importante mais ne nécessite pas d'investissements particuliers et l'efficacité est forte (peu de pertes). Pour faciliter le travail, on peut placer des cuves à différents endroits du terrain que l'on remplit à l'aide d'une pompe de surface ; ou avec la pression d'un château d'eau lui-même rempli par une pompe de surface ou par un forage. Ceci diminuera fortement les distances à parcourir lors de l'irrigation. Ce système amélioré demande naturellement un investissement plus important.



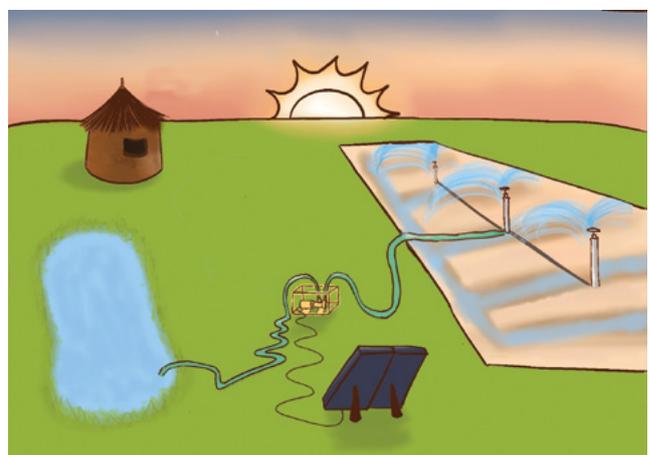
### 5.1.2 L'IRRIGATION DE SURFACE

L'irrigation de surface consiste à irriguer les parcelles en laissant couler l'eau en utilisant la gravité. Des canaux sont créés pour amener l'eau à la culture. La culture est généralement cultivée sur billons et l'eau circule dans les sillons. Ce système d'irrigation nécessite peu de matériel selon la morphologie du terrain et le type de réserve en eau. Un château d'eau ou un réservoir d'eau en hauteur est nécessaire, ainsi qu'un moyen de le remplir (pompe de surface, forage). Le gros investissement consiste à créer les canaux et les sillons, ce qui représente un gros travail mais ne demande pas de matériel particulier. Le travail d'irrigation est par la suite faible, il suffit d'ouvrir les vannes pour irriguer la parcelle. Le souci de ce système est la faible efficacité d'irrigation qui varie entre 25 et 60 %, ce qui signifie que 75 à 40 % de l'eau appliquée est perdue et ne sert pas à la culture.



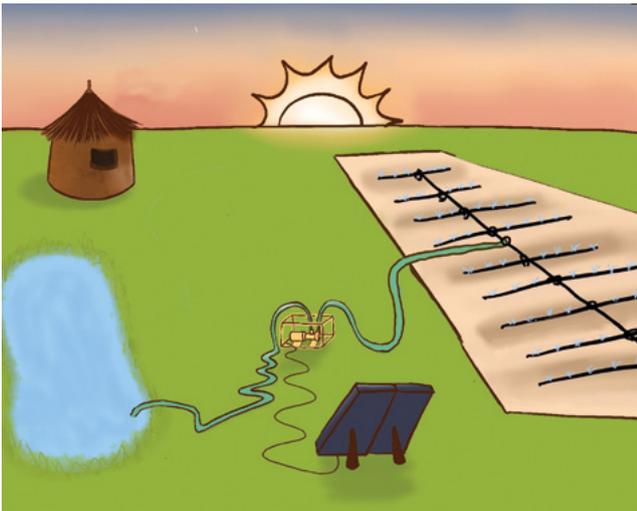
### 5.1.3 L'IRRIGATION PAR ASPERSION

Ce système d'irrigation consiste à irriguer en aspergeant l'eau sur les cultures à l'aide de gicleurs. L'investissement est plus important car il faut acheter les gicleurs et une importante tuyauterie, en plus d'un réservoir d'eau (château d'eau, bassin de rétention) et d'un moyen de le remplir ou de pomper directement. Le travail pour installer et pour utiliser est limité et l'efficacité est meilleure que l'irrigation de surface (60-80 %). Le souci est que ce système mouille fortement les plantes, ce qui encourage le développement de maladies. L'irrigation en cas de vent pose également un problème, car les pertes seront très importantes. Ce système est optimal pour les sols sableux.



### 5.1.4 L'IRRIGATION GOUTTE À GOUTTE

Ce système d'irrigation est le système le plus efficace (80-95 %) car il apporte l'eau directement aux pieds des plantes et de manière régulière. La plante peut donc directement puiser l'eau avant qu'elle ne s'infilte. Le coût d'installation est conséquent car la tuyauterie à se procurer est importante, en plus d'un réservoir d'eau (château d'eau, bassin de rétention) et d'un moyen de le remplir ou de pomper directement. L'installation du système demande un certain travail et le déplacement n'est pas facile. Le matériel peut vite se dégrader (goutteurs bouchés par exemple). Le goutte à goutte peut amener également à un faible développement racinaire des plantes, s'il n'est pas appliqué correctement (voir 5.2 Les bonnes pratiques d'irrigation). Cependant, la charge de travail pour irriguer est minime, les pertes en eau insignifiantes et il est possible d'arroser à n'importe quelle heure. Pour finir, les plantes ne sont pas mouillées ce qui limite la propagation des maladies. Ce système est suboptimal pour les sols sableux ou l'eau des goutteurs irriguera de manière trop locale (faible dispersion horizontale à travers le sol sableux).



### 5.2 LES BONNES PRATIQUES D'IRRIGATION

Différentes mesures peuvent être prises pour optimiser l'irrigation et limiter les pertes en eau.

- Arroser le soir et le matin quand les températures sont basses, ce qui limitera l'évaporation et donc optimisera l'efficacité de l'irrigation.
- Ne pas arroser la journée. L'arrivée d'eau fraîche sur la plante lors de fortes chaleurs peut lui causer un stress qui risque de la blesser ou de la tuer.

- Arroser en fonction du besoin de la plante et de la saison. Toujours adapter la durée d'irrigation en fonction de la culture, des températures et des précipitations.
- Éviter de mouiller les parties aériennes. Ceci limitera le développement de maladies. Le goutte-à-goutte et l'irrigation de surface ne devraient pas mouiller les plantes. Lors de l'arrosage manuel, une bonne pratique peut fortement limiter le problème. L'irrigation par aspersion ne permet pas de garder les plantes sèches.
- Limiter l'irrigation au début pour promouvoir la croissance racinaire. Après la transplantation de légumes par exemple, il est conseillé de laisser quelques jours sans irriguer. Ceci forcera la plante à développer ses racines. Il est particulièrement important de faire ça si l'irrigation choisie est le goutte-à-goutte. Ce système risque d'empêcher le développement racinaire des plantes car l'eau est apportée de manière régulière aux pieds de celles-ci.
- Utiliser des mesures de rétention d'eau pour limiter l'évapotranspiration et l'érosion (voir 5.3 les techniques de rétention d'eau).

### 5.3 LES TECHNIQUES DE RÉTENTION D'EAU

Dans les zones arides, de nombreuses techniques pour retenir l'eau existent et sont utiles pour optimiser l'irrigation et limiter les besoins hydriques. Ces techniques sont également essentielles pour les cultures non irriguées de saison pluvieuse dans les milieux arides.

#### 5.3.1 COUVERTURE DU SOL

Une bonne couverture du sol, avec du paillage et des cultures denses en tout temps permet de mieux retenir l'eau dans le système, en limitant l'évapotranspiration et en protégeant le sol de l'érosion due à la pluie. L'eau ne va plus ruisseler, mais être retenue pour être utilisée plus tardivement par les cultures.

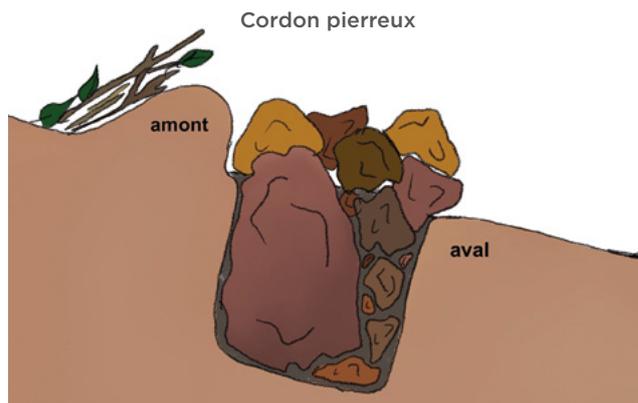
Paillage pour couvrir des billons au Burkina Faso.



### 5.3.2 LES BILLONS (CLOISONNÉS)

L'eau va être retenue entre les billons et les racines de la plante pourront y accéder. Dans les sillons, on peut cultiver des cultures gourmandes en eau ou laisser des chemins. Dans les billons, on va cultiver des cultures dont le fruit/tubercule/racine est souterrain pour que le produit comestible soit en hauteur et ne pourrisse pas en cas de stagnation. Selon les espèces, les billons mesurent entre 20 et 50 cm de hauteur. En saison pluvieuse, il est conseillé de faire des billons plus hauts et de planter les cultures sur ceux-ci. En saison sèche, on peut ajouter des billons perpendiculairement, pour retenir l'eau plus efficacement. Il ne faut utiliser ce procédé qu'en saison sèche, car sinon l'eau stagnera excessivement.

Billons cloisonnés au Burkina Faso



Champ ceinturé de cordons pierreux



### 5.4 LES CORDONS PIERREUX ET HAIES

Autour de la parcelle, les haies permettent de retenir l'eau. Les haies en amont empêchent une forte inondation, et celles en aval retiennent l'eau sur la parcelle. En plus de cela, une tranchée de 30 cm de profondeur et largeur peut être creusée puis remplie de pierres jusqu'à 10-20 cm au-dessus du sol. Ceci permet d'augmenter la rétention d'eau et de diminuer les risques d'érosion. Les cordons pierreux peuvent également être créés entre chacune des parcelles.



### 5.5 LE CEINTURAGE DES PARCELLES

Séparer les parcelles avec des ceintures végétales permet également d'optimiser la rétention d'eau dans ces parcelles et de limiter l'érosion. Il est possible de séparer ces parcelles avec des rangées d'herbes fourragères ou d'arbres légumineux à croissance rapide (pois cajan), qui peuvent être récoltés comme fourrage, ou avec des rangées d'ananas, très efficaces contre l'érosion. D'autres espèces sont bien évidemment envisageables pour les ceintures.

Exemples de ceinturage : avec de l'herbe brachiaria au Mali, avec des ananas au Cameroun (page suivante)





## 5.6 LES AMÉNAGEMENTS EN COURBE DE NIVEAU (ACN)

Le principe de l'ACN est très efficace pour limiter l'érosion et conserver l'eau dans les parcelles. Il consiste à créer des gros billons (50 cm de hauteur minimum) le long des courbes de niveau. Ces billons vont donc traverser les parcelles. L'espacement dépend de la pente; plus le terrain est raide, moins les ACN sont espacés. Ensuite, on plante des arbres tels le moringa sur les gros billons avec un espacement écarté, par exemple 5 m entre les plants. Ceci permettra de solidifier les billons, de recycler l'eau infiltrée mais ne causera qu'une ombre réduite.

Schéma d'un aménagement en courbe de niveau.



## 5.7 LES DEMI-LUNES

La technique de demi-lune consiste à créer des espaces où les nutriments et l'eau seront concentrés pour optimiser la croissance de la plante en milieu aride. Une demi-lune de 2 m de diamètre et 20 cm de profondeur est creusée. Le fumier est appliqué dans la demi-lune en mélangeant avec la terre ameublie. Le reste de terre est utilisé pour créer un billon sur le côté aval de la demi-lune. La culture exigeante (céréale, légumes, etc.) est semée dans la demi-lune. On peut semer une culture moins

exigeante (niébé, arachide, haricot) sur le billon. Les demi-lunes sont espacées de 4 m; il est essentiel de ne pas cultiver les espaces entre celles-ci, l'objectif étant de collecter l'eau sur une grande surface et de la concentrer sur la petite surface des demi-lunes. La technique des demi-lunes est très intéressante pour cultiver sur des terres dégradées et dans des zones arides.

Apprentissage de la technique des demi-lunes au Burkina Faso.



## 5.8 LES TROUS ZAÏS

Cette technique consiste à créer des trous de 20 à 40 cm de profondeur et de diamètre, espacés de 30 à 70 cm, que l'on remplit de fumier et de terre et où l'on sème les cultures (par exemple maïs, sorgho, niébé). Des sillons sont créés entre chaque trou, afin d'amener l'eau de pluie dans les trous zaïs. Le fumier et un éventuel paillage sont placés dans les trous zaïs directement. La fertilisation et la rétention sont de cette manière ciblées sur la culture. L'objectif est le même que les demi-lunes, mais la méthode est différente.

Trous zaïs pour la culture du maïs au Mali.





## **6. CONTRÔLE DES RAVAGEURS ET DES MALADIES**

**Ce chapitre parcourt les différents moyens à disposition en agroécologie pour limiter les attaques des ravageurs et des maladies. Le rôle de la biodiversité pour protéger les cultures est exposé, puis des méthodes actives telles la biofumigation, les associations, les rotations et les traitements naturels.**

## 6.1 LA BIODIVERSITÉ : DISCONTINUITÉ DES RESSOURCES

Une grande biodiversité, tant par un nombre maximum de variétés de la même espèce que par un nombre maximum d'espèces, permet la limitation de l'expansion des ravageurs par une discontinuité des ressources et par des effets répulsifs dans certains cas (voir ci-dessous). Le principe de la discontinuité des ressources implique que l'invasion d'un ravageur ou d'un pathogène sera limitée par le fait qu'il ne trouvera pas un hôte adéquat. Par exemple, l'association de 2 ou 3 cultures permettra de ralentir l'expansion d'une maladie fongique n'infectant qu'une seule des cultures, les spores ayant plus de difficulté à atteindre la ligne suivante de la culture hôte.

Une diversité de cultures limite les risques de récolte catastrophique, une mauvaise récolte d'une espèce pouvant être compensée par une bonne récolte d'une autre.

## 6.2 LA BIODIVERSITÉ : CONTRÔLE PAR LES AUXILIAIRES

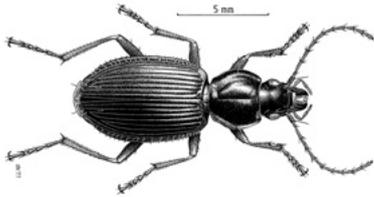
Une grande diversité de plantes, combinée à une utilisation restreinte voire nulle des produits phytosanitaires, augmente parallèlement la diversité des insectes présents dans l'agrocosystème. Ceci peut affecter positivement la pollinisation des cultures d'une part (présence de pollinisateurs), mais principalement accroître la présence d'auxiliaires. Les auxiliaires, ou les antagonistes, sont des prédateurs qui se nourrissent d'autres insectes et qui peuvent donc diminuer les populations des insectes ravageurs. Les auxiliaires peuvent également être des espèces parasitoïdes, qui pondent leurs œufs à l'intérieur des larves d'autres insectes, ce qui permet également le contrôle de certains ravageurs. Pour terminer, les auxiliaires peuvent être des bactéries, champignons, virus ou nématodes qui infectent les insectes ravageurs.

Une haute biodiversité de plantes, comme sur cette ferme agroécologique au Cameroun, permet une meilleure résilience du système de production



### 6.2.1 LES CARABIDAE

Ce sont des coléoptères de grande taille (15-20 mm), majoritairement polyprédateurs et considérés comme bénéfiques pour les cultures. On les trouve sur le sol, sous des écorces, feuilles, paillages, pierres etc. La larve est également prédatrice et rarement ravageur. Un paillage augmente fortement la présence de ces insectes.



© Des Helmore – Manaaki Whenua / commons.wikimedia.org

### 6.2.2 LES STAPHYLINIDAE

Coléoptères dont l'écologie est très similaire aux carabidae, ils sont plus petits (quelques mm) et chassent donc de tout petits insectes, des pucerons et des nématodes.



© Udo Schmidt / flickr.com

### 6.2.3 LES COCCINELLIDAE

Coléoptères volants de 0,1 à 1,5 cm de grosseur, dont 90 % sont prédateurs de pucerons, de mouches blanches, de cochenilles et de cicadelles. Les coccinellidae se nourrissent également de pollen et de nectar.



© URSchmidt / commons.wikimedia.org

### 6.2.4 LES GUÊPES (APOCRITA)

Ce sous-ordre contient des milliers d'espèces de petite taille (0,3 à 5 mm) parasitoïdes. Les adultes se nourrissent de nectar et de pollen, puis pondent leurs œufs à l'intérieur d'autres

insectes. Les larves se nourrissent ensuite de l'insecte mort. Ces guêpes sont parmi les auxiliaires les plus utiles dans un agroécosystème.

Le sous-ordre contient également des guêpes prédatrices de plus grande taille (Vespidae, Sphecidae), dont les larves se nourrissent d'insectes et les adultes de pollen et nectar.

### 6.2.5 AUTRES INSECTES

Les fourmis (formicidae) peuvent être des prédatrices efficaces de ravageurs. Elles peuvent par contre également protéger certains ravageurs (pucerons), dont elles se nourrissent. Des membres des ordres Diptera (mouche), Neuroptera, Heteroptera et Odonata (libellules) sont également connus comme auxiliaires.

### 6.2.6 LES ARAIGNÉES (ARANEAE)

Les araignées sont parmi les auxiliaires les plus utiles des agroécosystèmes. Toutes les araignées sont prédatrices et se divisent en deux catégories : celles qui chassent leur proie et celles qui créent des toiles pour les piéger. Elles se nourrissent principalement d'insectes. Un paillage et des refuges sont importants pour la survie des araignées.

### 6.2.7 AUTRES TYPES D'AUXILIAIRES

Certains acariens sont également prédateurs. De nombreux champignons, bactéries, virus et nématodes peuvent parasiter les ravageurs et diminuer leur population. Toutefois, il est difficile de remarquer la présence de ces antagonistes.

### 6.2.8 LE CONTRÔLE BIOLOGIQUE CONSERVATEUR

Le contrôle biologique conservateur est une approche qui consiste à protéger et à attirer des antagonistes dans l'agroécosystème en modifiant l'environnement et en créant un habitat hospitalier pour ces derniers (Martin & Sauerborn, 2013). Les mesures possibles pour réaliser cela sont les suivantes :

- Cultures associées : Andow (1991) a synthétisé les résultats de 200 études, montrant que 53 % des espèces prédatrices et 75 % des espèces parasitoïdes sont plus nombreuses dans un champ de cultures associées que dans une monoculture. Pour terminer, 52 % des ravageurs étaient moins nombreux dans la polyculture.
- Plantation de fleurs : De nombreux auxiliaires, spécialement les coléoptères et les parasitoïdes (guêpes), se nourrissent de pollen et de nectar. La plantation de fleurs, comme culture ou comme plante attractive, accroîtra la présence de ces espèces (ainsi que des pollinisateurs).

Les fleurs, comme ce tagète au Cameroun, permettent d'attirer des auxiliaires



- Plantation de haies et de cordons pierreux qui serviront de refuge pour les auxiliaires et augmenteront également la biodiversité en favorisant leur présence.
- Bonne couverture du sol : Une couverture du sol permanente, par des cultures et par un paillage important, fournira un habitat idéal pour de nombreux auxiliaires terricoles (araignées, coléoptères, acariens).
- Apport de matière organique dans le sol : un sol riche en matière organique promouvra la présence d'auxiliaires terricoles et d'antagonistes de maladies fongiques terricoles.
- Proscrire l'utilisation d'insecticides, de fongicides ou d'antibiotiques qui, en plus de tuer le ravageur ou la maladie ciblée, tueraient les auxiliaires.

Il est important de préciser que certaines de ces mesures peuvent également promouvoir la présence de certains ravageurs. Une observation régulière des différents insectes autour des différentes cultures et des plantes est indispensable.

#### 6.2.9 LE CONTRÔLE BIOLOGIQUE INONDANT

Cette méthode consiste à libérer une grande quantité d'un antagoniste précis pour exterminer un ravageur en particulier. Il n'est pas attendu que l'antagoniste survive à long terme. Un nouvel apport sera nécessaire en cas de nouvelle attaque.

#### 6.2.10 LE CONTRÔLE BIOLOGIQUE CLASSIQUE

Cette méthode consiste à libérer un antagoniste précis pour contrôler un ravageur en particulier. Il est attendu que l'antagoniste diminue la population du ravageur sans l'exterminer, ce qui lui permet de survivre à long terme.

Ces procédés (des points 6.2.9 et 6.2.10) sont difficilement réalisables dans la plupart des pays africains. En effet, il est actuellement très difficile de se procurer les antagonistes nécessaires.

### 6.3 LA NUTRITION DES PLANTES ET LA FERTILITÉ DU SOL

Un sol fertile améliore la santé des cultures et leur résistance aux ravageurs et maladies. Une fertilisation suffisante est donc indispensable à la défense des plantes face aux attaques. Une surfertilisation, particulièrement en azote, n'est au contraire pas conseillée. Elle causera une croissance trop rapide qui ne permettra pas à la plante de développer ses mécanismes de protection. Un sol riche promouvra également la présence d'auxiliaires comme mentionné plus haut.

### 6.4 L'HYGIÈNE

Les fruits infectés ou tombés au sol doivent être ramassés et directement compostés, pour limiter la reproduction des ravageurs. Les plantes malades sont enlevées avant que la maladie ne se propage et sont rapidement brûlées. Une inspection des signes de maladie doit s'effectuer une fois par semaine pendant les 2 premiers mois de culture. Les plantes montrant des signes d'infection doivent être immédiatement tuées et brûlées. Elles peuvent être remplacées par d'autres cultures. Si des signes d'infection virale apparaissent plus tardivement, la plante peut être conservée mais doit être marquée convenablement afin d'éviter d'en utiliser les moyens de propagation pour la saison suivante.

### 6.5 LES SEMENCES

Dans l'idéal, des semences de variétés résistantes aux maladies et aux ravageurs sont utilisées. Les semences hybrides ne sont pas adéquates car le système doit être autonome, une partie de la production doit pouvoir être utilisée comme semence les années suivantes. Les semences tubercules doivent être choisies parmi des gros tubercules sans signe de pourriture, dégât d'insecte ou de nématode. Les tubercules doivent être stockés à l'ombre et en hauteur (pas de contact avec le sol). Les pièces de tubercules d'igname et les boutures de manioc peuvent être traitées avec de la cendre. 150 g de cendres sont mélangés avec 8 l d'eau dans un seau. Les tubercules et boutures sont alors trempés durant 10 minutes puis séchés à l'ombre dans un lieu sec et aéré. Les informations sur la récolte, le stockage et la préparation des semences se trouvent au chapitre 9.

## 6.6 LES ANIMAUX

Les animaux peuvent être utilisés dans la lutte contre les ravageurs. Un envoi simultané de ruminants et de volailles permettra un surpâturage et une réduction des adventices. Les canards, notamment les canards coureurs, peuvent être envoyés en tout temps dans les champs. Ils vont se nourrir de nombreux insectes et n'endommageront que très peu les cultures. Les canards peuvent être enfermés sur une parcelle infectée pour combattre un ravageur en particulier. Les poulets grattent le sol et risquent de trop endommager une culture, ils ne sont donc pas adaptés à la lutte contre les ravageurs. Les chats peuvent être utilisés pour combattre les rongeurs et les oiseaux, autant dans les champs que dans les lieux de stockage.

## 6.7 LES ASSOCIATIONS DE CULTURES

Cultiver plusieurs plantes sur la même parcelle permet de réduire les risques de maladies et d'attaques de ravageurs pour les raisons suivantes :

- Discontinuité des ressources ([voir chap. 6.1](#))
- Plus grande diversité d'insectes, plus d'auxiliaires ([voir chap. 6.2](#))
- Certaines plantes secrètent des molécules qui attirent des auxiliaires. Elles peuvent être associées à des plantes sensibles aux attaques et maladies.
- Certaines plantes attirent les ravageurs et les écartent de la culture principale (culture piège), par exemple le pennisetum qui dévie les chenilles foreuses de tige des céréales (Khan et al., 1998a). Le pennisetum va attirer les ravageurs qui vont y pondre leurs œufs. Ceux-ci ne pourront pas éclore sur le pennisetum, c'est une plante piège.
- Certaines plantes secrètent des molécules qui repoussent de nombreux ravageurs différents (piment, gingembre, oignon, ail, tagète, capucine).
- Certaines plantes secrètent des molécules qui repoussent un ravageur précis d'une plante particulière. Par exemple, l'oignon planté en association avec la carotte repoussera la mouche de la carotte *Psila rosae* (Uvah & Coaker, 1984). Autre exemple, le desmodium planté avec le maïs repoussera les chenilles foreuses de tige (Khan et al., 1998b).
- En cas de destruction d'une culture par un ravageur, la culture associée pourra compenser cette perte.

Les associations de cultures fournissent d'autres avantages non liés à la lutte des ravageurs et des maladies :

- Une meilleure couverture du sol

- Une meilleure utilisation de l'espace et des ressources du sol
- Une diversification de la production. Des récoltes à différents moments.
- Un rendement plus élevé qu'une monoculture, si l'on combine la production des différentes plantes associées.

Ces points sont discutés au chapitre 7, où différents exemples d'associations, dont ceux mentionnés ci-dessus, sont décrits plus précisément.

## 6.8 LA CULTURE SOUS MOUSTIQUAIRE

Certaines cultures produisent des fruits délicats, dans lesquelles de nombreux ravageurs risquent de pondre leurs œufs, rendant les fruits peu appétissants (tomate, poivron, aubergine, fraise). Il peut être nécessaire de cultiver ces cultures sous protection. Une simple moustiquaire les recouvrant suffit, mais une serre mobile peut être plus pratique. La serre ne doit pas créer d'ombre ni d'accumulation de chaleur, elle doit être construite en moustiquaire. Un toit pour protéger de la pluie peut être envisagé afin de diminuer le risque de maladies fongiques.

Dans tous les cas, la culture sous moustiquaire est efficace si elle est combinée avec d'autres mesures :

- Installation de pièges à insectes
- Association avec des plantes répulsives
- Traitement répulsif

Une serre fixe n'est pas conseillée car elle limite les possibilités de rotations.

## 6.9 LES ROTATIONS

Le principe de rotation est une pratique primordiale de l'agroécologie, tout comme de n'importe quel système agricole voulant limiter son utilisation de pesticides. Le principe consiste à alterner les cultures sur un même champ d'exercices en exercices, d'années en années. Les avantages de cette pratique sont les suivants :

- Les ravageurs ou les maladies ayant infecté une culture ne pourront pas infecter la culture suivante, car il ne s'agira plus d'une plante hôte. Dans le cas de nombreux nuisibles, les moyens de reproduction (œufs, spores, etc.) ne survivent pas plusieurs années et ne peuvent pas lancer une nouvelle infection une fois que la culture initiale est remise sur la même parcelle.

## 6. CONTRÔLE DES RAVAGEURS ET DES MALADIES

- Le même principe est valable pour les adventices. L'alternance de cultures empêche une adventice particulièrement compétitive face à une culture précise, de s'installer durablement.
- L'intégration de cultures biofumigantes pour le contrôle des maladies terricoles (chapitre 6.10).
- La rotation de culture est primordiale pour conserver la fertilité du sol. Elle permet l'alternance de cultures exigeantes avec des cultures peu exigeantes, de cultures destructives avec des cultures régénératrices. Elle permet l'intégration de légumineuses et d'engrais verts (voir chapitre 4.3). Elle permet d'alterner les cultures nécessitant différents nutriments, et donc d'éviter l'épuisement d'un certain nutriment.

La rotation est probablement le moyen le plus efficace de contrôle des maladies et ravageurs à disposition dans une ferme agroécologique.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, il est essentiel de ne pas semer la même culture d'exercices en exercices ou d'années en années. Selon les espèces, une pause plus ou moins longue est nécessaire. Il est aussi nécessaire d'effectuer une pause entre des cultures de la même famille. Au sein d'une même famille, il est conseillé de commencer avec la culture la plus exigeante et la plus sensible. Il est parfois difficile de planifier une rotation de cultures associées. En effet, la diversité de cultures de différentes familles sur un même champ rend la tâche ardue lorsqu'il faut trouver des cultures d'autres familles pour les saisons

## 6.9.1 LES GRAMINÉES (CÉRÉALES, POACEAE)

Les graminées, à l'exception des fourragères telles le brachiaria et l'éleusine, sont relativement exigeantes, particulièrement en azote (N) et en phosphore (P). Les graminées ont un système racinaire profond et puissant, ce qui leur permet de recycler les nutriments des couches les plus profondes. Elles produisent une grande quantité de biomasse et peuvent donc provoquer un enrichissement de matière organique du sol si gérées convenablement.

suivantes. Pour élaborer une rotation efficace, il faut respecter les recommandations suivantes :

- Alternier les différentes familles et espèces, en respectant les pauses nécessaires et les pourcentages maximums (voir ci-dessous).
- Cultiver les espèces au sein d'une même famille dans l'ordre décroissant d'exigence et de sensibilité aux maladies et ravageurs.
- Alternier des cultures gourmandes avec des cultures peu exigeantes.
- Alternier des cultures destructives pour le sol avec des cultures régénératrices.
- Alternier des cultures avec de forts besoins en différents nutriments.
- Alternier des cultures selon leur morphologie : érigée vs rampante, souterraine (tubercule, racine, etc.) vs feuilles (salade, amarante) vs fruits (légumes, céréales, légumineuses).
- Toujours couvrir le sol. Si aucune culture n'est prévue, semer un engrais vert. En saison sèche, prévoir un engrais vert ou un paillage, ou laisser la culture après avoir récolté les graines.
- Prévoir un engrais vert tous les 4 ans au minimum.
- Planifier une biofumigation tous les 4 ans.

Les différentes familles de cultures, avec les caractéristiques nécessaires à l'élaboration d'une rotation réfléchie, sont présentées ici.

**Tableau :** Cultures principales de la famille des graminées. Les cultures sont indiquées dans l'ordre décroissant des cultures les plus exigeantes et sensibles. La colonne maximum indique la proportion maximale d'assolement dans la rotation. La colonne pause x/y indique le nombre d'années x de pause nécessaire dans une rotation de y années. Par exemple, 2/3 signifie que sur 3 ans, la culture ne doit pas être cultivée durant 2 ans.

Culture	Maximum [%]	Pause [année]
Céréales (sans fourragères)	50	1/2
Céréales (avec fourragères)	75	1/4
Riz	33	2/3
Blé	50	1/2
Maïs	40	3/5
Sorgo	25	3/4
Pennisetum	40	3/5
Fonio/Petit mil	25	3/4
Brachiaria	40	3/5
Eleusine	25	3/4

### 6.9.2 LES LÉGUMINEUSES (FABACEAE)

Les légumineuses, en particulier les fourragères, sont peu exigeantes, mis à part en phosphore. Ceci est dû à leur capacité à fixer l'azote et à mobiliser le phosphore du sol. Elles peuvent être utilisées pour enrichir le sol en azote (voir chapitre 4.3).

**Tableau:** Cultures principales de la famille des légumineuses. Les cultures sont indiquées dans l'ordre décroissant des cultures les plus exigeantes et sensibles.

Culture	Maximum [%]	Pause [année]
Légumineuses (sans fourragères)	50	1/2
Légumineuses (avec fourragères)	75	1/4
Soja	25	3/4
Pois	15	6/7
Niébé	25	3/4
Arachide	25	3/4
Haricot vert	25	3/4
Mucuna	25	3/4
Desmodium, pois cajan	50	1/2
Stylosanthes	50	1/2

### 6.9.3 LES CULTURES SOUTERRAINES : TUBERCULES, RACINES ET BULBES

Les cultures souterraines (igname, manioc, patate douce, pomme de terre, carotte, betterave, oignon, macabo, taro) impliquent un important retournement du sol : à la plantation (création de billons, buttes) et surtout lors de la récolte. De plus, à l'exception de la patate douce, ces espèces ont une croissance très lente et une faible couverture végétale. Les risques d'érosion, de lessivage et de perte de matière organique par décomposition dus à l'exposition à l'air sont donc très forts. Il est donc essentiel d'alterner les cultures souterraines avec des cultures régénératrices (engrais verts). Il est déconseillé de cultiver ces espèces plus de 1 année sur 4 (patate douce excepté). Si des mesures de protection du sol sont prises (paillage, agroforesterie, cultures associées), elles peuvent être cultivées une année sur deux. Les cultures souterraines appartiennent à différentes

familles, les pauses conseillées pour celles-ci doivent donc également être respectées.

### 6.9.4 LES LÉGUMES

**Tableau (page suivante):** Légumes principaux, leurs familles et les informations nécessaires relatives à la rotation. Les cultures sont indiquées dans l'ordre décroissant des cultures les plus exigeantes et sensibles. La durée nécessaire de pause est indiquée sur une période de 7 ans. Dans le cas où une famille/espèce est cultivée 2 exercices/2 saisons de suite, une pause de 2 ans doit suivre. La durée de pause doit être respectée entre cultures de la même famille et entre 2 cultures identiques. La colonne nutriments indique l'exigence en nutriments de la culture. La colonne produit indique le type de légume.

Famille	Espèces	Maximum [%]	Pause [année]	Nutriments	Produit
Apiacées	Carotte, céleri, persil	50	4/7		Feuille, Racine
Astéracées	Laitue, chicorée	50	4/7		Feuille
Brassicacées	Chou, radis, navet	50	4/7	NK	Feuille
Cucurbitacées	Courge, pastèque, melon, concombre, courgette	30	5/7	NK	Fruit
Alliacées	Ail, oignon, poireau	30	5/7		Bulbe, feuille
Malvacées	Bissap, gombo, corète	50	4/7		
Solanacées	Tomate	30	5/7	NK	Fruit
	pomme de terre	25	5/7	NK	Tubercule
	aubergine, poivron	50	4/7	NK	Fruit

**Attention**, la patate douce, même si elle ne fait pas partie de la famille des solanacées, est très proche de cette famille. Il est déconseillé de cultiver des solanacées après sa culture (pas de soucis dans l'autre sens).

## 6.10 LA BIOFUMIGATION

La biofumigation consiste à utiliser les substances toxiques secrétées par les racines d'une plante pour tuer les maladies terricoles et les nématodes. La plupart des plantes de la famille des Brassicaceae (choux, radis, navets, colza, moutarde) ont cette spécificité. Intégrer ces cultures dans les associations et dans les rotations permet de diminuer les maladies terricoles et les nématodes. Pour une meilleure efficacité, il est conseillé de cultiver dans la rotation une monoculture de brassicacées. La moutarde est très efficace. Les fleurs contiennent des substances qui tuent les nématodes. On sème la plante, puis après environ 2 mois la plante est coupée et les fleurs sont directement incorporées dans le sol (maximum 5 minutes après avoir été coupées). Lorsqu'elle est enfouie, la plante produit des gaz toxiques pour les nématodes et autres nuisibles. Alternativement, on peut faire cela avec des navets.

Le crotalaria est une légumineuse, mais a également le potentiel de supprimer des maladies terricoles. Il faut le faucher et l'incorporer avant la floraison. L'effet est de court terme, le crotalaria doit donc être cultivé juste avant les cultures à risque (légumes, igname, niébé).

## 6.11 LES TRAITEMENTS NATURELS

En cas d'attaque de ravageurs ou de maladies, certains traitements naturels produits avec les ressources du système sont possibles. Il faut faire attention, car certains produits naturels peuvent être très toxiques. Pour cette raison, les produits à base

de tabac ne sont pas conseillés. Les traitements proposés sont des répulsifs plus que des pesticides. Ils doivent être directement appliqués sur les plantes pour tenir les ravageurs éloignés de celles-ci. Les ravageurs ne seront probablement pas exterminés par le produit, mais les auxiliaires survivront également, ce qui ne serait pas le cas après une application d'insecticide.

En cas d'attaque de ravageurs, on traite avec des macérations naturelles 1 fois par semaine. Utiliser 3 fois un traitement, puis changer de traitement. Les traitements peuvent être combinés pour plus d'efficacité. Si le traitement n'est pas efficace, essayer directement un autre traitement. En cas de pluie, traiter à nouveau.

### MACÉRATION AIL

Piler des gousses d'ail. Mélanger 2 cuillères à soupe de poudre d'ail avec 10 l d'eau. Laisser macérer 12 h. Mélanger 1 l de macération d'ail avec 2 l d'eau savonneuse (3 bouchons de savon + 4 l d'eau). Pulvériser 1 l sur 10 m<sup>2</sup> de culture. Efficace contre puceron, acarien et mouches.

### MACÉRATION PIMENT

Identique à l'ail en utilisant le piment broyé. Efficace contre insectes suceurs et piqueurs, chenilles, grillons et criquets.

### COCKTAIL

1 kg de chaque ingrédient : ail, gingembre, piment, feuilles de neem écrasés à laisser macérer dans 20 l d'eau. Au bout d'une semaine pulvériser 1 l du produit dans 15 l d'eau. Efficace contre de nombreux insectes.

### MACÉRATION TOMATE

Broyer et laisser macérer 200 g de feuilles dans 1 l d'eau durant 12 h. Filtrer et ajouter 1 ml de savon. Pulvériser 3 l par m<sup>2</sup>. Efficace contre insectes et maladies fongiques.

### MACÉRATION PAPAYE

Piler 1 kg de feuilles de papaye et mélanger avec 10 l d'eau. Ajouter un peu d'argile, fermer le récipient en laissant une entrée d'air. Laisser fermenter 15 jours puis filtrer. Pulvériser 1 l par 10 m<sup>2</sup>. Efficace contre maladies fongiques (oïdium et rouille)

### MACÉRATION TAGÈTE

Faire macérer les fleurs et feuilles de tagète. À utiliser principalement contre les mouches blanches, les noctuelles et les cicadelles.

### MACÉRATION DE FEUILLES DE NEEM

3 kg de feuilles de neems pilées + 10 l d'eau + 30 g de savon, laisser macérer 24 heures Filtrer puis pulvériser sur les feuilles comme répulsif. Il s'agit un répulsif généraliste contre les ravageurs. Le résidu des feuilles est appliqué aux pieds des cultures comme engrais et nématicide.

### HUILE DE NEEM

Broyer 2,5 kg de grains de neem. Laisser macérer 12 h dans 10 l d'eau puis filtrer. Mélanger avec 5 l d'eau savonneuse et pulvériser. À utiliser en cas d'échec des autres traitements contre un ravageur. À utiliser avec précaution et sur des plantes humides (risque de brûlure).

### POUDRE DE NEEM

Broyer écorces et graines de neem, mélanger avec de l'eau et laisser infuser 1 jour. Ajouter du savon puis appliquer 2 l par pied d'arbre ou par m<sup>2</sup>. À utiliser contre les ravageurs dans le sol comme les termites, particulièrement pour protéger les jeunes pousses d'arbres et parfois les cultures.

### LAIT

À utiliser pour traiter l'oïdium sur les légumes. Mélanger 50 % de lait et 50 % d'eau pour traiter les plantes infectées, 20 % de lait 80 % d'eau pour traiter les plantes environnantes en préventif.

### PIÈGE POUR INSECTES

En cas d'épidémie de ravageurs, des pièges à insectes sont installés autour des cultures infectées. Il peut s'agir soit de bouteilles en PET contenant une boisson sucrée, soit de pièges collants à l'aide de papaye ou banane écrasée. Ce traitement est surtout efficace à l'intérieur d'une serre rustique.



## **7. LES ASSOCIATIONS CULTURALES**

**Ce chapitre décrit précisément les possibilités d'association de culture en Afrique tropicale, autant des cultures maraichères, céréalières, sous-terraines que des cultures pérennes. L'agroforesterie est de ce fait présentée dans ce chapitre.**

## 7.1 GÉNÉRALITÉS

L'association de cultures fournit de nombreux avantages :

- Discontinuité des ressources (voir ch. 6.7)
- Biodiversité : attraction d'auxiliaires (ch. 6.7), de pollinisateurs et d'organismes bénéfiques
- Effets répulsifs ou pièges de certaines plantes (ch. 6.7)
- Une meilleure couverture du sol : une culture rapide (haricot) est cultivée en association avec une culture lente (maïs, igname) et va couvrir le sol en attendant que la culture lente grandisse assez ; une culture rampante est cultivée avec une culture érigée, optimisant la couverture du sol.
- Une meilleure utilisation de l'espace : combinaison de plantes érigées, rampantes et grimpantes. Utilisation de tuteurs vivants (maïs, arbres) pour des cultures grimpantes (haricot, igname).
- Une meilleure utilisation des ressources du sol. Une plante exigeante en P est plantée en association avec une plante exigeante en N. Une plante avec un système racinaire profond est associée à une plante avec un système racinaire superficiel.
- Une diversification de la production. Des récoltes à différents moments. Rendement alternatif en cas d'échec d'une des cultures en production.
- Un rendement plus élevé qu'une monoculture, si l'on combine la production des différentes plantes associées. Le rendement d'une seule culture est en général plus bas qu'en monoculture, car la densité de plantation est plus faible pour faire place aux plantes associées.

Ces avantages se résument par une complémentarité des espèces associées, ainsi que par une facilitation d'une des espèces par rapport à l'autre (Hinsinger et al., 2011). La complémentarité se définit comme la réduction de la compétition entre les espèces, par une utilisation différente des ressources. La facilitation signifie qu'une espèce promeut la croissance et la survie de l'autre, soit par des mécanismes positifs directs : altération de la lumière, de l'humidité du sol, des nutriments du sol, etc. ; soit par des mécanismes indirects : changements bénéfiques dans la microbiologie ou la chimie du sol. Ces interactions sont les plus efficaces dans des systèmes extensifs, où les plantes sont limitées et bénéficient donc de l'aide des autres.

Pour évaluer l'efficacité d'une association, on mesure le dénommé « Land Equivalent Ratio (LER) ». Il s'agit de la surface relative nécessaire en monoculture pour produire la quantité produite avec l'association. Par exemple, un LER de 1,2 pour une association haricot-maïs signifie qu'il faut 1,2 hectare de monoculture pour produire la même quantité sur 1 hectare en association. Le LER se calcule de la manière suivante :

$$\text{LER} = \frac{\text{Rendement culture A}_{\text{associée}}}{\text{Rendement culture A}_{\text{monoculture}}} + \frac{\text{Rendement culture B}_{\text{associée}}}{\text{Rendement culture B}_{\text{monoculture}}} + \frac{\text{Rendement culture C}_{\text{associée}}}{\text{Rendement culture C}_{\text{monoculture}}}$$

Exemple, le rendement du maïs associé au haricot est de 3 t/ha, le haricot de 1,5 t/ha. Le rendement du maïs en monoculture est de 5 t/ha, du haricot de 2 t/ha. Le LER est de :

$$\text{LER} = \frac{3 \text{ t/ha}}{5 \text{ t/ha}} + \frac{1,5 \text{ t/ha}}{2 \text{ t/ha}} = 1,35$$

Pour résumer, un LER égal à 1 signifie qu'il n'y a aucun avantage de l'association sur le rendement. Un LER inférieur signifie que la monoculture est plus productive que l'association, alors qu'un LER supérieur signifie l'inverse. Le LER évalue uniquement le rendement et pas les autres avantages liés aux cultures associées !

Ce chapitre décrit certaines associations parmi les plus efficaces dans l'agriculture tropicale.

## 7.2 LES ASSOCIATIONS CÉRÉALE-LÉGUMINEUSE

Les graminées et les légumineuses se complètent de manière remarquable. Leur complémentarité est connue et cette association pratiquée depuis des millénaires dans presque toutes les régions du monde : blé-pois et orge-pois dans la zone méditerranéenne, maïs-arachide et maïs-haricot en Amérique du Sud, sorgo-pois de terre en Afrique subsaharienne. Cette association est également le composant principal de nombreux écosystèmes naturels, principalement les prairies, que ce soit sous un climat tempéré, aride ou tropical.

Les raisons de cette complémentarité sont les suivantes :

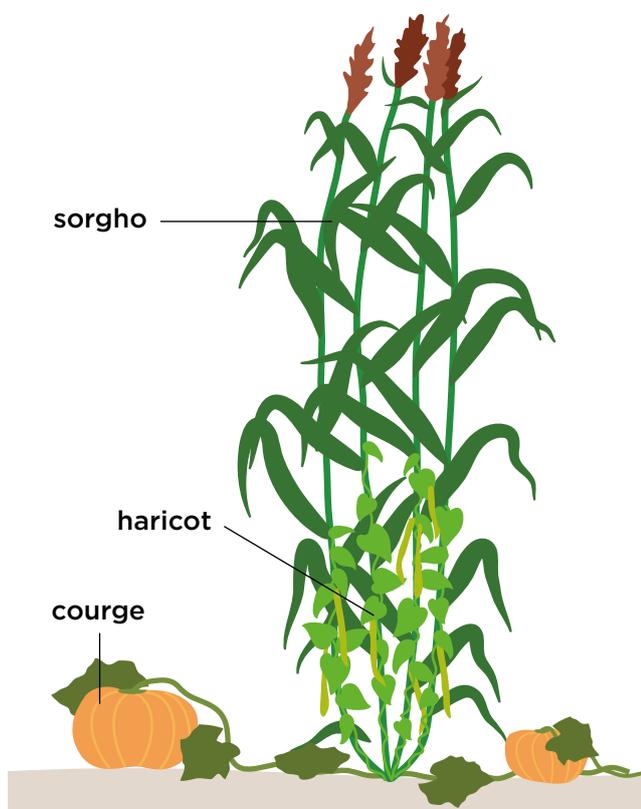
- Complémentarité dans l'espace : graminée cultivée avec légumineuse buissonnante ou rampante.
- Complémentarité des systèmes racinaires : puissant, profond pour les graminées, plus superficiel pour les légumineuses.
- Complémentarité dans l'utilisation de l'azote. Les graminées ont une meilleure efficacité d'absorption de l'azote, ce qui réduit l'azote disponible pour la légumineuse. Ceci va donc promouvoir la fixation biologique d'azote.
- Complémentarité dans l'utilisation du phosphore. Les légumineuses sont capables de sécréter de grandes quantités de protons, de carboxylases et de phosphatases (Hinsinger et al., 2011). Ces molécules dissolvent les molécules de phosphate fixées à la matière organique ou dans les particules minérales du sol, et les rendent disponibles pour les deux cultures.

## Possibilités d'associations graminée-légumineuse

Graminée	Densité [cm x cm]	Légumineuse	Densité [cm x cm]
Maïs	100 x 40	Soja	100 x 5
	80 x 40	Arachide	80 x 30
	100 x 40	Niébé	100 x 25
	100 x 40	Haricot vert	100 x 20
Sorgo	80 x 20	Arachide/Pois de terre	80 x 30
	100 x 20	Niébé	100 x 25
	100 x 20	Haricot vert	100 x 20
Blé	50 x 3	Pois chiche	50 x 10
Orge	25 x 30	Pois	25 x 3

### 7.2.1 LES TROIS SŒURS : HARICOT, MAÏS, COURGE

Association sorgho, haricot et courge



L'association dite des trois sœurs, ou la milpa, est une association traditionnelle des mayas en Amérique centrale. Elle combine le maïs, le haricot grimpant et la courge. Les avantages sont encore plus nombreux que l'association simple graminée-légumineuse. Le haricot grimpant peut utiliser le maïs comme tuteur vivant. Ceci permet de cultiver le maïs à une densité identique à la monoculture, tout en produisant des haricots en plus. L'ajout de la courge, qui peut être remplacée par une autre cucurbitacée rampante (melon, pastèque), permet d'optimiser la couverture du sol. La complémentarité dans l'espace est très grande entre le maïs érigé, le haricot grimpant et la courge rampante. Le maïs peut être remplacé par une céréale comme le sorgho ou le fonio.

Timing :

- Préparer les plantons de courge 3 semaines avant le semis prévu.
- Semer le maïs et transplanter les courges.
- Semer le haricot grimpant 1 semaine après.

Espacement :

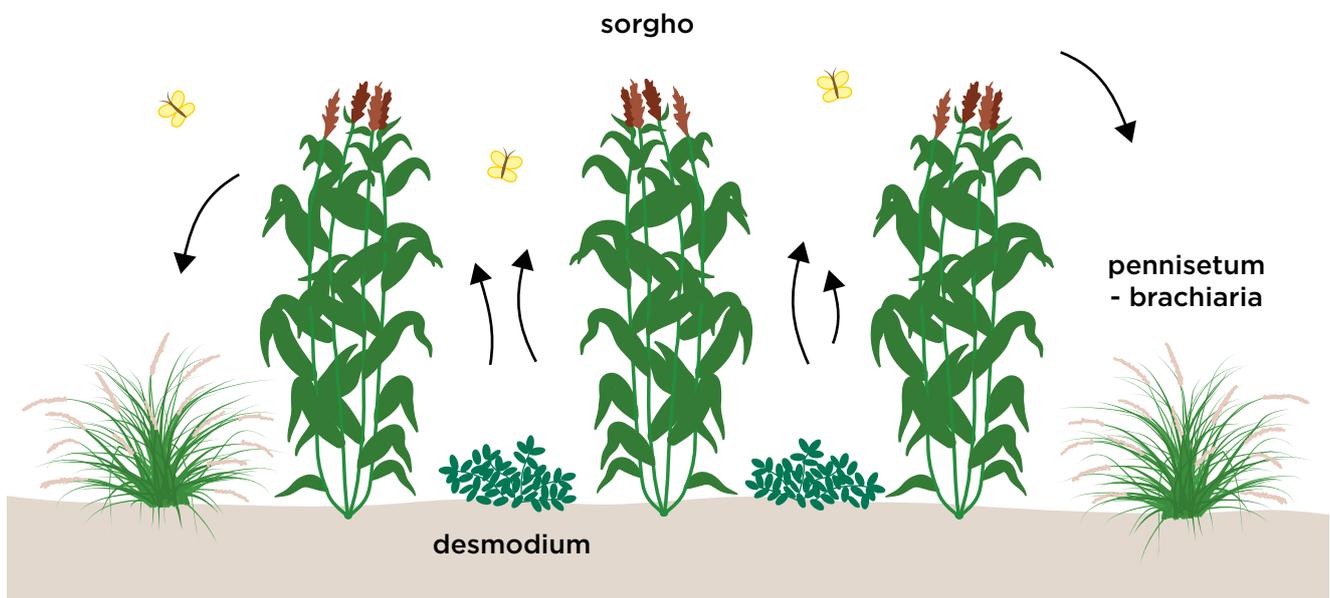
- Maïs : 75 cm x 40 cm
- Haricot grimpant : 75 cm x 20 cm
- Courge : 75 x 250 (remplace localement un haricot)

### 7.2.2 LE PUSH-PULL POUR LE CONTRÔLE DES RAVAGEURS ET DU STRIGA DANS LES CÉRÉALES

La technique du push-pull consiste à repousser (push) les ravageurs du champ en associant des plantes répulsives à la culture et à les attirer en dehors du champ avec des plantes attirantes (pull). Le contrôle de la pyrale et de la chenille légionnaire dans les céréales (maïs, sorgho, mil, fonio) peut s'effectuer grâce à ce système. Un sous-semis de desmodium repousse les ravageurs, et une rangée de pennisetum plantée autour du champ les

attire et les piège. Le desmodium est une légumineuse fourragère de qualité, le pennisetum, une graminée fourragère de qualité. Les avantages intrinsèques à ces familles de plantes ont été discutés au chapitre précédent. Le desmodium a également l'avantage de causer une germination suicide des graines de l'herbe des sorcières (*Striga asiatica*). Elle permet donc de contrôler les dommages de cette herbe parasite et même de nettoyer le sol de ses semences. Le brachiaria peut être utilisé en lieu et place du pennisetum. Sa résistance à la sécheresse le rend plus adapté à la mise en place d'un système push-pull en milieu aride.

Système push-pull avec sorgho, desmodium et pennisetum



Timing, installation, densité et gestion :

- Planter les boutures de pennisetum au minimum 2 semaines avant la date de semis prévue. Planter 1 à 2 rangées selon la taille du champ (2 à partir d'un hectare). La distance de plantation est de 75 cm x 75 cm. Le pennisetum se plante à l'aide de boutures à 3 nodules, 2 nodules devant être enterrés avec un angle de 45°. Les boutures doivent provenir de la base des tiges de plantes moyennement matures.
- Semer le maïs en lignes (75 cm x 40 cm). Laisser 1 m entre la dernière rangée de pennisetum et la première rangée de maïs.
- Semer le desmodium entre les lignes de maïs. Ouvrir une fente de 2-3 cm de profondeur. Mélanger 500 g de semences avec 1 kg de sable puis semer à la volée dans la fente.
- Le desmodium et le pennisetum peuvent être récoltés comme fourrage à partir du troisième mois. Une coupe par mois est possible ensuite. Ils peuvent également être utilisés comme paillage ou être compostés.
- Après la récolte du maïs, il est possible soit d'effectuer un deuxième cycle de maïs, soit de laisser le desmodium recouvrir la parcelle comme fourrage/engrais vert.
- Le pennisetum est difficile à éradiquer. Il est donc conseillé de le laisser comme haie entre les parcelles.
- Le même système est réalisable avec du sorgho, petit mil ou fonio.

### 7.2.3 RIZ PLUVIAL ET STYLOSANTHES

L'association riz-stylosanthes permet la culture du riz pluvial sur des sols très infertiles. Il est adéquat pour une régénération d'un sol dégradé tout en produisant du riz. En effet, l'importante fixation d'azote et la production de biomasse du stylo permettra la création de la fumure nécessaire à la fertilisation du riz et à l'enrichissement du sol. Le stylo limitera également l'érosion et protégera le sol. Pour finir, cette association est idéale pour une couverture du sol et une production de fourrage en saison sèche. Le stylo a l'avantage de rester vert en saison sèche, et s'il n'est pas surpâturé, peut recouvrir le sol et produire du fourrage toute l'année.

#### Espacement riz :

Doubles rangs espacés de 40 cm, 20 cm x 20 cm  
(3-5 graines par poquet)

#### Espacement stylosanthes :

60 cm x 30 cm (7-12 graines par poquet)

Faucher régulièrement les tiges du stylo pour laisser de la place au riz. Donner le stylo frais à manger au bétail. Après la récolte du riz, laisser le stylo s'étendre librement sur toute la parcelle, faucher régulièrement (tous les 2 mois) pour nourrir le bétail, ne pas faucher plus bas que 20 cm au risque de blesser la plante. Un mois avant le semis de la culture suivante, le stylosanthes entier est fauché à la machette en déroulant la couverture comme un tapis.

### 7.2.4 FOURRAGÈRES

Pour le semis de zone de pâturage, ou pour le semis d'engrais vert dans une rotation, il est avantageux d'associer des espèces fourragères légumineuses et graminées. En général, il est conseillé de semer entre 50 et 70 % de graminées et entre 30 et 50 % de légumineuses (voir ch. 8.1)(Mosimann, Lehmann, & Rosenberg, 2000).

### 7.3 LES ASSOCIATIONS DE LÉGUMES

Les espèces présentées ci-dessous sécrètent des odeurs qui repoussent de nombreux ravageurs. Elles ne sont généralement pas spécifiques à un certain insecte. Il est conseillé d'intégrer ces cultures répulsives aux associations de légumes.

- Oignon, ail et autres alliées : Leur odeur repousse de nombreux insectes. Leur petite taille et leur lente croissance rend leur association difficile avec de grandes plantes comme les solanacées. Elles sont donc idéales à associer avec d'autres petites cultures peu compétitives, comme la carotte, le céleri ou la betterave.
- Gingembre, curcuma.
- Menthe.
- Citronnelle : Très fort répulsif contre de nombreux insectes.
- Tagète (œillet d'inde), capucine : Ces fleurs ont un effet répulsif contre les mouches blanches, les noctuelles et les cicadelles. Elles peuvent être associées aux solanacées pour protéger celles-ci contre les ravageurs. Cette association ne suffit généralement pas à contrôler les ravageurs et des mesures supplémentaires doivent être prises : culture sous serre et piège à insecte.
- Herbes aromatiques (lamiacées) : basilic, thym, origan, sarriette.

Bien qu'il y ait des spécificités à certaines espèces, les observations générales suivantes peuvent faciliter la planification des associations potagères :

- Les alliées (ail, oignon) protègent les apiacées (carotte, céleri).
- Les alliées ont un impact négatif sur les légumineuses.
- Les brassicacées ont un impact négatif sur les rosacées (fraise).
- La tagète et la capucine protègent les solanacées et les brassicacées.
- Les herbes aromatiques (lamiacées) protègent presque tous les légumes.
- Les associations au sein de la même famille sont très rarement favorables.

## 7. LES ASSOCIATIONS CULTURALES

Tableau d'association des légumes

	Ail	Aubergine	Basilic	Betterave	Capucine	Carotte	Céleri	Chou	Concombre	Courge	Courgette	Gombo	Haricot	Laitue	Melon	Oignon	Persil	Poireau	Pois	Poivron	Pomme de terre	Radis	Tagète	Tomate
Ail																								
Aubergine																								
Basilic																								
Betterave																								
Capucine																								
Carotte																								
Céleri																								
Chou																								
Concombre																								
Courge																								
Courgette																								
Gombo																								
Haricot																								
Laitue																								
Melon																								
Oignon																								
Persil																								
Poireau																								
Pois																								
Poivron																								
Pomme de terre																								
Radis																								
Tagète																								
Tomate																								

■ Association positive    
 ■ Association négative    
  Association neutre  
■ Association de culture de la même famille neutre

## 7.4 ASSOCIATIONS DE PLANTES SOUTERRAINES

### 7.4.1 LES ASSOCIATIONS DU MANIOC

Le manioc est une culture très lente (10-14 mois jusqu'à la première récolte). Les premiers mois de culture, le sol est nu et une importante érosion ainsi qu'une minéralisation de la matière organique se produisent. Pour couvrir le sol durant cette période et obtenir une récolte alternative avant la récolte du manioc, différentes cultures peuvent être plantées en association avec le manioc (densité : 1 m x 1 m).

- Poivron ou piment (1 m x 0,30 m) : La culture du poivron entre les rangs de manioc permet une récolte supplémentaire sans limiter le rendement du manioc (Olasantan, Salau, & Onuh, 2007). Les plantons (2-3 semaines) sont transplantés au moment de la plantation du manioc et protègent le sol.
- Légumineuses : La culture de légumineuse en association avec le manioc permet une bonne et rapide couverture du sol, une fertilisation en azote et une production supplémentaire de protéines. On peut cultiver 2 lignes d'haricot vert ou d'arachide (33 cm x 20 cm) entre les lignes de manioc sans diminution du rendement de ce dernier (Pypers, Sanginga, Kasereka, Walangululu, & Vanlauwe, 2011). L'espacement du manioc peut

## 7. LES ASSOCIATIONS CULTURALES

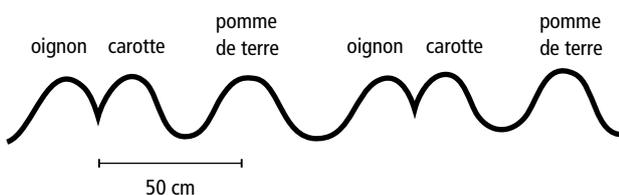
être modifié à 2 m x 0,5 m, ce qui permet de réaliser 2 cycles de légumineuses durant la culture du manioc, toujours sans réduire son rendement. On cultive, durant le premier cycle, 4 rangées d'arachide ou d'haricot entre les lignes de manioc (40 cm x 20 cm), puis 2 rangées durant le deuxième cycle (33 cm x 20 cm). L'association avec le soja ou le niébé risque de diminuer le rendement du manioc du fait de leur trop forte compétitivité.

- Stylosanthes: cette légumineuse permet une excellente couverture du sol et production de fourrage. Elle doit être régulièrement taillée pour éviter une trop forte concurrence avec le manioc. Deux lignes de stylo sont plantées (30 cm x 30 cm) entre les lignes de manioc.
- Agroforesterie (AGF): le manioc est une culture cultivable en semi-AGF ou en AGF (voir ch. [7.4-7.5](#)).

### 7.4.2 IGNAME, COURGE

L'igname, similairement au manioc, est une culture lente, couvrant peu le sol (en début de culture principalement), qui implique un important retournement du sol. Un apport de matière organique et une rotation avec une céréale peuvent ne pas suffire à empêcher une perte de matière organique (Schneider, 2018). L'association avec une culture rampante recouvrant le sol, comme la courge ou certaines autres cucurbitacées, permet donc de limiter l'érosion et la minéralisation de la matière organique. Olasantan (2007) a observé une diminution de l'enherbement de 52 %, une diminution de la température du sol, une augmentation de l'humidité du sol et de la présence de vers de terre en associant ces 2 cultures. Le rendement de l'igname était même plus haut qu'en monoculture, et cela malgré la compétition de la courge.

Association igname et courge au Cameroun



L'igname est cultivé sur des buttes de 0,50 m à une densité de 1 m x 1 m. La courge est cultivée entre les buttes à une densité de 1 m x 1 m. On peut remplacer la courge par une autre cucurbitacée: melon, pastèque, concombre. L'igname est également une culture adaptée à l'AGF ou la semi-AGF (voir ch. [7.4-7.5](#)).

### 7.4.3 POMME DE TERRE, OIGNON ET CAROTTE

L'oignon a un effet répulsif qui protège la carotte et la pomme de terre. La carotte a un effet répulsif qui protège l'oignon. Les billons d'oignon permettent également une discontinuité des ressources ce qui a pour effet de limiter l'expansion des maladies fongiques.

**Espacement billons:** 50 cm

**Espacement oignon-carotte:** 20 cm

**Espacement sur la ligne:**

Pomme de terre: 30 cm, Carotte: 3 cm, Oignon: 10 cm

Association carotte-oignon au Mali



## 7.5 LA SEMI-AGROFORESTERIE

La semi-agroforesterie consiste à associer des cultures annuelles à des cultures pérennes. Au contraire de l'agroforesterie, il s'agit d'un système forestier provisoire et non permanent. Les pérennes choisies sont à croissance rapide, de manière qu'en moins d'une année elles remplissent leur rôle d'arbre: ombre, protection contre la pluie et enracinement. Ces pérennes ont souvent une courte vie: après quelques années (2 à 5 ans), elles sont enlevées et le système peut être reconverti en un assolement d'annuelles uniquement.

Ce type de système est idéal pour cultiver tubercules et racines: igname, manioc, taro etc. Les cultures pérennes protègent le sol et limitent les dangers d'érosion et de minéralisation causés par ces cultures. L'ombre n'est par ailleurs que partielle, au contraire de l'agroforesterie, et permet donc une bonne croissance des

## 7. LES ASSOCIATIONS CULTURALES

annuelles également. Pour finir, les pérennes servent de tuteur pour les plantes grimpantes (igname, haricot ou autres). Les avantages de la semi-agroforesterie sont les suivantes :

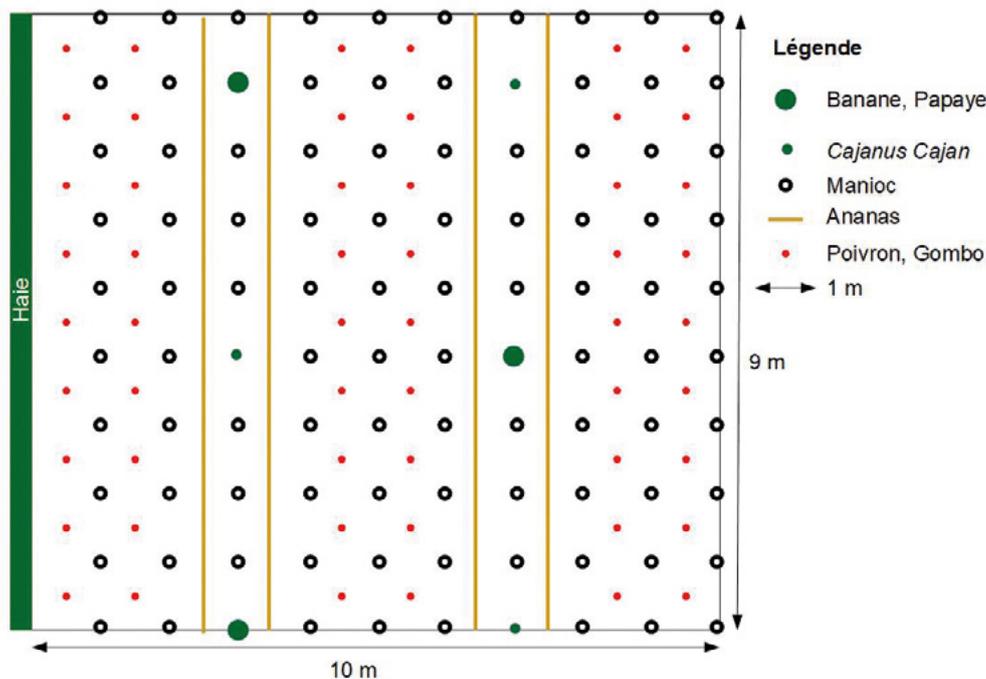
- Utilisation optimale de l'espace.
- Bonne couverture du sol et forte limitation de l'érosion. La culture sur plusieurs strates permet l'interception des gouttes de pluie.
- Protège les cultures du vent et des aléas climatiques.
- Fournit de nombreux refuges pour les auxiliaires.
- Limite l'évaporation.
- Forte productivité des annuelles car l'ombre n'est que partielle. Privilégier tout de même des cultures appréciant ou supportant l'ombre : igname, taro, patate douce, fraise et baies.

- Facile à gérer. La remise en culture annuelle est très rapide, l'installation également.

Les cultures pérennes pouvant être utilisées en semi-agroforesterie sont les suivantes :

- Fruitières : Papaye, banane, plantain, ananas.
- Fourragers : Pois cajan, moringa ou autre arbuste légumineux rapide.

Une distance de plantation adéquate pour les cultures pérennes est de 4 m x 4 m. Le plan ci-dessous montre une proposition de champ en semi-agroforesterie avec des bananiers, papayers et pois cajan plantés à un espacement de 4 m x 4 m. En plus de cela, des rangées d'ananas sont plantées perpendiculairement à la pente pour limiter l'érosion. Les espaces restants sont occupés par les annuelles : cette année du manioc, du poivron et du gombo.



Les annuelles associées à ces pérennes doivent suivre une rotation comme sur un champ d'annuelles normal. Il est conseillé de commencer par des cultures profitant du soleil (maïs) avant que les pérennes ne créent de l'ombre. Un exemple de rotation serait :

- Année 1 : Maïs puis légumes
- Année 2 : Igname et courge
- Année 3 : Manioc et poivron
- Année 4 : Patate douce

7. LES ASSOCIATIONS CULTURALES

Les photos ci-dessus montrent une parcelle en semi-agroforesterie au sein d'un système agroécologique. Les pérennes sont le plantain, la papaye et le pois cajan. Cette année-là, les annuelles sont l'igname et la courge.



## 7.6 L'AGROFORESTERIE

L'agroforesterie est la culture des arbres pour la production de bois ou de nourriture, en association avec des cultures annuelles ou de l'élevage. Une multitude d'aménagements agroforestiers existent, selon les besoins des paysans et les contraintes du milieu. Les avantages de l'agroforesterie sont les suivants :

- Augmente la fertilité et améliore la structure du sol.
- Limite l'érosion.
- Favorise l'infiltration de l'eau.
- Conserve l'humidité de la parcelle.
- Produit du bois.
- Permet la production de fourrage, fruits, plantes médicinales, miel et autres produits.
- Protège les cultures du vent.
- Sert de refuge aux insectes bénéfiques.
- Interactions positives entre les cultures associées.
- La lumière et l'espace sont utilisés de manière optimale.
- Faible main d'œuvre d'entretien.

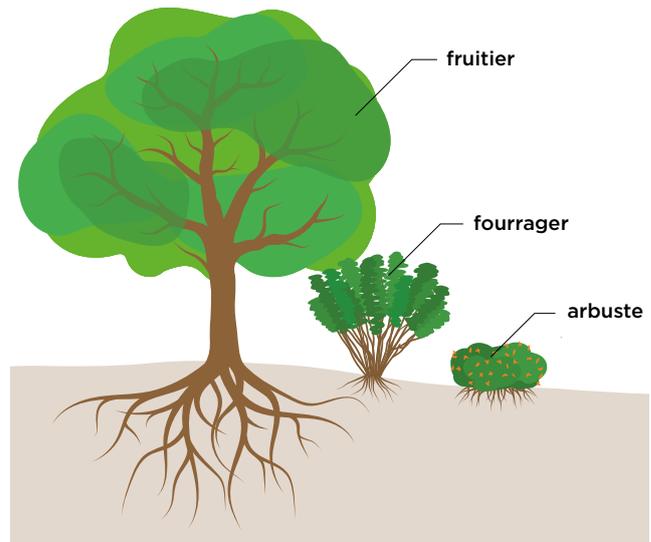
Au contraire de la semi-agroforesterie, il s'agit d'un système permanent. Il faut compter plusieurs années (4 à 10 ans) jusqu'à ce que le système soit installé. Il n'est donc pas possible d'intégrer des parcelles d'agroforesterie dans une rotation.

L'agroforesterie consiste à associer diverses sortes de cultures pérennes en recherchant une complémentarité entre celles-ci. On peut par exemple associer :

- Des arbres fruitiers avec des arbres fourragers et des arbres à bois.

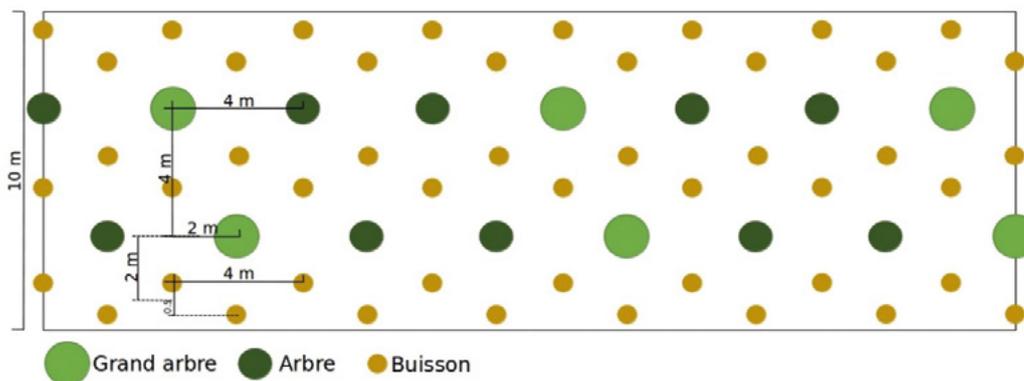
- Des systèmes racinaires profonds avec des systèmes racinaires superficiels.
- Des arbres à croissance rapide durant l'installation avec des arbres plus lents qui prendront le relais.
- Des arbres de différentes tailles : système des strates.

Association d'arbres de différentes tailles sur 3 strates



En plus des cultures pérennes, il est possible d'associer des annuelles soit durant la phase d'installation avant que l'ombre soit trop forte, soit des cultures appréciant l'ombre une fois le système installé. Il est également possible d'utiliser les parcelles d'agroforesterie comme surfaces de pâturage. Il est possible de semer des cultures fourragères comme couverture du sol une fois les arbres installés : arachide pérenne, desmodium et diverses graminées. Les animaux peuvent ensuite y pâturer et se nourrir des arbres fourragers ainsi que de la couverture végétale du sol.

Exemple de plan d'un système d'AGF pour un climat aride. Les espèces sont ensuite choisies parmi des fruitiers et des fourragers.



## 7.7 LES HAIES VIVES

Une pratique de l'agroforesterie consiste à planter des haies autour des parcelles. Les haies fournissent les avantages suivants :

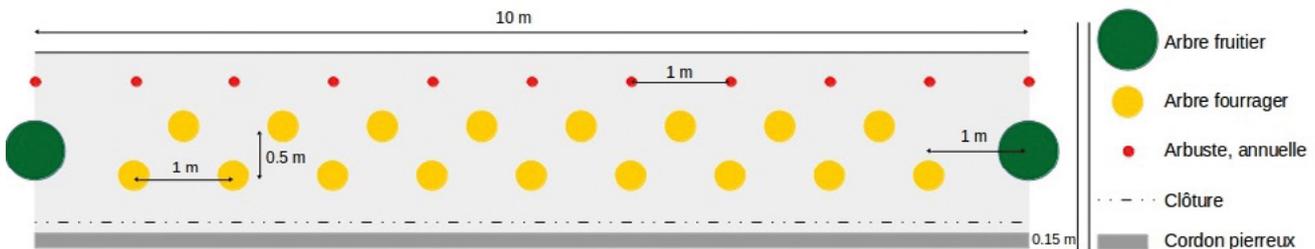
- Protection des cultures face au vent, aux aléas climatiques et aux ravageurs.
- Refuge pour des insectes bénéfiques: prédateurs auxiliaires et pollinisateurs.
- Production de fourrage de qualité.
- Barrière naturelle contre la divagation des animaux.
- Réduction de l'érosion. Pour cela, elles doivent être plantées perpendiculairement à la pente sur les courbes de niveau.

Elles sont constituées idéalement d'arbres à croissance rapide légumineux pour permettre une installation rapide et pour fournir un input d'azote dans le système. Il est possible d'y ajouter quelques arbres fruitiers. Elles peuvent être conçues en plusieurs strates (voir ch. 7.5).

Jeune haie vive au Burkina Faso



Exemple de plan d'une haie en 3 strates



### STRATE 1: ARBRES FRUITIERS

Les plants d'arbres fruitiers sont préparés en pépinières, puis transplantés lorsqu'ils sont robustes. On taille les arbres fourragers pour permettre aux arbres fruitiers de surplomber la haie et de produire leurs fruits.

Exemple: Mangue, agrumes, avocat, palmier, goyavier

### STRATE 2: ARBRES FOURRAGERS

Arbres à croissance rapide (plusieurs mètres par an), avec haute production de feuillages. La plupart de ces arbres sont des légumineux et vont contribuer à l'enrichissement en azote du

système. Exemple: *Gliricida sepium*, *Sesbania sesban*, *Cajanus cajan*, *Leucaena leucocephala*, *Calliandra*, *Acacia*, *Eucalyptus*, *néré*, *neem*, *moringa*.

### STRATE 3: ARBUSTES ET ANNUELLES

Au pied des haies, des cultures qui apprécient l'ombre et qui peuvent servir à attirer des insectes bénéfiques ou repousser des ravageurs sont plantées.

**MISE EN PLACE DE LA HAIE VIVE :**

- Protéger les jeunes pousses des animaux à l'aide d'une clôture en barbelé.
- Semer d'abord les arbres fourragers.
- Désherber régulièrement les premières semaines, puis occasionnellement la première année.
- Tailler les arbres fourragers à une hauteur de 1,50-2 m, utiliser les feuilles comme fourrage. Tailler plus bas les haies au sud de la parcelle pour limiter l'ombre.
- Transplanter les plants d'arbres quand la haie a atteint une hauteur de 1,5 -2 m.
- Tailler les arbres fourragers pour laisser de l'espace aux fruitiers, ne pas tailler les fruitiers.
- Planter les arbustes aux pieds des arbres quand la haie a atteint une hauteur de 1,5-2 m.

## 8. L'ÉLEVAGE

Ce chapitre aborde le rôle des animaux dans un système de production agroécologique, en se concentrant sur leur rôle pour le recyclage des biomasses, la production de fumure et la gestion des ravageurs. Différentes pratiques agroécologiques pour leur nutrition et leur santé sont évoquées.

L'élevage d'animaux est quasiment essentiel au fonctionnement d'un système de production agroécologique. Les animaux permettent la valorisation de biomasses (haies, engrais verts, biomasse de culture) en produits alimentaires (œufs, lait, viande et autres) et en fumure. Ils permettent le recyclage de nombreux nutriments, transformant rapidement ceux-ci en une forme assimilable pour les plantes. Grâce aux animaux, il est possible de produire un engrais azoté réactif à partir de biomasses de légumineuses, et donc de se passer d'intrants externes. La non-utilisation d'animaux rend difficile le fonctionnement du système en circuit fermé (sans apport d'engrais externe). Sans les animaux, les nutriments présents dans les excréments humains doivent être complètement recyclés, et les biomasses transformées par compostage.

L'élevage en agroécologie est majoritairement extensif. Son rôle premier est la valorisation des biomasses et la production de fumure. L'agroécologie n'est pas adaptée à une production intensive, les animaux étant nourris principalement avec des fourrages non comestibles pour l'homme : herbage, déchets de cuisine, déchets de culture ; ou par la chasse d'insectes sauvages. Les animaux doivent être suffisamment nourris pour produire une fumure de qualité.

## 8.1 LA NUTRITION DES RUMINANTS

Les ruminants (moutons, chèvres, bœufs) ont la capacité de digérer des fourrages grossiers : herbe, biomasses de légumineuses, biomasses de cultures, foin, etc. Ils peuvent être nourris avec les biomasses des haies (moringa, arbres légumineux et autres), les biomasses des engrais verts (stylosanthes, desmodium, brachiaria, éleusine, pennisetum), les biomasses des cultures associées (pennisetum, desmodium), les biomasses des cultures (patate douce, haricot/niébé/soja) et par le pâturage.

Le fourrage grossier peut leur être apporté de 3 manières différentes :

**Le « cut and carry » :** La biomasse est fauchée et apportée fraîche aux ruminants. Ceci permet de garder les animaux dans l'étable pendant l'alimentation, et donc de collecter plus facilement les excréments. Ce système est quasiment obligatoire pour nourrir les animaux avec les biomasses des haies et des cultures associées, car un pâturage causerait des dégâts aux cultures principales. Le cut and carry demande une charge de travail conséquente. Il est nécessaire de mélanger des biomasses de graminées et de légumineuses.

**Le foin :** Il consiste à sécher un fourrage grossier, dans le but de le conserver pour nourrir les animaux en saison sèche. Il faut utiliser des biomasses jeunes et riches en azote : graminées, desmodium, éleusine, arachide pérenne, jeunes branches ou

feuilles d'arbres légumineux. Le stylosanthes ou la biomasse de patate douce ne peuvent pas être transformés en foin, les animaux ne le consomment pas. Faucher la biomasse et laisser sécher 2 à 3 jours au soleil. Réaliser cette action lors d'une période sèche, car une pluie sur la biomasse réduirait fortement sa qualité (lessivage de nutriments, pourriture). Le foin peut être récolté et stocké dès qu'il est parfaitement sec. Un foin stocké mouillé va pourrir et perdre sa qualité. De plus, la décomposition du foin due à l'humidité va générer une forte chaleur et peut déclencher un incendie. Le foin doit être stocké dans un endroit sec à l'abri de la pluie.

**Le pâturage :** Le pâturage consiste à laisser les ruminants brouter. Il peut se pratiquer sur des grandes surfaces de jachères. Attention, un surpâturage va dénuder le sol et l'exposer à l'érosion, tout en diminuant la biodiversité. Alternativement, le pâturage peut se réaliser sur des petites surfaces préparées. Le sol est d'abord retourné puis un mélange de plantes fourragères (graminées et légumineuses) de qualité est semé. Une fois que les plantes sont bien installées, on sépare la zone en différentes parcelles (4-5) avec des clôtures. Les animaux commencent à paître sur une des parcelles. Une fois que cette parcelle a été broutée, mais avant que les plantes surpâturées ne meurent, les animaux sont envoyés sur la parcelle suivante. Cela permet aux cultures fourragères de constamment repousser et évite un pâturage sélectif. En effet, si les animaux ont accès à une trop grande zone, ils ne mangeront pas les espèces moins plaisantes, et celles-ci s'accumuleront, rendant la parcelle inutilisable. Il ne faut pas envoyer les animaux sur une parcelle où la végétation n'a pas entièrement repoussé. Dans ce cas, on laisse les animaux dans l'enclos et on les nourrit avec du fourrage pendant la période nécessaire.

Un supplément de protéines peut être envisagé par l'apport de grains de légumineuses : mucuna, pois cajan, grains de légumineuses des arbres des haies. Cet apport peut se faire en nourrissant directement la biomasse sans enlever les grains. On peut également utiliser les grains concentrés, mais ceux-ci doivent être légèrement cuits au préalable. Les grains de légumineuses contiennent des toxiques et ne doivent pas être consommés cru en grande quantité.

Il est essentiel que le fourrage grossier des ruminants soit équilibré entre les légumineuses (protéines) et les graminées (carbohydrates, fibres). Un fourrage non équilibré va causer des problèmes de digestion et de santé à l'animal. Un fourrage trop riche en énergie et trop pauvre en fibres (grains de légumineuses et grains de maïs) peut même causer la mort d'un ruminant par une acidification de ses estomacs. Un fourrage équilibré contient entre 50 et 70 % de graminées et entre 30 et 50 % de légumineuses (Mosimann et al., 2000).

Idéalement, les ruminants reçoivent 2 fois par jour un apport de fourrage grossier (matin et soir). Le reste de la journée ils se nourrissent en pâturant. Un apport de protéines (grains de légumineuses) peut être réalisé une fois par semaine.

## 8.2 LA NUTRITION DES VOLAILLES

Le rôle des volailles dans le système agroécologique est de valoriser les déchets de cuisine et de culture. Elles peuvent manger les épluchures, le pain sec, les fruits gâtés, etc. Les poules peuvent être envoyées sur une parcelle après la récolte. Elles vont manger les restes de cultures non récoltés (arachides, céréales, légumes), retourner le sol, le fertiliser et le déparasiter. Les canards peuvent être envoyés en tout temps dans les cultures. Ils vont manger les ravageurs sans endommager les cultures. Les canards peuvent être utilisés dans les rizières : ils fertilisent, aèrent le sol (limite les émissions de méthane) et contrôlent les ravageurs et les adventices (Zhiqiang et al., 2008).

Les volailles sont envoyées en compagnie des ruminants sur les parcelles de pâturage. Elles vont se nourrir d'insectes en chassant. Il ne faut pas envoyer trop de poules sur la même parcelle, car elles risquent de creuser et de tuer les plantes fourragères. La nutrition des volailles est complétée par des grains de céréales (maïs, éleusine, sorgo) et de légumineuses (pois cajan, arbres légumineux, niébé). Les grains de légumineuses doivent être légèrement cuits pour limiter leur toxicité.

## 8.3 LA SANTÉ DES ANIMAUX

Des animaux de race robuste adaptés au climat local doivent être utilisés. Pour veiller à la santé des animaux, il faut que leur abri soit propre, nettoyé régulièrement et protégé du vent et de la pluie. Leur alimentation doit être suffisante et variée. Les animaux malades et les femelles fatiguées non portantes doivent être isolés pour éviter une contamination. Les femelles sont isolées durant la mise-bas. Il est bien de planifier la saillie pour que les femelles fertilisées soient en bonne santé et qu'elles soient portantes durant la saison où la nourriture est abondante. Pour maîtriser la reproduction, on peut soit enfermer les chèvres qui ne doivent pas être montées, soit séparer complètement le bouc des chèvres.

Les feuilles d'acacia (idéalement *A. raddiana*, *A. nilotica* et *A. karoo*) et de moringa ont montré un potentiel pour combattre les parasites gastriques (helminthes, nématodes) des chèvres et des moutons (Kahiya, Mukaratirwa, & Thamsborg, 2003 ; Korsor, 2018). Il est conseillé d'intégrer ces espèces dans l'alimentation des ruminants. Les grains de papaye permettent de combattre les maladies gastriques des volailles.

## 8.4 LA DÉTENTION DES ANIMAUX

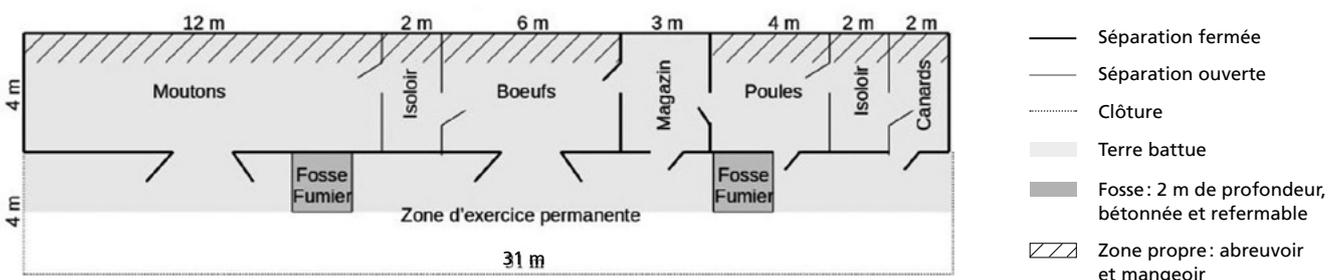
Les animaux doivent avoir un abri qui les protège de la pluie, du vent et du soleil. L'abri doit laisser passer l'air pour que les animaux n'aient pas trop chaud. Il faut suffisamment d'espace pour les bêtes, afin qu'elles ne se battent pas et afin de limiter la transmission de maladies. Voici une liste de recommandations pour une bonne détention des animaux dans une petite production sous climat tropical

- Un abri est construit en bois. Les façades ne sont pas remplies. Elles laissent passer l'air et la lumière et garantissent une bonne aération.
- Les chèvres et les moutons peuvent être détenus dans la même pièce. Les bœufs doivent être séparés, ainsi que les différentes volailles : canards, oies et poules.
- Chaque pièce contient un isoloir pour isoler les animaux malades respectifs. L'isoloir doit empêcher un contact physique entre l'animal malade et les autres mais doit permettre un contact visuel.
- La nourriture et l'eau sont apportées dans des mangeoires et abreuvoirs, où l'animal ne peut pas déféquer.
- De la paille (riz, maïs, sorgo, autres graminées) sert de litière.
- Les défécations sont balayées chaque jour et stockées convenablement. La litière est changée régulièrement.
- Prévoir des perchoirs et des nids pour les volailles, ce qui facilite le ramassage des œufs.
- Planter des arbres pour fournir de l'ombre aux animaux lors du pâturage. Les animaux peuvent pâturer dans les zones d'agroforesterie. Les chèvres grimpent sur les arbres pour se nourrir.

L'espace nécessaire pour chaque animal adulte dans l'étable est le suivant :

- Bœufs : 5 m<sup>2</sup>/tête
- Chèvre et mouton : 2 m<sup>2</sup>/tête
- Poule ou canard : 0,50 m<sup>2</sup>/tête

Exemple de plan d'étable pour 20 moutons, 4 bœufs, 30 poules et 15 canards.





## **9. LA RÉCUPÉRATION ET LA CONSERVATION DES SEMENCES**

**Ce chapitre explique comment procéder pour récupérer les semences des différentes plantes cultivées en Afrique subsaharienne.**

## 9. LA RÉCUPÉRATION ET LA CONSERVATION DES SEMENCES

La récupération de semences apporte les avantages suivants pour les producteurs :

- Plus faible investissement en début de saison.
- Possibilité de cultiver des cultures à haute valeur ajoutée, dont le coût des semences est difficilement abordable pour les producteurs (cultures potagères). La propagation des semences d'un producteur vers un autre rend ceci possible.
- Autonomie vis-à-vis du marché des semences ainsi que par rapport à la situation financière du producteur. Il ne risque pas de se retrouver sans semences s'il n'a pas les moyens d'en acheter.
- Préservation de la diversité génétique ainsi que la possibilité pour le producteur de sélectionner lui-même selon ses critères.

Néanmoins, l'utilisation de ses propres semences entre en compétition avec l'utilisation de nouvelles semences sélectionnées pour résister à des maladies particulières. Il est donc conseillé d'acheter de temps à autre des semences externes, surtout si des mauvaises performances sont observées parmi les variétés utilisées. Les variétés hybrides ne sont généralement pas adaptées à la production de semences paysannes. Les nouvelles générations de légumes ne sont souvent pas fertiles.

Ce document explique comment produire des semences pour les années suivantes. Il explique les deux moyens de reproduction des plantes : la reproduction végétative et la reproduction à travers des graines.

### 9.1 LA REPRODUCTION VÉGÉTATIVE

Utiliser la reproduction végétative signifie que l'on utilise certaines parties de la plante (tubercule, tige, rejet) pour recréer une nouvelle plante. Ceci a l'avantage de la simplicité, mais a plusieurs inconvénients :

- La nouvelle plante est génétiquement identique à la plante mère. Il n'y a donc aucune possibilité de faire de la sélection et la diversité est faible, ce qui augmente le risque de maladies.
- La plupart des maladies se transmettent à la nouvelle plante.
- Le poids des semences est souvent très élevé et la durée de conservation minimale, ce qui est surtout problématique pour leur commercialisation.

Dans tous les cas, certaines plantes ne produisent pas de graines, ce qui rend l'utilisation de la multiplication végétative nécessaire.

Étant donné que ce mode de propagation n'empêche pas la transmission des maladies, il est essentiel de contrôler les cultures pour enlever et brûler les plantes malades. Les plantes atteintes d'un virus, comme la mosaïque du manioc (image ci-contre), peuvent être conservées mais doivent être marquées pour que l'on n'utilise pas leurs moyens de reproduction.

Pour la reproduction végétative, on utilise soit des boutures et des rejets, soit des tubercules, des cormes ou des rhizomes.

Feuille de manioc atteinte par le mosaïc virus en Guinée.



### 9.1.1 PROPAGATION PAR BOUTURES ET PAR REJETS

En général, il faut des plantes vivantes sur lesquelles on prend les boutures et les rejets pour planter directement à un nouvel endroit. La durée de conservation est minimale (maximum quelques mois).

**Le manioc :** Les boutures sont des coupures de la partie médiane des tiges les plus jeunes. Les coupures doivent être propres. Les tiges servant de boutures doivent faire 2 à 4 cm d'épaisseur, 30-40 cm de long avec 7 à 10 nœuds. La sélection des tiges se fait parmi les plantes ne montrant aucun signe d'infection virale et d'un âge entre 6 et 18 mois. On peut les conserver jusqu'à 2 mois à l'ombre au pied d'un arbre, en plaçant le bas des tiges dans un sol humidifié. Au moment de la plantation, on coupe la partie inférieure de la bouture. La bouture plantée doit mesurer entre 20 et 30 cm et avoir 5 à 8 nœuds. Planter les boutures horizontalement (à moins de 10 cm de profondeur), obliquement ou verticalement.

**Les herbes fourragères** (Brachiaria, Pennisetum, Andropogon, Citronnelle) : Couper des tiges de plantes matures à 20 cm du sol. La coupure doit être nette à un angle d'environ 45°. La tige peut ensuite être coupée en plusieurs parties contenant chacune 3 nœuds. La bouture est plantée avec deux des trois nœuds sous la surface du sol.

**L'ananas** : On utilise les rejets comme moyen de propagation, il s'agit de repousse de la plante comme montré ci-contre. Idéalement, on utilise des rejets provenant de la base souterraine ou aérienne. Il faut ensuite parer les rejets, ce qui consiste à enlever les écailles et racines de façon à dévoiler les yeux. On traite ensuite les rejets contre les insectes et les maladies fongiques en les trempant dans un mélange de cendre. Si le traitement n'est pas efficace, on utilise la saison suivante un mélange insecticide-fongicide. On laisse les rejets sécher debout 12 h puis on les plante, ils ne doivent pas être plantés trop profond.

Rejets d'ananas parés (à droite) et non parés (à gauche)



Action de parer les ananas



**La banane et la banane plantain** : Il faut couper des rejets de 0,8-1,20 m de hauteur qui se trouvent aux pieds des bananiers mères. La coupure doit être droite (il est nécessaire de couper à travers la corme – sorte de tubercule souterrain). Il suffit ensuite de transplanter le rejet dans un trou de 30 cm x 30 cm x 30 cm. Une fois que le bananier produit ses fruits, on récupère les rejets. Étant donné que le bananier mère va mourir, il faut laisser un rejet à l'emplacement du bananier mère.

### 9.1.2 PROPAGATION PAR TUBERCULES, RHIZOMES OU CORMES

Les tubercules, les rhizomes et les cormes sont des organes souterrains dans lesquels la plante stocke de l'énergie. On peut donc les utiliser comme semences. Étant donné que les signes de maladie ne se voient pas sur les tubercules, il est essentiel de séparer les tubercules des plantes malades et de ne les utiliser que pour la consommation. On choisit ensuite les semences tubercules parmi des gros tubercules sans signe de pourriture, dégâts d'insecte ou nématode.

Il est ensuite nécessaire de stocker les tubercules jusqu'au moment de la plantation. Les tubercules doivent être stockés à l'ombre, en hauteur (pas de contact avec le sol), et protégés par un toit de paille laissant percoler l'eau de pluie (photo ci-contre).

**L'igname** : Juste avant la plantation, les tubercules d'igname sont coupés en pièce de 200 g. Les pièces de tubercules d'igname sont ensuite traitées avec de la cendre ou un mélange cendre-fongicide. Tremper 10-15 minutes puis sécher à l'ombre aérée.

Exemple de stockage idéal pour des tubercules comme l'igname



**La patate douce:** Les tubercules entiers sont déposés sur des plates-bandes en terre surélevées de la pépinière. Quand les tiges atteignent 20-30 cm de long et 7-8 feuilles, elles sont récoltées comme boutures. On peut compter 2 récoltes de 8-9 boutures par patate. Il est aussi possible de prélever les tiges directement sur des plantes encore vivantes.

**Le taro et le macabo:** Identique à l'igname, mais le traitement n'est pas essentiel.

**Le gingembre:** On coupe les rhizomes en morceaux de 20 cm de largeur avec 3 yeux.

**La pomme de terre:** Les pommes de terre doivent être stockées dans un endroit frais et sombre. On plante des pommes de terre de 20-30 g lorsqu'elles commencent à germer.

### 9.1.3 LES SOLUTIONS DE TRAITEMENT

**Mélange cendre:** 150 g de cendres + 8 l d'eau.

## 9.2 PRODUCTION DE SEMENCES

À l'inverse de la propagation végétative, la reproduction par semences, dite générative, permet de mélanger les gènes des plantes pour créer de nouveaux individus. Outre une plus grande diversité génétique, et une sensibilité plus faible aux maladies, une sélection est possible. On peut en effet choisir les meilleurs individus de chaque génération. Les semences peuvent se garder plusieurs années et le risque de détérioration du matériel est moins important que pour les moyens végétatifs. Pour finir, seule une petite quantité de semence est nécessaire pour semer un champ, ce qui facilite le transport, la propagation et la commercialisation.

### 9.2.1 LA REPRODUCTION GÉNÉRATIVE DES PLANTES

Les graines sont le moyen de reproduction génératif des plantes. Pour créer des graines, les organes féminins de la plante (pistil) doivent être fécondés par le pollen, qui est produit et relâché par les organes masculins (androcée). Le pistil et l'androcée se trouvent dans les fleurs. Une fleur peut soit contenir un androcée uniquement (fleur mâle), soit un pistil uniquement (fleur femelle) soit les deux (fleur hermaphrodite). On distingue trois types de plantes par rapport à leurs fleurs :

- **Les plantes monoïques:** Elles possèdent des fleurs mâles et femelles sur un seul pied.
- **Les plantes dioïques:** Elles ne possèdent que des fleurs du même sexe sur un seul pied.
- **Les plantes hermaphrodites:** Elles possèdent des fleurs hermaphrodites.

Ceci est très important pour la production de semences, car une fleur non fécondée ne produira pas de graines. Comprendre comment les différentes plantes se reproduisent permet de leur fournir les conditions idéales à la création de graines.

On distingue différents moyens utilisés par les plantes pour se féconder, pour amener le pollen d'une fleur mâle vers une fleur femelle.

**Les plantes allogames** ne peuvent pas se féconder elles-mêmes. Elles ont besoin d'un vecteur pour amener le pollen des fleurs d'une plante à une autre. Ce transport s'effectue soit par les insectes soit par le vent (pollen très léger).

**Les plantes autogames** peuvent se féconder elles-mêmes. Elles ont souvent besoin de vent, de pluie, d'insectes ou d'animaux pour les secouer et faire tomber le pollen d'une fleur à une autre. Les plantes ne sont jamais uniquement autogames, il y a toujours un transfert de pollen entre les plantes.

### 9.2.2 LA GESTION CULTURALE DES PORTE-GRAINES

On nomme porte-graine une plante que l'on cultive pour la production de graines.

**La durée de culture** des porte-graines n'est pas toujours identique à celle d'une culture de production. Pour certaines cultures comme les légumes fruits (tomate, courge, aubergine, etc.), on peut récupérer les semences des fruits mûrs, la durée de culture est donc très similaire. Par contre, certaines espèces de légumes feuilles ou racines (salade, carotte) vont prendre beaucoup plus de temps pour produire des semences que pour produire les feuilles ou les racines que l'on souhaite consommer.

**Soleil, nutriments et eau:** La culture des porte-graines est souvent beaucoup plus exigeante que la culture de production, car la plante a besoin de plus d'énergie pour produire des graines de qualité. Il est donc important de ne pas cultiver les porte-graines à l'ombre. Il est aussi essentiel de veiller à ce que la fertilisation soit suffisante, tout en évitant un trop fort apport d'azote. L'apport d'eau doit également être suffisant jusqu'à la floraison. À l'exception des légumes fruits, il faut ensuite diminuer drastiquement l'apport d'eau pour accélérer la maturation des grains. Il est conseillé de couvrir les porte-graines après la floraison pour mieux contrôler l'apport d'eau.

**Protection:** Il est important de protéger les porte-graines contre la pluie. La pluie peut emporter les graines des cultures dont les semences sont légères et petites (p. ex. laitue). Il est donc important de couvrir les cultures d'une bâche rudimentaire après la floraison (exemple ci-dessous).

**Espacement et tuteurage:** Les porte-graines peuvent devenir très grands et hauts et prendre beaucoup de place. Il est donc

essentiel de doubler les distances de plantation de la culture de production, et de construire des tuteurs solides (exemple ci-dessus). Il est impératif que les fruits et graines ne touchent pas le sol pour éviter qu'ils pourrissent (sauf pour courges et cucurbitacées).

**Période de récolte:** Selon les espèces, on prend les semences à différents stades de maturité et de manière différente (voir ch. 9.5).

### 9.2.3 PRÉPARATION DES GRAINES RÉCOLTÉES

**Trempage (T):** Si les graines se séparent mal de la pulpe (p. ex. aubergine), il faut mettre à tremper 12-24 h dans de l'eau froide.

**Voie humide sans fermentation (H):** Cette technique est utilisée pour la plupart des légumes fruits. Les semences sont extraites du fruit et rincées dans un tamis avec de l'eau, jusqu'à que la chair du fruit ait disparu. Les graines sont séchées le plus rapidement possible dans un lieu bien aéré à une température entre 23 et 30 °C.

**Voie humide avec fermentation (HF):** Cette technique est utilisée pour la tomate et le concombre. Le but de la fermentation est de supprimer la pellicule qui enveloppe la graine et l'empêche de germer. Récupérer à l'aide d'une cuillère les graines et la pulpe qui les entoure et placer le tout dans un verre avec un petit peu d'eau. Couvrir les verres non hermétiquement et les mettre à une température de 23-30 °C. Régulièrement remuer les verres et observer: les bonnes graines deviennent rugueuses au toucher et coulent au fond du verre après environ deux jours. S'il n'y a pas assez de fermentation, c'est qu'il n'y a pas assez de pulpe, il faut ajouter une pincée de sucre. Ne pas laisser les graines trop longtemps (max. 2 jours) dans l'eau, car elles risquent de germer.

Pour rincer, ajouter de l'eau dans le mélange fermenté et remuer jusqu'à ce que les graines tombent au fond du bocal. Vider la pulpe et les graines mortes qui flottent. Répéter l'opération jusqu'à ce que l'eau soit claire. Sécher le plus rapidement possible (dans filtre à café ou sur assiette) dans un endroit aéré. Les semences doivent être sèches en maximum 2 jours.

**Voie sèche (S):** Pour tous les porte-graines qui ne sont pas des légumes-fruits. Le séchage doit être suffisamment long (minimum 1 semaine) et la température ne doit pas dépasser 35 °C pour ne pas endommager les germes. Un endroit sec et ventilé est idéal. Chez les légumineuses à grains, les céréales et de nombreuses variétés de poivron et de piment, les graines sèchent re-

lativement bien alors qu'elles sont encore à l'intérieur des fruits. On peut donc laisser sécher les graines sur les plantes. Attention en cas de pluie, si le temps reste humide pendant un long moment avant la récolte, les graines de certaines espèces qui sont déjà en période germinative peuvent commencer à germer. Pour d'autres cultures, comme les brassicacées, les apiacées et les astéracées, il est courant d'arracher ou de couper certaines plantes entières pour laisser mûrir et ensuite sécher les graines à l'abri alors qu'elles sont encore enfermées dans leur fruit.

Une fois que les grains sont secs, il est nécessaire de battre les plantes pour retirer les graines du reste de la plante.

- Pour les grains faciles à détacher (graminées, épinard), placer la plante dans un sac (jute, plastique) et le taper contre un mur ou le sol.
- Pour les grains faciles à détacher mais dommageables (légumineuses, salade, choux), battre le sac contre une surface molle ou marcher dessus à pied nu.
- Pour les grains difficiles à détacher (carotte, radis), taper sur le sac avec un bâton.

Le résultat obtenu contient les graines et beaucoup de déchets végétaux. Il faut donc les enlever manuellement et/ou en soufflant dessus et/ou avec le vent.

## 9.3 SÉLECTION

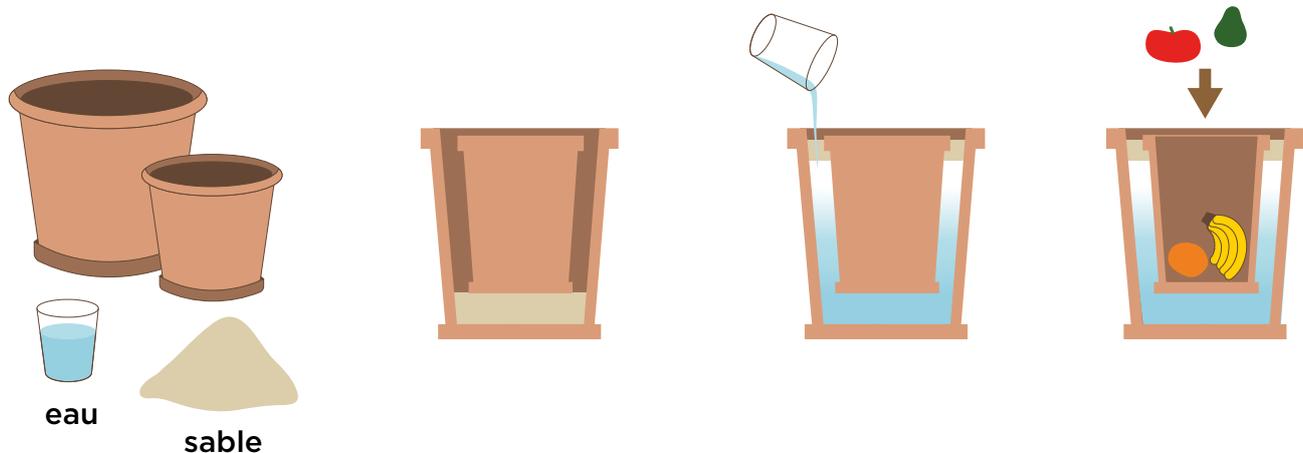
On prend les graines des porte-graines les plus productifs et surtout les plus sains. Ne jamais prendre les graines d'un plant malade, et surtout pas des graines infectées. Une sélection plus poussée demande beaucoup plus de travail et de connaissance et n'est pas traitée dans ce document.

## 9.4 CONSERVATION

Les semences doivent être parfaitement sèches pour se conserver. Elles sont conservées dans des sachets déposés dans des bocaux en verre hermétiques. Le bocal les protège des rongeurs, des ravageurs et du contact avec l'air qui cause une détérioration des semences. Noter les bocaux (date, variété). Les bocaux sont déposés dans une pièce fraîche, sombre et sèche. Idéalement, il faudrait une température entre 0° et 10°. Pour cela, déposer les semences potagères dans des « frigos du désert » (schéma page suivante).

## 9. LA RÉCUPÉRATION ET LA CONSERVATION DES SEMENCES

Construction d'un frigo de désert avec 2 pots en terre cuite, du sable et de l'eau. On peut l'utiliser pour conserver des légumes ou des semences. La température y est de 10° plus bas.



On sépare les semences en 4 catégories en fonction de leur durée de conservation :

- 1 : très sensible (quelques mois)
- 2 : courte vie (2-3 ans)
- 3 : moyenne vie (4-5 ans)
- 4 : longue vie (> 5 ans)

Avant d'utiliser les semences, il est conseillé de faire un test de germination. Le test de germination est obligatoire pour les vieilles semences ainsi que les semences récoltées dans de mauvaises conditions. On place entre 50 et 100 graines dans un papier mouillé. On roule le tout en boule que l'on place dans un sachet en plastique troué. On attend jusqu'à 2-3 semaines (4 pour les apiacées) puis l'on calcule le taux de germination. On adapte la quantité de semis en fonction de ce taux.

## 9.5 SPÉCIFICITÉS DES CULTURES

Dans ce chapitre, les caractéristiques des différentes cultures sont décrites dans une optique de production de semences.

### 9.5.1 LÉGUMES FRUITS - SOLANACÉES



**Reproduction :** Autogame, hermaphrodite

**Nombre de porte-graines nécessaire :** 6-12

**Tuteurage :** Oui

- Récolter les fruits quand ils sont bien mûrs (comme pour consommation). Le fruit effectue un changement de couleur quand il mûrit.
- Ne pas utiliser de fruits avec des pourritures pour la récupération des semences. Utiliser des gros fruits sains de la forme voulue.
- Utiliser uniquement les semences des 3 à 5 premiers fruits de chaque plant. Pour les tomates, utiliser les fruits des deux premières grappes.

Espèce		Traitement (ch. 9.2)	Durée de conservation (ch. 9.4)	Graines par fruit
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Tomate	HF	4	90-150
<i>Capsicum annuum, chinense, frutescens</i>	Poivron	H	3	150-250
<i>Capsicum annuum, chinense, frutescens</i>	Piment	H	3	50-150
<i>Solanum melongena, ethiopicum, macrocarpon, torvum</i>	Aubergine	TH	4	50-100

### 9.5.2 LÉGUMES FRUITS – MALVACÉES

**Reproduction:** Autogame

**Nombre de porte-graines nécessaire:** 6-12

**Durée de conservation:** 2

**Nombre de semences par fruit:** 40-80

**Gombo:** Le fruit est récolté plus mûr que pour la consommation. Il faut attendre que le fruit soit brun et sec, puis on ramasse 3-4 fruits par plante. On l'ouvre à la main puis on fait sécher les graines.

**Bissap:** Récolter le fruit quand il devient brun, avant sa pleine maturité sinon les semences tomberont. Faire sécher le tout puis nettoyer par la voie sèche.

### 9.5.3 LÉGUMES FRUITS – CUCURBITACÉES



**Reproduction:** Allogame (insectes), monoïque

**Nombre de porte-graines nécessaire:** 6-12

**Nombre de graines par fruit:** 100-300

**Durée de conservation:** 3

- Attention à ne pas cultiver plusieurs variétés de la même espèce la même année car elles vont se croiser. Cela est difficile, car il existe une multitude de variétés de courges qui appartiennent à quelques espèces qui comprennent également les courgettes ou les egousis.
- On ne laisse mûrir que 2 à 4 fruits de forme voulue par plant. Les autres fruits sont enlevés rapidement et consommés.
- Il faut récolter les fruits des cucurbitacées quand ils sont parfaitement matures, ce qui signifie pour certaines espèces plus tard que la maturation destinée à la consommation. Les fruits sont matures quand la tige devient brun-or, desséchée et parfois se détache du fruit. Des signes supplémentaires sont une peau qu'on ne peut plus gratter avec le doigt et/ou un son creux quand on cogne le fruit.
- On récolte le fruit mûr que l'on stocke dans un endroit frais, aéré et sec (comme pour le stockage d'igname, voir ci-dessus) pendant 3 à 8 semaines.
- Selon les espèces, un trempage ou une fermentation est nécessaire.
- *Cucurbita pepo*: Si le fruit est amer, il est toxique, ne pas le manger ni le reproduire !

Espèces		Tuteurage	Quand récolter	Traitement
<i>Cucurbita pepo</i>	Courgette, Courge	Non	Fruit surmature	TH
<i>Cucurbita maxima</i>	Courge	Non	Fruit mature	TH
<i>Lagenaria siceraria</i>	Calebasse, Egousi	Oui	Fruit sec	H
<i>Cucumis sativus</i>	Concombre	Non	Fruit surmature (jaune)	HF
<i>Cucumis melo</i>	Melon	Non	Fruit mature	TH
<i>Citrullus lanatus</i>	Pastèque, Egousi	Non	Fruit mature	H

### 9.5.4 ASTÉRACÉES, AMARANTACÉES, BRASSICACÉES

La culture pour graines de la majorité des espèces de ces familles se différencie fortement de la culture productive. Les parties consommées sont souvent des parties végétatives (feuilles de salade ou d'amarante, choux, racine du radis). Il est donc nécessaire de ne pas consommer ces parties sur les porte-graines. La plante pourra donc produire des fleurs et monter en graine. La récolte s'effectue juste avant la maturité complète des graines, avant qu'elles ne tombent d'elles-mêmes et se perdent. Il est important de protéger ces porte-graines de la pluie, sinon on risque de perdre toute la récolte. Il faut régulièrement écraser les graines entre les doigts. Si les graines sortent facilement de leur cosse, il est temps de récolter. Les cosses des brassicacées de-

viennent brunes quand elles sont matures. On récolte la plante entière ou une partie que l'on sèche puis que l'on bat dans un sac. Si on ne récolte pas la plante entière, on récolte seulement les parties mûres au fur et à mesure. Pour les espèces dont on récolte généralement les feuilles, il faut prévoir beaucoup plus d'espaces pour le porte-graines qui peut devenir très grand.

**Reproduction:** Allogame (insectes), sauf Amarante (vent)

**Nombre de porte-graines nécessaire:** 10-15

**Durée de conservation:** 4

Espèce		Culture		Récolte		Post-récolte	
		Hivernage	Tuteur	Partie ramassée	Nombre	Battage	Graines par plants
<i>Helianthus annuus</i>	Tournesol	Non	Non	Tête	1	Facile	
<i>Amaranthus species</i>	Amarante, Célosie	Non	Non	Plante	1	Facile	30 g
<i>Brassica oleraceae</i>	Chou-fleur, Brocoli, Choux blanc,	Selon variété	Oui	Cosses	Plusieurs	Délicat	1 000-2 000
<i>Raphanus sativus</i>	Radis	Selon variété	Oui	Cosses	Plusieurs	Difficile	1 000-2 000

### 9.5.5 CAS SPÉCIAL : LAITUE (*LACTUVA SATIVA*)

La récupération des semences de la laitue est très difficile et est donc précisément décrite.

**Reproduction :** Autogame, Hermaphrodite

**Nombre de porte-graines nécessaire :** 10

**Nombre de graines par plante :** 10 g

**Durée de conservation :** 3

**Tuteur :** Oui

Si on ne récolte pas les feuilles de la salade, elle va monter, produire des fleurs puis des graines. Il est important de prévoir beaucoup de place pour les porte-graines qui deviendront très grand (50-60 cm d'espacement). Un tuteurage est également essentiel ainsi qu'une protection contre la pluie. Les graines sont prêtes à être récoltées entre 12 et 25 jours après la floraison, lorsque 50 à 70 % des fleurs sont en plumeaux. Le test du doigt mentionné plus haut peut aider à déterminer le moment propice. Secouer ensuite les plantes au-dessus d'un récipient. Effectuer 2 à 3 récoltes à quelques jours d'intervalles. Ne pas mélanger les lots, car les semences du premier passage seront de meilleure qualité. Finalement, couper et battre les plantes dans des sacs. Le battage doit se faire délicatement car les semences sont fragiles. Un nettoyage avec des tamis est presque essentiel, car plus de la moitié de la production n'est en réalité pas des semences et peut contenir des maladies.

### 9.5.6 OIGNON ET CAROTTE

L'oignon et la carotte ont en commun que la production de semences s'effectue en 2 cultures distinctes :

- 1<sup>ère</sup> culture : production de bulbes et de racines à partir de semences.
- 2<sup>ème</sup> culture, production de semences à partir de bulbes et de racines.

Il faut procéder comme ceci :

- Lors de la récolte des carottes et des oignons, 50-60 carottes et 40-50 oignons sont sélectionnés. Ils ne doivent pas être blessés et doivent correspondre à la taille et la forme de la variété. Idéalement, utiliser la récolte de printemps pour cette sélection.
- Les oignons sont ensuite stockés à l'abri de la pluie et du soleil (comme pour l'igname) durant la saison des pluies. Toutes les deux semaines, il faut enlever les bulbes pourris. Vérifier que les espèces n'aient pas besoin de vernalisation.
- Les carottes sont stockées dans des frigos du désert. On coupe les feuilles jusqu'à 2-3 cm, ne pas endommager le cœur de la carotte. Enlever régulièrement les carottes pourries.
- En automne, à la fin de la saison humide, on sélectionne 30 carottes et 20 oignons qui seront plantés. Il est conseillé de cultiver les porte-graines en saison sèche pour éviter les risques de pourriture.
- L'étape de stockage n'est pas nécessaire pour les variétés ne nécessitant pas de vernalisation. La culture au printemps et en automne permet d'éviter de cultiver les porte-graines en saison des pluies.
- Protéger les cultures de la pluie, installer des tuteurs (ficelles suffisantes pour les carottes).
- Couper les ombelles de graines quand elles sont mures (brunes). Récolter au fur et à mesure.
- Sécher puis battre. Le battage est difficile, les graines ne sortent pas facilement des capsules.

Semences de carotte



Jean Weber / INRA, DIST / CC-BY-2.0 / commons.wikimedia.org

	Carotte ( <i>Daucus carota</i> )	Oignon ( <i>Allium cepa</i> )
Famille	Apiacée	Alliacée
Reproduction	Allogame (insectes)	Allogame (insectes)
Fleur	Monoïque	Hermaphrodite
Distance plantation des porte-graines	20 cm x 40 cm	15 cm x 25 cm
Temps de séchage des ombelles	2-3 semaines	1 semaine
Quantité de graines par plant	0,25 g	4 g

### 9.5.7 GRAMINÉES

**Reproduction :** autogame, hermaphrodite (sauf maïs : allogame (vent), monoïque)

**Nombre de porte-graines nécessaire :** 100-150

**Durée de conservation :** 3

La culture des porte-graines s'effectue de manière identique à la culture de production. Juste avant la récolte, quand les graines sont mures (graines sèches, feuilles brunes et sèches), il faut récolter les épis de plantes saines, grandes et produisant beaucoup de graines. Il est important de récolter les graines de 100 à 150 plantes, même si toutes les graines ne doivent ensuite pas être stockées comme semence. Ne pas récolter de graines infectées. Les épis sont ensuite séchés 2-3 semaines dans un lieu sec et aéré. Le maïs se récolte avec les feuilles enveloppantes, que l'on retourne pour pendre les épis lors du séchage. Après le séchage, on bat les épis dans des sacs (dans le cas du maïs, il faut les frotter à la main). Il n'est pas nécessaire d'enlever les enveloppes des grains. Avant le semis, tremper les semences dans de l'eau. Les semences qui flottent ne sont pas bonnes.

La culture des espèces fourragères s'effectue de la même manière. Cependant, puisque ces espèces sont souvent utilisées pour leur production de feuilles, il faut leur donner plus de temps sans les faucher pour les laisser monter en graine. En général, la propagation végétative est plus adaptée pour les herbes fourragères.

### 9.5.8 LÉGUMINEUSES

**Reproduction :** allogame (insecte), hermaphrodite (sauf soja et pois : autogame)

**Nombre de porte-graines nécessaire :** 15-20 (pois : 50)

**Durée de conservation :** 3

La culture des porte-graines s'effectue de manière identique à la culture de production. Laisser sécher les 2 à 3 premières cosques de 15 à 20 plantes. Récolter les cosques quand elles sont sèches et mures (changement de couleur). Sécher 2-3 semaines puis battre délicatement. Dans le cas du soja, on récolte, sèche et bat la plante entière.

Pour les légumineuses fourragères dont on récolte la plante à maturité (mucuna, pois angole), le processus se passe de manière identique. Pour les légumineuses dont on récolte principalement la biomasse avant maturité (stylosanthes, desmodium), il est important de laisser une partie du champ monter en graines, en le protégeant des fauches et des animaux. La récolte des graines de stylosanthes s'effectue en plusieurs passages, car les plantes ne mûrissent pas simultanément. Il n'est pas nécessaire d'enlever les enveloppes des graines.

### 9.5.9 ARBRES

**Les arbres à grain :** Les arbres légumineux (Gliricidia, Leucaena, Acacia, Cajanus etc.) produisent des cosques semblables à des haricots. La récolte peut donc s'effectuer de manière identique à celle des légumineuses à grains comme le haricot. On laisse la cosque arriver à maturité puis sécher sur l'arbre. On la ramasse avant qu'elle ne s'ouvre, on la met à sécher puis on bat délicatement. On utilise ensuite les graines pour préparer des plants d'arbres les saisons suivantes. Certaines espèces qui ne sont pas des légumineuses mais qui produisent des graines similaires peuvent être traitées de la même manière (Moringa, Neem).

**Le papayer :** Il est très facile de récupérer les graines du papayer qui se trouvent à l'intérieur du fruit. Les graines doivent être séchées puis conservées comme toute autre semence potagère. On plante ensuite les graines dans des pots. Le papayer est une plante dioïque, il existe des papayers mâles, femelles et hermaphrodites. Étant donné que les plantes mâles ne donnent pas de fruits, il faut transplanter en plein champ uniquement les femelles et les hermaphrodites. Identifier les fleurs mâles et éliminer les plants.

**Les autres fruitiers :** Il n'est pas expliqué dans ce document comment multiplier les arbres fruitiers (manguiers, avocats, agrumes, etc.). La plupart des fruitiers n'ont pas besoin d'être multipliés régulièrement car ils produisent pendant des dizaines d'années. En plus de cela, la multiplication est compliquée et demande de l'expérience pour produire des plants de qualité. Il est donc conseillé de se fier aux pépinières locales et d'acheter des plants âgés de quelques années quand un nouveau fruitier doit être planté.

## 10. RÉFÉRENCES

- Anderson, N. J., Bennion, H., & Lotter, A. F. (2014). Lake eutrophication and its implications for organic carbon sequestration in Europe. *Global Change Biology*, 20(9), 2741-2751.
- Andow, D. A. (1991). Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual review of entomology*, 36(1), 561-586.
- Blume, H.-P., Brümmer, G. W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., . . . Wilke, B.-M. (2015). *Scheffer/Schachtschabel soil science*: Springer.
- Erismann, J. W., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z., & Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 1(10), 636-639.
- FAO. (2016). émissions de gaz à effet de serre issues de l'agriculture, de la foresterie et des autres affectations des terres.
- FAO. (2021). FAOSTAT. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/>
- Frenay, J. (1997). Strategies to reduce gaseous emissions of nitrogen from irrigated agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 48(1-2), 155-160.
- Haynes, R. J., & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51(2), 123-137.
- Hinsinger, P., Betencourt, E., Bernard, L., Brauman, A., Plassard, C., Shen, J., . . . Zhang, F. (2011). P for two, sharing a scarce resource: soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant Physiology*, 156(3), 1078-1086.
- Hue, N. (1992). Correcting soil acidity of a highly weathered Ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23(3-4), 241-264.
- Husson, O., Ségué, L., Charpentier, H., Michellon, P., Raharison, T., Naudin, K., . . . Rasolomanjaka, J. (2013). Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Application à Madagascar. In: GSDM.
- Jenkinson, D., Fox, R., & Rayner, J. (1985). Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen—the so-called 'priming' effect. *European Journal of Soil Science*, 36(3), 425-444.
- Kahiya, C., Mukaratirwa, S., & Thamsborg, S. M. (2003). Effects of *Acacia nilotica* and *Acacia karoo* diets on *Haemonchus contortus* infection in goats. *Veterinary Parasitology*, 115(3), 265-274.
- Khan, Z., Overholt, W., Hassanali, A., Chiliswa, P., Wandera, J., Muyekho, F., . . . Wadhams, L. (1998a). *An integrated management of cereal stem borers and Striga weed in a maize based cropping system in Africa*. Paper presented at the Maize Production Technology for the Future: Challenges and Opportunities: Proceedings of the 6th Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference. CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Centre) and EARO (Ethiopian Agricultural Research Organisation).
- Khan, Z., Overholt, W., Hassanali, A., Chiliswa, P., Wandera, J., Muyekho, F., . . . Wadhams, L. (1998b). *An integrated management of cereal stem borers and Striga weed in a maize based cropping system in Africa*. Paper presented at the Maize production technology for the future: challenges and opportunities, : Proceedings of the 6th Eastern and Southern Africa regional maize conference. CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Centre) and EARO (Ethiopian Agricultural Research).
- Korsor, M. (2018). *Cultivation and use of Moringa as a nutritional and medicinal supplement for goats in central Namibia*. University of Namibia,
- Kuzyakov, Y., Friedel, J., & Stahr, K. (2000). Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(11-12), 1485-1498.
- Martin, K., & Sauerborn, J. (2013). *Agroecology*: Springer.
- Materechera, S., & Mkhabela, T. (2002). The effectiveness of lime, chicken manure and leaf litter ash in ameliorating acidity in a soil previously under black wattle (*Acacia mearnsii*) plantation. *Bioresource technology*, 85(1), 9-16.
- McNeill, A., & Unkovich, M. (2007). The nitrogen cycle in terrestrial ecosystems. In *Nutrient cycling in terrestrial ecosystems* (pp. 37-64): Springer.
- Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., . . . Yagi, K. (2016). World's soils are under threat. *Soil*, 2(1), 79-82.
- Mosimann, E., Lehmann, J., & Rosenberg, E. (2000). Mélanges standard pour la production fourragère, Révision 2001-2004. *Revue suisse Agric*, 32(5), 1-12.

Olasantan, F. (2007). Effect of population density and sowing date of pumpkin on soil hydrothermal regime, weed control and crop growth in a yam–pumpkin intercrop. *Experimental agriculture*, 43(3), 365-380.

Olasantan, F., Salau, A., & Onuh, E. (2007). Influence of cassava (*Manihot esculenta*) intercrop on growth and fruit yields of pepper (*Capsicum* spp.) in south-western Nigeria. *Experimental agriculture*, 43(1), 79-95.

Pypers, P., Sanginga, J.-M., Kasereka, B., Walangululu, M., & Vanlauwe, B. (2011). Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava–legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field crops research*, 120(1), 76-85.

Raison, R., Khanna, P., & Woods, P. (1985). Transfer of elements to the atmosphere during low-intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 15(4), 657-664.

Schneider, K. (2018). *Impact of Integrated Soil Fertility Management in Yam Cropping Systems on Selected Soil Properties in Côte d'Ivoire*. (Master Thesis), ETH Zurich,

Schubert, S. (2017). *Pflanzenernährung* (Vol. 2802) : Utb.

Uvah, I., & Coaker, T. (1984). Effect of mixed cropping on some insect pests of carrots and onions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 36(2), 159-167.

Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503-515.

Zech, W., Schad, P., & Hintermaier-Erhard, G. (2014). *Böden der Welt: ein Bildatlas* : Springer-Verlag.

Zhiqiang, F., Huang, H., Xiaolan, L., Ying, H., Wei, X., & Baoliang, H. (2008). Effect of ducks on CH<sub>4</sub> emission from paddy soils and its mechanism research in the rice-duck ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 28(5), 2107-2114.





# L'Agroécologie, une science et une pratique agricole pour les petits producteurs d'Afrique subsaharienne

---

Ce document s'adresse à des agronomes et producteurs déjà convenablement formés dans la gestion et la compréhension des systèmes de production conventionnels ou biologiques. Il aborde les bases d'écologie, de chimie et d'agronomie nécessaires à la compréhension des pratiques agroécologiques. Il décrit ces pratiques et le pourquoi de celles-ci. Après avoir parcouru ce document, le lecteur sera en mesure de mettre en place, de développer et de gérer un agroécosystème productif durable: un écosystème capable de produire sans apports d'intrants externes et sans épuiser ses ressources.

## Liste des thèmes abordés :

- Introduction
- La fertilité du sol
- La protection du sol
- La fertilisation
- La gestion de l'eau
- Le contrôle des ravageurs et des maladies
- Les associations de cultures
- L'élevage
- La récupération et la conservation des semences

