



UNIVERSITE DE LISALA

**CENTRE INTERUNIVERSITAIRE DE RECHERCHE
PLURIDISCIPLINAIRE (CIREP)**

STATUT : UNIVERSITE PUBLIQUE

Web : www.cirep.ac.cd

Email : info@cirep.ac.cd

NOTE DE COURS D'AMENAGEMENT AGROPASTORAUX APPROFONDIS (GESTION DURABLE ET FERTILISATION DE SOL)

OBECTIFS DU COURS

Le cours d'Aménagement agropastoraux approfondis a pour objectif de permettre à l'étudiant de planifier et de mettre en œuvre des mesures durables pour optimiser l'utilisation des terres agricoles et pastorales.

Ce cours permet aussi d'améliorer la productivité agricole et pastorale tout en préservant les écosystèmes locaux et en assurant la durabilité à long terme des activités agricoles mais également de favoriser le bien-être des communautés rurales en renforçant leur sécurité alimentaire, en augmentant leurs revenus et en favorisant le développement économique local.

AMENAGEMENT AGROPASTORAUX APPROFONDIS

L'aménagement agropastoral est une approche intégrée visant à optimiser l'utilisation des ressources naturelles dans les zones où l'agriculture et l'élevage coexistent. Cette approche repose sur une vision holistique qui prend en compte les interactions complexes entre les activités agricoles et pastorales, ainsi que les dynamiques environnementales, sociales et économiques qui les influencent.

L'aménagement agropastoral se distingue par sa volonté de concilier les intérêts parfois divergents de l'agriculture et de l'élevage, en cherchant des synergies et des complémentarités entre ces deux secteurs. Il vise à promouvoir une gestion durable des terres, de l'eau et de la biodiversité, tout en favorisant le développement socio-économique des communautés rurales qui dépendent de ces activités.

Cette approche repose sur des principes fondamentaux tels que la diversification des systèmes de production, la rotation des cultures, le pâturage raisonné, la protection des écosystèmes fragiles, la promotion de pratiques agroécologiques, et la participation active des communautés locales à la prise de décision.

L'aménagement agropastoral s'inscrit dans une perspective de développement durable, visant à assurer la sécurité alimentaire, à préserver les ressources naturelles pour les générations futures, et à renforcer la résilience des systèmes de production face aux défis environnementaux, climatiques et socio-économiques.

En somme, l'aménagement agropastoral représente une approche innovante et intégrée pour relever les défis de la cohabitation entre l'agriculture et l'élevage, en favorisant une gestion équilibrée des ressources naturelles et en promouvant des systèmes de production durables et résilients.

I.1. Objectif

L'objectif d'un aménagement agropastoral approfondi est de planifier et de mettre en œuvre des mesures durables pour optimiser l'utilisation des terres agricoles et pastorales. Cela peut inclure la mise en place de pratiques agricoles et d'élevage respectueuses de l'environnement,

la gestion efficace des ressources naturelles, la diversification des cultures et des systèmes d'élevage, la conservation des sols et de l'eau, ainsi que la promotion de la biodiversité.

L'aménagement agropastoral approfondi vise à améliorer la productivité agricole et pastorale tout en préservant les écosystèmes locaux et en assurant la durabilité à long terme des activités agricoles. Il s'agit également de favoriser le bien-être des communautés rurales en renforçant leur sécurité alimentaire, en augmentant leurs revenus et en favorisant le développement économique local.

I.2. Principales techniques

✓ La mise en défens

C'est l'intervention la plus simple pour générer un pâturage. Elle consiste à protéger la pâture de la dent du bétail pendant une période déterminée. La protection se fait au moyen d'une clôture ou par une simple interdiction du bétail, avec ou sans gardiennage. Elle donne souvent d'excellents résultats, quelle que soit la zone climatique (Gaston A., 1977) (Depierre D., 1971), au Tchad ; Toutain d al., 1983, au Burkina Faso ; (César J., 1990). Elle nécessite peu de moyens et est généralement peu prisée des bailleurs de fonds. Elle est efficace mais non spectaculaire. Elle est aussi souvent impopulaire : il est prudent de prévoir une source fourragère supplémentaire en compensation de la surface momentanément perdue pour la mise en défens. Cependant, elle peut être envisagée comme une étape vers la mise en place d'un système de gestion des parcours, une étape indispensable vers la maîtrise de l'espace pastoral.

✓ Le débroussaillage

Les savanes humides se dégradent par épuisement de la strate graminéenne surexploité et par embroussaillage, consécutif au déséquilibre herba ci-ligneux. Il existe plusieurs moyens de lutte contre l'embroussaillage. Le plus simple et le plus économique est la lutte par le feu.

La lutte par le feu est la technique traditionnelle par excellence. Elle est appliquée presque partout, à des fins qui ne visent pas toujours l'équilibre herbacé-ligneux. Pour qu'un feu soit efficace contre la strate ligneuse, il doit être allumé en fin de saison sèche sur une savane

mise en défens pendant un an. Renouvelée tous les trois ou quatre ans, cette technique permet le contrôle des ligneux et reste encore la plus efficace. Elle suppose qu'un quart environ de la surface soit exclu des circuits de pâture.

La lutte par le feu n'est possible que si la strate graminéenne est encore suffisante pour alimenter le feu. Dans le cas contraire, il faut recourir à des méthodes mécaniques ou chimiques, toujours plus coûteuses.

Quelle que soit la technique, le défrichage ne doit jamais être total. Outre l'intérêt fourrager des ligneux, leur rôle sur le sol n'est pas à négliger. Ils améliorent les qualités physiques et surtout la teneur en humus. Les arbres ont aussi une action dans la remontée d'éléments nutritifs que les racines de graminées n'atteignent pas. Une certaine densité de ligneux est nécessaire à l'équilibre de la végétation. La destruction des grands arbres entraîne la recrudescence de jeunes ligneux bien plus gênants que les adultes. La conservation d'un couvert de 5 à 20 % d'arbres adultes est un bon moyen de préserver l'équilibre herbacé-ligneux.

Le développement des strates ligneuses est l'évolution naturelle de toute formation dans le domaine soudano-guinéen et cette tendance s'accroît avec la pâture. L'embroussaillage d'une exploitation pastorale est donc un phénomène normal et prévisible. Il est bien plus aisé de contrôler les ligneux, afin d'éviter leur multiplication, par une pratique de mise en défens et de feux périodiques, que de régénérer un pâturage embroussaillé et dégradé. La lutte préventive contre les ligneux devrait être de règle dans tout système d'élevage en zone humide.

✓ **L'aménagement antiérosif**

Il a deux buts : éviter l'érosion et en région sèche concentrer les eaux de ruissellement pour augmenter localement les ressources en eau. Des dispositifs de diguettes en courbes de niveau ont été essayés en Mauritanie, (Boudet G., 1987, p. 282) au Sénégal (Diatta A., 1990, p. 66). Ces travaux sont souvent effectués avec des moyens mécaniques puissants (Audru J., 1987, p. 384), mais peuvent aussi être réalisés avec des moyens à la portée de l'éleveur comme la culture attelée (Guervilly T., 1992). La culture en terrasse fait parties de ces aménagements

✓ **Le travail du sol**

Le travail du sol avec du matériel agricole classique suffit parfois pour restaurer un pâturage. L'une des formes de dégradation pastorale les plus fréquentes en zone sahéenne résulte du compactage du sol par le piétinement. Presque tous les parcours sur sol limoneux ou argileux en sont atteints. L'opération consiste à ameublir le sol par une scarification plus ou moins profonde pour permettre la pénétration des eaux de pluie (Dulieu D., 1977), (Toutain, 1977, pp. 191-198.) L'herbe repousse spontanément ensuite.

✓ **Le sursemis**

Le sursemis consiste à semer dans la végétation naturelle une ou plusieurs espèces fourragères qui devront s'associer aux plantes spontanées et améliorer la production fourragère du pâturage. Le sursemis peut être effectué directement sans travail du sol ou après un travail minimal qui ne détruit pas la végétation en place. L'introduction de *Stylosanthes amata* dans les pâturages de jachères à *Andropogon payanus* donne de bons résultats en Côte-d'Ivoire. La légumineuse renforce la végétation et améliore la richesse en azote du fourrage. Toutes ces techniques sont bien entendu applicables séparément ou associés.

✓ **La culture Fourragère**

Avec la culture fourragère, il ne s'agit plus d'améliorer le parcours naturel, mais de le remplacer par une culture à haut rendement. C'est le dernier degré d'intensification. Elle nécessite défrichage, travail du sol, fertilisation, entretien et souvent clôture. Elle doit être gérée avec précaution car les plantes cultivées sont souvent plus fragiles et moins adaptées au climat que les espèces spontanées. La culture fourragère est donc coûteuse et ne convient qu'à des éleveurs de bon niveau, qui soient capables de la rentabiliser. En zone humide, on tente actuellement de vulgariser un pâturage permanent constitué d'une association graminée légumineuse. L'avantage de l'association est de minimiser la fertilisation. La production varie suivant le milieu, mais reste toujours supérieure à celle des formations naturelles. La zone sèche est peu propice au développement de la culture fourragère, car les terres cultivables sont toujours attribuées en priorité aux cultures vivrières

I.3. GESTION PASTORALE OU INTENSIFICATION FOURRAGERE

I.3.1. L'intensification fourragère

Face aux difficultés d'alimentation du bétail, la solution logique paraît être l'intensification de l'élevage au moyen de cultures fourragères.

Il faut toutefois savoir à quelles conditions la culture fourragère peut s'intégrer dans les systèmes d'élevage existant actuellement et le profit que chaque catégorie d'éleveur peut en tirer. Qu'elle soit naturelle ou cultivée, il convient de choisir la source de fourrage la mieux appropriée à chaque exploitation, à chaque type de bétail, dans des limites économiques raisonnables. La difficulté reste donc de déterminer les conditions d'utilisation de la culture fourragère en fonction de ses qualités propres et du milieu où l'on veut l'introduire.

I.3.2. Place de la culture fourragère en milieu traditionnel

C'est le point fondamental concernant les cultures fourragères. Les nombreux échecs enregistrés, au cours des tentatives de développement, résultent presque toujours d'une méconnaissance du milieu paysan. Le milieu traditionnel n'est, en effet, pas apte à recevoir n'importe quelle forme de culture fourragère. La réussite d'un programme de développement incluant la culture fourragère dépend avant toute chose de la place de celle-ci dans le système agro-pastoral traditionnel. On peut citer quelques exemples.

✓ Sole fourragère en légumineuses

On a souvent proposé, pour raccourcir la durée de la jachère naturelle, de la remplacer par une légumineuse fourragère cultivée. La petitesse des champs et leur dispersion sur le terroir rend évidemment difficile l'exploitation des cultures fourragères installées, après la dernière culture vivrière, et situées à proximité de parcelles cultivées. En ensemençant des blocs défrichés mécaniquement, on dispose de surfaces suffisantes, mais très souvent sur un sol en partie stérilisé par le défrichement. Reste le problème de la gestion de ces parcelles collectives. Situés près du village, les blocs fourragers sont surpâturés et se dégradent dès la première année. Eloignés, ils ne sont pas exploités en saison pluvieuse, car les animaux, qui ne sont pas accoutumés aux légumineuses, préfèrent les graminées de savane. Ils disparaissent alors au premier feu courant (Godet, 1981., p. 8). Actuellement, le feu, la faible pérennité, la sensibilité aux maladies sont des

obstacles qui condamnent les légumineuses en culture pure. De plus, leur productivité est toujours inférieure à celle d'une graminée et leur gestion est bien plus délicate.

✓ **Parc fourrager permanent**

Compte tenu des inconvénients des cultures pures, le parc fourrager en association graminée-légumineuse semble être une bonne solution pour vulgariser une culture fourragère pérenne.

Les deux plantes, *Panicum maximum* - *Stylosanthes hamata*, sont choisies pour leur stabilité avec une gestion paysanne courante. Un bloc fourrager de quatre à huit hectares, pour un troupeau de taille moyenne, doit permettre une amélioration sensible des performances du troupeau (mortalité, fécondité, production laitière) pouvant rentabiliser la culture fourragère. De tels parcs fourragers sont actuellement vulgarisés chez les meilleurs éleveurs, Peuls ou paysans. Ils ne semblent pas poser de problèmes de gestion. La seule difficulté est d'obtenir le consentement du chef de terre et des autres responsables locaux pour choisir l'emplacement de la parcelle qui sera nécessairement de dimension réduite (quelques hectares).

✓ **Parc de nuit enherbé**

Le temps de parcours trop court, particulièrement en saison des pluies, pourrait être conyensé dans les élevages villageois par un pâturage nocturne. La plante adapte, pouvant bénéficier de la fertilisation animale, est évidemment une graminée en culture pure (A., 1985, p. 179). a réalisé près de Bouaké un tel parc avec succès. La vulgarisation des parcs de nuit enherbés suppose bien sûr que soit acquise une certaine technique de gestion pastorale, comprenant la sortie des animaux tôt le matin et leur retour tard le soir.

Cependant, la culture fourragère demande un investissement coûteux, hors de portée de la majorité des éleveurs. Comme on le voit sur ces trois exemples choisis dans la zone humide, les surfaces en cultures fourragères sont nécessairement réduites. Elles le sont encore plus en zone sèche, où elles se limitent le plus souvent à de petits jardins fourragers. Dans tous les cas, la culture fourragère sera réservée aux animaux fragiles dont les besoins nutritifs sont élevés.

I. GESTION DURABLE

Les sols constituent une ressource naturelle essentielle et non renouvelable qui recèle des biens et des services indispensables aux écosystèmes et à la vie humaine. Ils jouent un rôle fondamental dans la production de récoltes, de fourrage, de fibres et de carburants, et filtrent et purifient des milliers de kilomètres cubes d'eau chaque année. En leur qualité de réserve essentielle de carbone, les sols aident par ailleurs à réguler les émissions de dioxyde de carbone et autres gaz à effet de serre, ce qui est fondamental pour la régulation du climat. La gestion durable des sols fait partie intégrante de la gestion durable des terres, et constitue le point de départ de l'élimination de la pauvreté, du développement agricole et rural, de la promotion de la sécurité alimentaire et de l'amélioration de la nutrition.

Les sols constituent la plus vaste réserve terrestre de carbone (FAO, 2004), (GIEC, 2000 , p. 3 et 4) environ 95 pour cent de la production alimentaire mondiale est issue des sols (FAO., 2015). La gestion durable des sols est un outil précieux d'adaptation au changement climatique et un moyen de préserver les services écosystémiques essentiels et la biodiversité. La valeur que représentent les sols pour la société, par l'intermédiaire des services écosystémiques, est inestimable. La gestion durable des sols, en favorisant et en développant ces services, garantit donc une forte rentabilité des investissements. L'adoption à grande échelle de pratiques de gestion durable des sols engendre de multiples avantages socioéconomiques, en particulier pour les petits exploitants et les gros producteurs agricoles du monde entier dont les moyens d'existence dépendent directement des ressources en sols.

II.1. Définition d'une gestion durable des sols

“La gestion des sols est durable si les services qu'ils fournissent en matière de soutien, d'approvisionnement et de régulation et du point de vue culturel sont maintenus, voire renforcés, sans gravement compromettre la biodiversité ni les fonctions des sols qui sont à l'origine de ces services. Il est particulièrement délicat de réaliser l'équilibre entre les services de soutien et d'approvisionnement fournis par les sols à l'égard de la production végétale et leurs fonctions de régulation qui influent sur la qualité de l'eau, les disponibilités hydriques et la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère”

II.2 Les types de services écosystémiques et de fonctions des sols dont il est question dans cette définition peuvent être explicités de la manière suivante :

- Les services dits de soutien comprennent la production primaire, le cycle des éléments nutritifs et la formation des sols ;
- Les services dits d’approvisionnement concernent la fourniture d’aliments, de fibres, de carburants, de bois d’œuvre et d’eau ; la terre brute ; la stabilité des surfaces ; l’habitat et les ressources génétiques ;
- Les services dits de régulation impliquent la régulation d’éléments tels que l’approvisionnement en eau et la qualité des eaux, le piégeage du carbone, la régulation du climat, et la protection contre les inondations et l’érosion ; et
- Les services dits culturels révèlent la valeur esthétique et culturelle qui découle de l’utilisation des sols.

II.3. Caractéristique

Une gestion durable des sols se caractérise par les éléments suivants :

1. Faible érosion hydrique et éolienne des sols ;
2. Absence de dégradation de la structure du sol (absence de compactage, par exemple), celui-ci offrant une surface stable permettant à l’air, à l’eau et à la chaleur de circuler, ainsi qu’aux racines de pousser ;
3. Présence d’un couvert végétal (végétaux sur pied, résidus de végétaux, etc.) suffisant pour protéger le sol ;
4. Réserve de matière organique du sol stable ou croissante et, idéalement, proche du niveau optimal pour l’environnement local ;
5. Disponibilité et circulation des éléments nutritifs à un degré adapté au maintien ou à l’amélioration de la fertilité et de la productivité du sol, et à la réduction des déperditions de fertilité et de productivité dans l’environnement ;

6. Salinisation, sodisation et alcalinisation faible du sol ;
7. Infiltration et stockage de l'eau (issue des précipitations et de sources complémentaires telles que l'irrigation) efficaces, c'est-à-dire permettant de répondre aux besoins des végétaux et d'assurer le drainage de tout excédent ;
8. . Concentration en contaminants inférieure aux niveaux de toxicité, c'est-à-dire susceptibles de présenter un danger pour les végétaux, les animaux, l'homme et l'environnement ;
9. Biodiversité du sol assurant l'éventail complet des fonctions biologiques ;
10. Systèmes de gestion des sols reposant sur une utilisation optimisée et sans danger des intrants (dans le cadre la production d'aliments, de fourrage, de carburant, de bois d'œuvre et de fibres); et
11. Imperméabilisation du sol réduite le plus possible, grâce à une planification responsable de l'utilisation des terres.

II.4. Directives pour une gestion durable des sols

On trouvera ci-après des directives techniques que l'on pourra suivre pour faire face aux menaces qui pèsent sur les sols et qui font obstacle à leur gestion durable. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive de bonnes pratiques, mais d'une base de référence technique à appliquer au cas par cas, en fonction du contexte précis. Des manuels techniques spécifiques pourront être mis au point par la suite comme outils complémentaires

✓ Limiter l'érosion des sols

L'érosion des sols entraîne la perte de couches superficielles de sol (qui contiennent des réserves d'éléments nutritifs organiques et minéraux), et la perte partielle ou totale d'horizons – voire l'exposition du sous-sol, défavorable à la croissance. Ses conséquences vont au-delà des sols, puisqu'elle entraîne également des dégâts au niveau des infrastructures privées et publiques, une baisse de la qualité de l'eau et un phénomène de sédimentation. L'érosion des sols est accélérée par les activités humaines qui se traduisent entre autres par une réduction du couvert végétal ou résiduelle, sous l'action du labour et d'autres travaux, et par une réduction de la stabilité du sol, qui donne lieu à son tour à des reptations et glissements de terrain.

✓ **Accroître la richesse des sols en matière organique**

La matière organique des sols (MOS) joue un rôle central dans le maintien de leurs fonctions et dans la prévention de leur dégradation. Ceux-ci constituent la plus grande réserve de carbone organique de la planète ; à ce titre, ils sont indispensables à la régulation du climat et à l'atténuation des effets du changement climatique, grâce à la compensation qui s'opère entre les émissions de gaz à effet de serre et le piégeage du carbone. Pour cette raison, la MOS joue un rôle stratégique dans l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets, aussi convient-il d'en stabiliser ou d'en accroître les stocks mondiaux. Une perte de carbone organique du sol, due à une mauvaise utilisation des terres, à une mauvaise gestion des sols ou à de mauvaises pratiques culturales, peut entraîner une détérioration de la qualité et de la structure des sols, et accroître l'érosion de ceux-ci, ce qui peut donner lieu à des émissions de carbone dans l'atmosphère. À l'inverse, une bonne utilisation des terres et une bonne gestion des sols peuvent entraîner une rétention plus importante du carbone organique dans le sol et se traduire par une meilleure qualité des sols, susceptible d'atténuer en partie la hausse du taux de CO₂ atmosphérique.

✓ **Favoriser l'équilibre des éléments nutritifs du sol et leurs cycles**

Les notions de suffisance et d'utilisation efficace s'appliquent tout particulièrement au comportement dynamique des éléments nutritifs dans le continuum sol-eau-éléments nutritifs végétaux. Les besoins des variétés cultivées, les caractéristiques et conditions locales du sol, et les régimes météorologiques sont les éléments à prendre en compte dans la nutrition des végétaux. Cette nutrition peut être renforcée par le recyclage des éléments nutritifs ou par l'ajout d'engrais minéraux (chimiques) ou organiques et autres amendements du sol provenant de sources primaires (phosphate naturel) ou secondaires (phosphore des boues d'épuration). Il est fondamental d'assurer la gestion des éléments nutritifs selon un système et une méthode adaptée, et de s'assurer parallèlement que l'usage choisi pour une terre donnée est adapté à celle-ci. Les avantages d'un apport suffisant et équilibré d'éléments nutritifs répondant aux besoins des plantes sont bien connus: les quantités d'aliments, de fourrage, de fibres, de bois d'oeuvre, et de carburants produites sont optimales (ou se rapprochent du niveau optimal) dans un contexte géographique donné; il est moins nécessaire de prendre des mesures pour lutter contre les

ravageurs, et de prévoir un apport extérieur d'amendements organiques et inorganiques et d'engrais minéraux; la pollution, liée à un usage inadapté de produits agrochimiques, est réduite; et le piégeage du carbone dans le sol est renforcé (la biomasse produisant du carbone qui est ensuite restitué au sol). Une carence en éléments nutritifs de base conduit à une croissance insuffisante des végétaux et se traduit par des récoltes moins abondantes, à valeur nutritionnelle faible. À l'inverse, un excès de nutriment dans les sols se traduit par: a) le lessivage des éléments nutritifs excédentaires (en particulier de l'azote et du phosphore) issus des champs agricoles, qui donne lieu à une eutrophisation et à une détérioration de la qualité de l'eau et des écosystèmes terrestres et aquatiques; b) un rejet plus important d'oxyde nitreux (gaz à effet de serre) du sol vers l'atmosphère; c) la fuite des formes mobiles de l'azote vers les eaux servant à la consommation humaine, avec d'éventuelles conséquences négatives sur la santé et d) une mauvaise récolte.

II.5. Prévenir et limiter les phénomènes de salinisation et d'alcalinisation des sols, et en atténuer les effets

La salinisation est l'accumulation dans les sols de sels de sodium, de magnésium et de calcium solubles dans l'eau. Elle résulte d'une forte évapotranspiration, de l'infiltration d'eau de mer dans les terres et de processus liés à l'activité humaine (à une mauvaise irrigation, par exemple). Ce phénomène fait baisser le rendement des récoltes et, au-dessus d'un certain seuil, rend tout à fait impossibles la production des cultures

II.6. Prévenir et limiter la contamination des sols

Le sol peut filtrer, fixer et neutraliser, mais aussi libérer des polluants lorsque les conditions changent (des métaux lourds lorsque le pH baisse, par exemple). La prévention de la contamination des sols reste donc la meilleure façon de garder des sols sains et d'assurer la sécurité sanitaire des aliments, conformément aux Objectifs de développement durable. Les contaminants susceptibles de pénétrer les sols peuvent provenir de sources diverses : intrants agricoles, apport de sous-produits sur les terres, dépôts atmosphériques, eaux issues des inondations et de l'irrigation, déversements accidentels, mauvaise gestion des déchets urbains et des eaux usées, entre autres. Il y a accumulation et contamination si la vitesse d'accrétion d'un

contaminant donné excède la vitesse d'élimination de celui-ci du système pédologique. Parmi les conséquences néfastes possibles de ce phénomène, on citera la toxicité des plantes (et la baisse de productivité qui en résulte) ; la contamination des eaux, ainsi que de zones situées à distance du site de contamination, par le transport de sédiments et les risques accrus pour la santé humaine et animale du fait de l'accumulation des contaminants dans la chaîne alimentaire.

II.7. Prévenir et limiter l'acidification des sols

L'acidification des sols agricoles et forestiers résultant de l'activité humaine est principalement associée à l'élimination des cations basiques et à la perte de pouvoir tampon du sol, ou à l'augmentation des apports en azote et en soufre (apports d'engrais des pâturages de légumineuses, dépôts atmosphériques). Moins un sol contient de minéraux altérables (c'est par exemple le cas des sols anciens, fortement altérés, ou formés à partir de matériaux riches en quartz), moins son pouvoir tampon sera important et/ou plus sa concentration en aluminium sera élevée

- Mettre en place des programmes de suivi de la biodiversité des sols, y compris des indicateurs biologiques (par exemple de l'écotoxicologie locale) et des signaux d'alerte précoce in-situ.
- Préserver ou accroître la teneur en matière organique nécessaire à la biodiversité des sols ;
- Autoriser et utiliser les pesticides dans les systèmes agricoles suivant les recommandations du Code de conduite international sur la gestion des pesticides et de la réglementation nationale pertinente.
- Encourager, selon qu'il convient, le recours aux espèces de légumineuses fixatrices d'azote, aux inoculants microbiens, aux mycorhizes (spores, hyphes et fragments de racines), aux vers de terre et autres micro-, méso- et macro-organismes bienfaisants pour les sols (banques de coléoptères, par exemple);
- Restaurer la biodiversité végétale des écosystèmes, ce qui favorisera la biodiversité des sols

II.8. Limiter l'imperméabilisation des sols

La conversion des terres, et l'imperméabilisation des sols qui l'accompagne dans le cadre de la mise en place d'établissements et d'infrastructures, touchent tous les sols, mais sont particulièrement préoccupantes en ce qui concerne les sols productifs et arables, qui jouent un rôle important au regard de la production et de la sécurité alimentaires, de la nutrition, et des objectifs à atteindre en matière d'économie circulaire. Dans bien des endroits, l'expansion urbaine touche les sols les plus productifs à proximité des villes et établissements. L'imperméabilisation des sols et la conversion des terres entraînent une perte, majoritairement irréversible, de tout ou partie des fonctions du sol, ainsi que des services écosystémiques correspondants.

II.9. Prévenir le tassement des sols et atténuer ses effets

Le tassement des sols est une dégradation de la structure du sol qui se produit sous l'action des machines et du piétinement du bétail. Il correspond à une diminution ou à une rupture de la continuité des pores. Les agrégats du sol sont détruits et les macropores s'affaissent et perdent en densité, d'où une moins bonne aération du sol, un moins bon drainage, une moins bonne pénétration de l'eau, qui se traduisent à leur tour par un ruissellement plus important. Le tassement limite le développement racinaire et la germination des semences en leur opposant une forte résistance mécanique, ce qui nuit à la biodiversité du sol et entraîne un encroûtement du sol de surface.

- Prévenir la détérioration de la structure du sol sous l'action d'un labour inadapté ou excessif.
- Limiter le passage de véhicules au strict nécessaire, en particulier sur les sols nus : réduire le nombre et la fréquence des interventions, mettre en place des systèmes de limitation de la circulation, et n'effectuer d'opérations agricoles ou forestières que lorsque la teneur en humidité du sol le permet, jusqu'aux niveaux les plus profonds.

II.10. Améliorer la gestion de l'eau dans le sol

Dans un sol géré de manière durable, l'eau s'infiltré rapidement ; stockée de façon optimale, elle y est disponible pour les plantes, et lorsque le sol arrive à saturation, le drainage s'effectue efficacement. Mais lorsque ces conditions ne sont pas réunies, des problèmes d'engorgement et de pénurie d'eau apparaissent. D'un côté, l'engorgement, lié à la saturation en eau du sol, crée pour de nombreux végétaux des problèmes d'enracinement qui font baisser les rendements. Ce phénomène peut par ailleurs rendre mobiles certains contaminants présents dans le sol, tels que l'arsenic et le méthyl mercure. D'un autre côté, des pénuries d'eau se déclarent dans les zones où l'évaporation, les écoulements de surface ou la percolation entraînent des pertes d'eau, avec pour conséquence possible de mauvaises récoltes.

- Dans les zones humides où les précipitations sont excédentaires par rapport à l'évapotranspiration, prévoir des systèmes de drainage supplémentaires pour assurer l'aération indispensable aux fonctions racinaires (telles que l'absorption des éléments nutritifs). S'en préoccuper particulièrement dans le cas des sols à texture fine, dont la capacité de rétention d'eau est élevée.
- Installer et entretenir des systèmes de drainage superficiel et souterrain afin de permettre de maîtriser la hausse du niveau des nappes phréatiques et d'atténuer les effets d'éventuels engorgements.
- Renforcer par divers moyens le taux d'utilisation effective par les plantes des eaux d'irrigation: adopter des méthodes de transport, de distribution et d'apport de l'eau améliorées (goutte-à-goutte programmé ou irrigation par micro aspersion, par exemple) qui limitent les pertes d'eau d'irrigation par évaporation et percolation; mieux estimer les réserves en eau des sols; mieux choisir les espèces ou variétés plantées; et mieux calculer les périodes d'approvisionnement en eau et les quantités d'eau à fournir

II. FERTILISATION DE SOL

Pour accompagner au mieux la production maraîchère, il est nécessaire d'identifier les étapes d'un cycle cultural pour s'assurer que l'outil réponde aux besoins du producteur tout au long de sa production. La fertilisation représente ainsi une étape importante de cette production, à la fois dans l'obtention d'un produit de qualité et en termes de charge de travail du producteur.

La fertilisation d'un sol revient à maintenir ou augmenter sa fertilité pour placer les plantes cultivées dans les meilleures conditions d'alimentation (Dictionnaire Larousse). La fertilisation d'une culture, c'est lui apporter les éléments nutritifs qu'elle ne peut trouver par elle-même en quantité suffisante pour obtenir un développement optimal (rendement potentiel visé). Il faut cependant raisonner ces apports de fertilisants, autant d'un point de vue financier qu'environnemental. En effet, ça représente une part des charges liées à la production (de 6 à 30 % des charges opérationnelles en agriculture biologique (Bio Nouvelle-Aquitaine 2018, CA Auvergne-Rhône-Alpes 2016), et d'autre part, les éléments apportés sur une culture peuvent se disperser dans le milieu et venir impacter les écosystèmes et les cours d'eau. Il est nécessaire (il faut donc) de bien quantifier et positionner la nutrition à apporter aux cultures. On cherche à caractériser au mieux deux éléments : les besoins de la plante d'un côté, et de l'autre, la composition et le comportement des produits fertilisants à apporter en prenant en compte la capacité naturelle du sol à fournir ces éléments nutritifs.

III.1. D'un point de vue charge de travail, la fertilisation mobilise le producteur à plusieurs niveaux :

- L'optimisation de la fertilisation pour trouver l'équilibre entre coût, travail, durabilité et performance
- La réponse aux obligations réglementaires (traçabilité et obligations documentaires...)
- Le suivi dans le temps de ses pratiques (mesures des actions, respect du cahier des charges...)

En fonction de la situation de l'exploitation, les obligations sont plus ou moins importantes (Zone Vulnérable aux Nitrates (ZVN), labels, justification des choix réalisés, PPF...).

Par conséquent, au vu de son paramétrage et du besoin de données de référence, la fertilisation demande une réflexion et une analyse poussée pour une mise en place optimale. L'outillage numérique peut aider les producteurs dans cette opération et faciliter sa mise en place avec la traçabilité adaptée au contexte de chaque producteur.

Elzeard est une application de planification et de conduite des cultures, utilisable sur tout le cycle de production. Son but est d'accompagner au quotidien les producteurs et de faciliter leur travail. Comment ? Par la personnalisation de l'exploitation à son contexte local et la fourniture de services tout au long du cycle de production, via une application Web sans besoin de gestion informatique et utilisable partout, des bureaux aux parcelles. Le suivi de la conduite des cultures est organisé autour des équipes et parcelles avec la collecte des données et en aval, des documents de traçabilité pourront être complétés et générés à partir des opérations réalisées.

III.2. Le sol, support et ressource pour les cultures

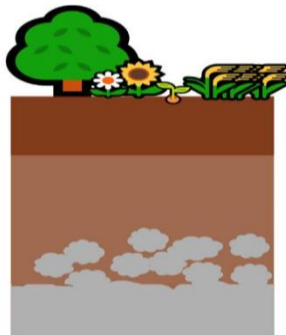
Avant toute chose, il faut comprendre de quelle manière fonctionne le système sol - plante.

Le « sol » est à la fois le support sur lequel se développent les cultures, et à la fois une source de nutriments et d'eau pour de nombreux organismes. La liste des différents composants du sol peut être simplifiée comme il suit :

- Les débris organiques (animaux, végétaux et microbiens) viennent se déposer en surface puis se mêler au reste de la terre ;
- Une partie de la roche mère, sur laquelle le sol se forme, est altérée et mélangée aux débris organiques. Elle vient former, en proportions différentes en fonction de sa nature, les 3 éléments constitutifs de la terre : l'argile, le limon et le sable. Ils déterminent la nature et la structure du sol, qui influencent le développement des cultures et leur fertilisation ;

- La pédofaune (faune permanente ou temporaire du sol : composée de petits insectes, vers de terre, bactéries, champignons, algues...) fait partie des composants du sol et a de nombreux rôles de décomposition et d'entretien de sa fertilité ;
- Enfin, l'eau retenue par le sol, dans laquelle peuvent être présents de nombreux minéraux en solution.

Le schéma ci-dessous décrit plusieurs couches de sol, appelée « Horizons », aux propriétés différentes



L'horizon le plus proche de la surface est également le plus intéressant en agriculture. Pédofaune, racines, ressources en eau et fertilité y sont les plus concentrés. C'est dans cet horizon que les agriculteurs viennent travailler en majorité, pour obtenir une structuration favorable au développement de leurs cultures. De plus, c'est dans celui-ci que va se stocker la plupart de la fertilisation apportée.

- La nature du sol, autant que sa structure et sa fertilité, doivent constituer le point de base de la réflexion sur la fertilisation. On doit en effet évaluer le potentiel agronomique d'un sol, à savoir sa capacité à contribuer au bon développement d'une culture par sa nutrition. La nature du sol affecte sa structure, et un sol bien structuré favorise le développement racinaire et une bonne fertilité potentielle, permettant de réduire en partie les besoins en fertilisation.
- Concernant la nature (ou texture) du sol, ses trois composants sont : l'argile, le limon et le sable. En fonction de la teneur et de l'organisation de ces trois éléments dans le sol, il existe différents types de sol présentant des caractéristiques différentes.

- De par sa nature, mais aussi dû à l'activité biologique, la couverture du sol, et aux pratiques réalisées par le producteur ; le sol a une certaine structure.

Exemple : On peut obtenir un sol très homogène et peu structuré qui risque d'être asphyxiant et sensible aux évènements climatiques (fortes précipitations, alternance gel / dégel...) ; ou bien un sol très structuré qui aura une bonne résilience et favorisera le développement racinaire, et donc végétal.

- Une bonne fertilité se traduit à la fois par des critères physiques (profondeur, structure), chimiques (quantités et formes des éléments nutritifs, carbone et eau) et biologiques (activité et biomasse de la pédofaune). Elle désigne la capacité d'un sol à produire durablement de récoltes de qualité (UNIFA). Elle est donc fonction de la nature et structure du sol, des facteurs environnementaux et des pratiques agronomiques.

Par exemple un sol sableux très peu structuré et drainant retiendra peu d'eau et de nutriments, ce qui augmente les risques de pollution du milieu, mais défavorise le développement des champignons pathogènes, au contraire d'un sol argileux structuré qui va davantage retenir l'eau et les nutriments. La fertilisation sur cette parcelle de sable se fera par petits apports réguliers, là où elle peut se faire en apports plus importants et espacés sur le sol argileux.

Pour connaître ces caractéristiques (nature, structure, fertilité), des analyses de sol et des tests au champ (carottage, profil de sol, test-bêche, tests chimiques...) sont nécessaires. Un échantillon de terre est prélevé et observé à l'œil nu dans un premier temps (étude de sa structure), puis envoyé à un laboratoire spécialisé pour l'analyse de ses constituants (étude de la nature), permettant également d'évaluer la quantité de nutriments déjà présents dans le sol, ainsi que sa capacité à retenir les nutriments apportés (étude de la fertilité).

Les paramètres de structure et de fertilité, contrairement à la nature du sol, vont évoluer au fil du temps en fonction de nombreux facteurs (climat, fertilisation, couverture du sol, travail du sol...). C'est pourquoi il est important de renouveler l'analyse d'une même parcelle au fil des années, afin d'y apporter une fertilisation toujours plus finement adaptée.

III.3. Matières organiques et minéralisation

Pour comprendre à quel niveau le producteur influence le développement de ses cultures, il faut maintenant s'intéresser aux ressources nutritives des végétaux.

Nous parlions plus tôt de débris organiques qui se déposent à la surface du sol : ils font partie de ce qu'on appelle les matières organiques (MO) du sol. Ce terme désigne l'ensemble des constituants organiques vivants ou morts, d'origine animale, végétale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol (feuille morte, animaux, bactéries...).

III.3.1 catégories :

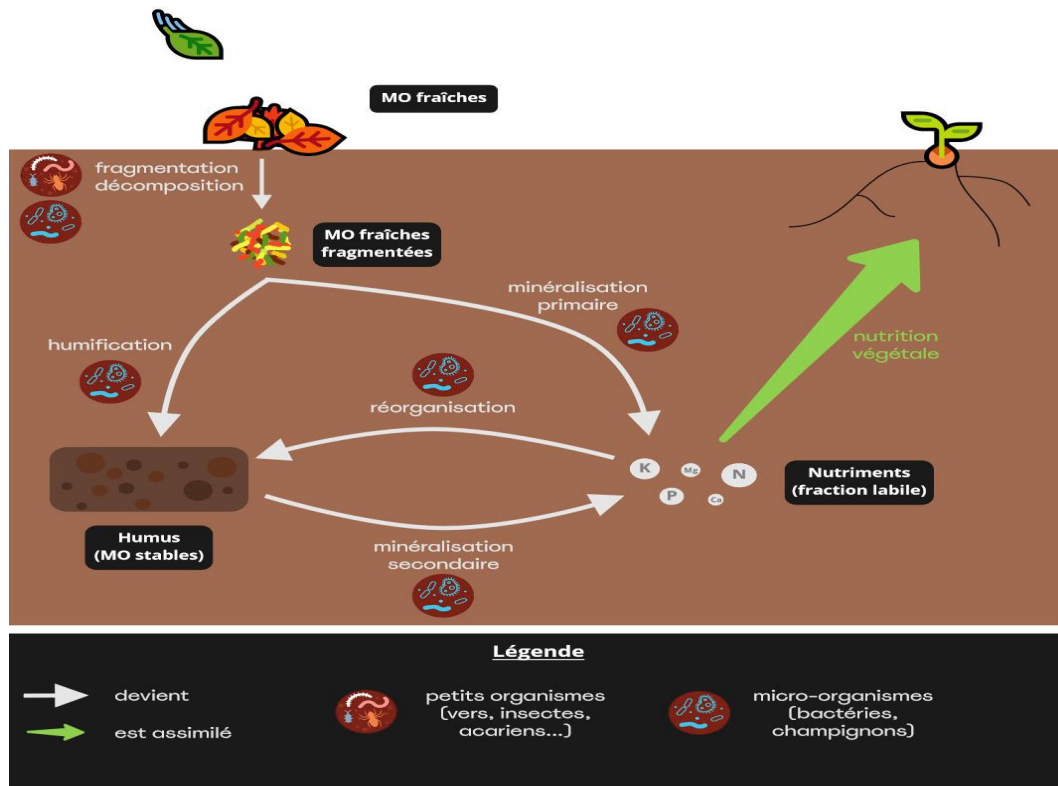
Dans ces matières organiques, on retrouve 3 catégories

- Les MO vivantes, soit la totalité de la biomasse en activité du sol (racines, vers de terres, micro-organismes...)
- Les MO fraîches, correspondant aux débris d'origine végétale, animale, fongique (champignon) et microbienne
- Les MO stables, désignant des composés organiques stabilisés issus de l'évolution des matières précédentes

Cet amas de débris (MO fraîches), de taille assez grossière, vient former la couche surfacique du sol, appelée litière. Une succession d'organismes participe alors à sa décomposition, celle-ci voit ainsi la taille de ses fragments diminuer à chaque nouvelle étape de décomposition. C'est la pédofaune qui vient principalement réaliser cette étape de fragmentation des débris, avant que les bactéries, champignons, algues et autres ne prennent le relais.

Cette MO fraîche fragmentée a deux possibilités d'évolution (voir le schéma ci-dessous) :

- Soit elle va être décomposée par les micro-organismes jusqu'à ce que ses divers composants soient libérés les uns des autres et forment une masse de nutriments relativement libres et disponibles pour les végétaux : c'est la fraction labile ou active. On appelle cette voie de transformation la minéralisation primaire.
- Soit elle va être complexée, également sous l'action des micro-organismes, en une forme de MO stable : c'est l'humus. Ce processus est appelé humification.



Mais ces deux formes évoluées de la MO fraîche ne sont pas immuables et vont à leur tour évoluer l'une vers l'autre. C'est-à-dire que des minéraux, s'ils subissent une réorganisation, peuvent devenir de l'humus, et l'humus peut être minéralisé et décomposé en minéraux libres (alimentant la fraction labile) : c'est la minéralisation secondaire. A noter que cette minéralisation secondaire, contrairement à la minéralisation primaire, se déroule sur une échelle de temps beaucoup plus longue (les minéraux sont libérés petit à petit).

Pour résumer, le terme minéralisation signifie qu'une matière organique "complexe" et "organisée" (feuille morte, fumier...) est décomposée, et que ses différents composants se libèrent et alimentent la fraction labile. Cette fraction va constituer une des principales ressources énergétique et nutritive pour la pédofaune et les végétaux. En ce sens, il est important de connaître le comportement d'un produit fertilisant en termes de minéralisation afin d'en adapter l'utilisation sur une culture donnée.

III.4. Nutrition végétale et fertilisation

Les minéraux contenus dans les différentes fractions du sol (labile, stable) et participants à la nutrition des cultures sont présentés ci-dessous.

- Le carbone C, élément majeur, a de multiples rôles structurels et métaboliques indispensables au développement végétal. Présent en quantité dans les matières organiques, il est peu limitant pour la croissance végétale.
- Les 3 macro-éléments primaires : l'azote N, le phosphore P, et le potassium K. nécessaires aux cultures, sont souvent présents en quantité insuffisante dans les sols, et constituent les principaux composés des produits fertilisants. Ils participent à la pollution des sols et cours d'eau s'ils se dispersent dans le milieu (principalement l'azote et le phosphore), ce qui fait d'eux le point principal de vigilance quant au raisonnement de la fertilisation.
- Enfin, on notera un besoin de certaines cultures en macro-éléments secondaires comme le calcium, le magnésium et le soufre ; ou bien en oligo-éléments : bore, manganèse, zinc, fer, cuivre et molybdène.

On ne parlera que de ceux-là car ce sont les principaux éléments utilisés par les cultures. La composition des matières fertilisantes varie énormément d'une matière à l'autre, et il en existe différentes sortes. Une matière fertilisante est, selon l'ANSES, "un produit dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux, ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols". Il existe une classification des différentes matières fertilisantes, qui se divisent en deux premières catégories : les engrais et les amendements.

- **Engrais** : ils apportent des éléments nutritifs à la plante spécifiquement (N, P, K, Ca, S...).
- **Amendements** : servent à améliorer les propriétés (physiques, chimiques et biologiques) du sol, par l'apport de calcaire ou de matières organiques.

Il existe d'autre part, dans ces deux catégories principales, des produits d'origine organique et d'autres d'origine minérale. Les produits organiques sont le plus souvent issus des matières organiques fraîches ou compostées d'origine animale ou végétale, tandis que les produits minéraux sont extraits de gisements ou fabriqués via synthèse chimique. La différence

d'utilisation entre ces deux dernières catégories réside principalement dans la forme de leurs constituants.

- Un produit minéral contient des minéraux simples. Ces éléments sont donc soit immédiatement assimilables par la culture (à action rapide) soit ils ont subi un processus ralentissant leur minéralisation (enrobage, bio-inhibition...), entraînant une libération maîtrisée dans le temps peu importe la saison et la température du sol (à action lente). Ils permettent donc d'apporter une quantité connue de nutriments facilement assimilables par la culture. L'utilisation de ces fertilisants minéraux, notamment ceux à action rapide, demande une attention particulière pour deux raisons. La plante peut montrer des signes de toxicité face à une teneur trop importante en nutriment dans son environnement et leur forme très libre dans le sol entraîne un risque de fuite (entraînement par précipitations, volatilisation) depuis le milieu cultural vers les écosystèmes sensibles et les ressources en eau (pollution).
- Un produit organique peut avoir plusieurs formes. Les nutriments des produits solides y sont présents sous forme de complexes, entraînant une libération lente et donc réduisant les risques de toxicité pour les cultures (phytotoxicité) et de pollution de l'environnement. Ils sont également riches en carbone organique, participant à la bonne santé du sol (structuration, alimentation de la pédofaune...). Les produits liquides sont en général très chargés en azote (guano de volailles, lisiers...) et sont sensibles au risque de phytotoxicité et de pollution par volatilisation. Ces minéraux sous forme organique sont libérés grâce à l'action de la microfaune, ce qui implique un effet de la saisonnalité sur leur biodisponibilité pour les cultures (peu minéralisés en hiver et fortement minéralisés en été, dû aux températures). Cette microfaune doit être présente en quantité suffisante pour minéraliser le produit, d'où l'importance d'avoir une biomasse et une biodiversité importantes dans le sol. De plus, les quantités de nutriments ne sont pas aussi bien contrôlées qu'avec des fertilisants minéraux, mais il semblerait qu'une fertilisation organique favorise une meilleure fertilité que ce soit la vie du sol et taux de matière organique (Réaliser des apports d'effluents organiques, GECO 2017-2021).

Les produits organo-minéraux sont un mélange entre deux produits de type minéral et organique. Leurs propriétés sont celles combinées des deux types de produits mentionnés ci-dessus.

Le rapport entre les teneurs de carbone C et d'azote N dans le produit est révélateur du comportement des éléments nutritifs et de leur utilisation par la culture. Plus ce rapport C/N est élevé, plus la teneur en carbone est importante par rapport à l'azote, et plus les micro-organismes chargés de la minéralisation du produit vont prendre du temps et devoir consommer l'azote de leur environnement pour dégrader le produit. Cela peut amener, si ce rapport est très élevé et la ressource en azote du sol faible, à une "faim d'azote" : c'est lorsque les micro-organismes consomment tout l'azote du sol, au profit de la dégradation du produit fertilisant et au détriment de la nutrition des cultures. Au contraire, un rapport C/N faible indiquera une quantité d'azote importante par rapport au carbone dans le produit, qui se traduira par une minéralisation rapide du produit par les micro-organismes. D'une manière générale, les produits ayant un C/N élevé auront tendance à former de l'humus, alors que ceux ayant un C/N faible passeront par la minéralisation primaire et alimenteront la pédofaune et les végétaux.

La fertilisation à base de produits ayant un C/N faible va donc se traduire par un apport ciblé de nutriments, que la culture va pouvoir utiliser au moment où elle en a le plus besoin, à condition que le traitement soit bien positionné dans le cycle de développement de la plante. La fertilisation à base de produits ayant un C/N élevé va plutôt servir d'apport de fond, dont la libération des minéraux se répartit sur le cycle cultural, voire sur une partie de la rotation. Elle ne concerne pas que la nutrition des plantes, étant également très importante pour l'entretien du sol : structuration, maintien de la biodiversité, ressource pour la pédofaune, maintien de la fertilité... Néanmoins, ces principes sont assez généraux et les mécanismes participant aux cycles biogéochimiques de ces éléments nutritifs peuvent être plus complexes et amener à des comportements différents de ceux expliqués ici.

III.5. Besoins des cultures

Toutes les cultures n'ont pas les mêmes besoins en termes de nutrition. Une variabilité existe en fonction des individus, familles, espèces... et les besoins sont à adapter au cycle cultural en fonction de l'assimilation de la plante.

Exemples : Une culture a un besoin total de 100 kg/ha d'azote répartis tout au long de son développement. On favorisera une fertilisation azotée en 4 passages à 25 kg/ha d'azote.

Un autre exemple, une autre culture a les mêmes besoins, mais principalement en début et en fin de période de maturation. Dans ce cas, on privilégiera 2 passages à 50 kg/ha d'azote à l'implantation et pendant la maturation.

De la même manière, les besoins en nutriments varient selon le cycle cultural. Une culture peut avoir une courbe de besoins en azote différente de la courbe de ses besoins en potassium. C'est notamment pour cette raison qu'une pollution risque d'être observée si la fertilisation intervient à un moment où la plante assimile peu de nutriments : ceux-ci risquent de ne pas être stockés dans le sol ou les végétaux.

La temporalité à l'échelle du cycle cultural a son importance, mais elle l'est également à l'échelle de plusieurs cultures. La rotation culturale (succession des cultures sur la parcelle) a une grande importance dans le processus de fertilisation.

Il existe des cultures qui ont de forts besoins en nutrition minérale, mais certaines vont plutôt enrichir le sol : appelées légumineuses, elles font des symbioses avec des bactéries au niveau de leurs racines. Ces bactéries permettent la nutrition azotée de la plante via la captation de l'azote de l'air, à partir de laquelle la plante synthétise des sucres nécessaires au maintien de sa flore bactérienne symbiotique. Sur ces cultures, un apport azoté est donc inutile, voire nocif pour l'environnement.

Physiologiquement parlant, les nutriments servent à la constitution de la plante, les parties récoltées du végétal ne verront donc pas leurs nutriments retourner à la parcelle, ce sont les "organes exportés". En revanche, tous les résidus de cultures laissés sur place vont pouvoir redonner leurs nutriments dans le sol lors de leur décomposition. Utiliser ces légumineuses en couverts végétaux permet de ne pas laisser le sol nu (risques de déstructuration et de pollution liés aux précipitations) tout en enrichissant le sol en azote. Positionner des espèces intéressantes

en termes de mobilisation des éléments du sol avant des cultures gourmandes en fertilisation permet donc de réduire la quantité d'intrants apportés à cette dernière.

Si ces espèces d'intérêt sont cultivées sur une parcelle et ne sont pas exportées, elles sont entièrement restituées au sol et sont appelées des engrais verts. Cette famille d'engrais vert est formée de légumineuses, riches en azote, mais aussi de céréales qui ont une capacité à explorer un grand volume de sol pour mobiliser les éléments nutritifs, et qui structurent le sol grâce à leur système racinaire. Certaines cultures, au contraire des légumineuses, ont de forts besoins en azote et peuvent être placées à des moments stratégiques de la rotation afin de capter l'azote résiduel de la parcelle et éviter les risques de pollution des cours d'eau, ce sont les couverts intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN).

La rotation culturale nécessite donc une réflexion systémique du producteur par rapport à sa parcelle et à ses objectifs de production. Il doit avoir connaissance des comportements des cultures qu'il va mettre en place afin de savoir comment les ordonner dans le temps sur une même parcelle. Tous ces processus et contraintes alimentant la réflexion autour de la fertilisation démontrent à quel point celle-ci est délicate.

Bibliographie

- A., B. (1985). *Expérimentations en culture fourragère en Côte d'Ivoire centrale. Rapport technique, IDESSA-IEMVT.*
- Audru J., C. J.-P. (1987). *La végétation et les potentialités pastorales de la République de Djibouti. IEMVT-CIRAD.*
- Boudet G., C. M. (1987). *.. Pâturages et élevage au sud de la Manritanie (Kaédi) ; étude ' - intégrée sur les pâturages, leur conservation et. Leur. Restauration ; le chepte.*
- César J., & Z. (1990). *.. Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le. maintien de la fertilité des terres. Communication, r, rencontres internationales, Savane d'Afrique, terres fertiles. Montpellier, CIRAD, .*
- Depierre D., G. H. (1971). *.. Désertification de la zone sahélienne au Tchad (bilan de dix années de mise en défens). IEMVT - Bois et Fore^& des Tropiques, 139 : 3. .*
- Diatta A., M. A.-N. (1990). *Semi-intensification de la production fourragkre pour restauration de jachères et de parcours en vallie du Sénégal. ISWA - Dakar, Rapport de grenlibre muzée.*
- Dulieu D., G. A. (1977). *La dégradation des plturages de la région de Ndjamen (République du Tchad) en relation avec la présenie de Cyanophycées psammophiles. Etude préliminaire. Rev. Elev. M4d. vtF. Pays trop.*
- FAO. (2004). *Carbon sequestration in dryland soils. , .*
- FAO. (2015). *Healthy soils are the basis for healthy food production.,.*
- Gaston A., D. D. (1977). *..Projet Assale-Serbewel. Seconde Ctude agrostologique des pâturages pour contrôle de l'tvolution de la végétation. IEMVT-Etclde agrostologique.*
- GIEC. (2000). *Utilisation des terres, changements d'afectation des terres et foresterie. Résumé à l'intention des décideurs. Rapport spécial du .*
- Godet, G. (1981.). *Rapport annuel d'activité, annie 1981. SBDEPRA, encadrement Nord.,.*
- Guervilly T., B. A. (1992). *Restauration des pâturages au Tchad (à paraître). Hoffmann O. 1985. Pratiques pastorales et dylzrrmique du couvert vbge"tal en pays &obi (nord-est de lir Côte d'Ivoire). ORSTOM, .*
- Toutain, B. (1977). *Essais de régénération mécanique de quelques parcours sahéliens dégradés. Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.,.*

