

MANUEL

DE FORMATION

- GESTION DE L'ENVIRONNEMENT -

SYSTÈMES DE PRODUCTION DURABLE



Ce manuel de formation a été conçu et réalisé par les services Formation et Information & Communication du COLEACP.

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

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

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

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

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

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



SYSTÈMES DE PRODUCTION DURABLE

Chapitre 1: L'agriculture durable et la production intégrée 1

- Impact de l'agriculture sur l'environnement : évolution des exigences de durabilité
- Les exigences environnementales des différents référentiels
- Mise en œuvre d'une politique de protection de l'environnement : illustration pratique

Chapitre 2: Modes de production durables et analyse des risques liés aux pratiques agricole 29

- Modes de production et impact sur l'environnement
- L'analyse des risques liés aux pratiques agricoles pour l'environnement

Chapitre 3: La gestion durable des sols 83

- Le sol et le maintien de la fertilité des terres
- La dégradation et la contamination des sols
- L'érosion des sols (mécanismes et conséquences)
- La protection des sols (techniques de prévention)
- La fertilisation raisonnée des sols (analyse des sols et gestion des apports)
- Exigences relatives au sol dans le cadre des démarches qualité
- Annexes : Techniques de lutte contre l'érosion

Chapitre 4: Gestion durable de la matière et des déchets organiques 123

- Gestion durable de la matière organique
- Les formes de la matière organique et les amendements
- La gestion et les risques des fertilisants organiques
- Production, utilisation et traitement des déchets organiques
- Annexe : Description de la fabrication du compost aérien

Chapitre 5: La gestion durable des eaux.....143

- Gestion durable de la matière organique
- Les risques de contamination des eaux
- Prévention des pollutions ponctuelles ou accidentelles
- Les zones tampons, les aménagements et la réduction de la dérive
- Lavages post-récolte et contamination des eaux
- Normes réglementaires et qualité des eaux
- Économiser l'eau

Chapitre 6: La gestion durable de la biodiversité.....183

- Définitions et dimensions de la biodiversité (niveaux, structures, fonctions)
- La biodiversité : importance et menaces
- Protéger et améliorer la gestion de la biodiversité
- Effets des pesticides sur les biocénoses
- Sélectivité des produits phytosanitaires et respect des auxiliaires

Chapitre 7: La gestion durable de l'énergie213

- Changement climatique et gestion de l'énergie
- Besoins énergétiques et économie de l'énergie de base
- La transition énergétique

Abréviations et acronymes les plus utilisés.....229

Références bibliographiques233

Sites Web utiles243



Chapitre 1

L'agriculture durable et la production intégrée

| | |
|---|----|
| Impact de l'agriculture sur l'environnement : évolution des exigences de durabilité..... | 2 |
| Les exigences environnementales des différents référentiels | 12 |
| Mise en œuvre d'une politique de protection de l'environnement : illustration pratique..... | 22 |

1. IMPACT DE L'AGRICULTURE SUR L'ENVIRONNEMENT : ÉVOLUTION DES EXIGENCES DE DURABILITÉ

1.1. Impacts environnementaux de l'agriculture intensive

Si la mission assignée à l'agriculture – produire plus au meilleur coût – a bénéficié à l'ensemble de la société, il en est résulté des incidences défavorables pour l'environnement. Non sans mal, tout le monde s'accorde aujourd'hui à reconnaître le caractère polluant de l'agriculture intensive telle qu'elle est pratiquée dans de nombreuses régions du monde.

L'agriculture est le **premier consommateur d'eau** (50 à 80 %), le **premier émetteur de pollution azotée** (65 %), le deuxième émetteur de phosphore (20 %). 25 % des nappes européennes dépassent la norme admise pour les nitrates, et une grande partie des ressources en eau douce ne respectent pas la norme maximale admise pour les produits phytosanitaires. La concentration en produits phytosanitaires dans l'eau de pluie atteint couramment 1 à 2, voire 3 pg/litre. Dans l'air, l'agriculture émet plus de 90 % du NH_3 , la moitié du CH_4 et le quart du N_2O . L'accumulation de métaux lourds (Cu, Zn, Cd) issus des engrais, boues et déjections animales menace certaines terres de phytotoxicité. En France, on estime que plus de 20 % des terres pourraient connaître des problèmes de métaux lourds si leur pH s'acidifiait. Certaines pratiques culturales ont entraîné le durcissement des sols et la baisse de leur productivité. L'érosion des sols s'est accentuée depuis 30 ans ce qui provoque par exemple des coulées de boue.



Figure 1 - Plantation de bananes en Martinique. Selon le rapport du cancérologue Dominique Belpomme, les pesticides employés pour l'agriculture dans les Antilles ont provoqué un « désastre sanitaire ».

L'agriculture est le premier intervenant sur les paysages et les écosystèmes : zones humides drainées, centaines de milliers de km de haies arrachées, déforestation massive, suppression des jachères... C'est aussi le **premier utilisateur de la biodiversité** : la recherche de variétés performantes a beaucoup réduit la diversité des espèces cultivées (90 % des maïs européens viennent d'une seule souche ; vers 1990, une seule variété de pommes (Golden) représentait 75 % des ventes).

L'utilisation répétée de produits phytosanitaires a **multiplié les résistances** (plus de la moitié des insectes résistent aux organophosphorés, plus de 150 espèces de champignons pathogènes sont résistantes, on trouve depuis 1998 des herbes sauvages résistantes au glyphosate).

Enfin, malgré les études imposées aux fabricants, des questions sanitaires et environnementales restent **encore insuffisamment évaluées**, dont :

- l'effet à long terme, pour l'opérateur et pour le consommateur, des pesticides présents à faibles concentrations dans les aliments, dans l'eau, dans l'air, surtout lorsqu'il s'agit de multiples résidus (on peut détecter jusqu'à 7 ou 8 résidus différents sur certains légumes) ;
- l'effet de l'utilisation et de la dispersion des OGM végétaux et animaux dans les écosystèmes ;
- les conséquences sur la microfaune des sols de la dégradation des terres, de l'utilisation intensive des intrants et des diverses pratiques agricoles (ex. : monoculture).

L'impact problématique de certaines pratiques intensives (ex. : lutte chimique) observé aujourd'hui, laisse à penser que la puissance de certaines techniques utilisées récemment par l'agriculture semble avoir dépassé la capacité du monde scientifique à appréhender valablement **l'ensemble de leurs impacts** sur le milieu et celle du monde agricole à maîtriser leurs effets sur l'environnement.



Plus qu'aucune autre branche de l'économie, l'agriculture dépend d'une collaboration harmonieuse entre l'homme et la nature. Malgré tous ses moyens, l'agriculture reste essentiellement déterminée par les **cycles naturels**. Leur non-respect, ainsi que toutes les tentatives de transformer l'agriculture en une branche industrielle, indépendante de la nature, ont conduit à des atteintes dramatiques à notre milieu de vie.

1.2. Conséquences et limites de la production intensive

Les dommages causés par certaines pratiques agricoles intensives **perturbent fortement d'autres activités économiques** qui dépendent des mêmes ressources naturelles, notamment de la qualité de l'eau : tourisme (explosions algales ou envahissement par la jacinthe d'eau), piscicultures (pesticides et algues toxiques), industries agro-alimentaires (nitrates). Épurer pour retrouver une eau de qualité peut coûter cher à la collectivité et aux entreprises. Restaurer un milieu demande efforts et investissements considérables !

Les techniques de production intensive ont produit une **contamination**, voire une **pollution** des milieux (eau, sol, air), à un **appauvrissement des biotopes** et à une **dégradation** des terres agricoles



La « **contamination** » est définie comme la présence anormale de substances ou de microorganismes dans un compartiment de l'environnement. Pour les pesticides de synthèse, on peut donc parler formellement de contamination y compris pour les sols agricoles, même si la présence de pesticides y est attendue et volontaire (ce qui n'est pas le cas pour les milieux aquatiques, par exemple).

Le terme de « **pollution** » désigne la présence de substances au-delà d'un seuil pour lequel des effets négatifs (notamment pour l'homme qui vit dans ce milieu) sont susceptibles de se produire.

1.3. Gestion durable de l'environnement : évolution du cadre légal

Le thème de la gestion de l'environnement est loin d'être nouveau. En 1968 déjà, la convention d'Alger posait les bases de la conservation et l'utilisation des ressources en sol, eau, flore et faune pour les pays d'Afrique. Bien que peu connue, elle a eu le mérite d'avoir instauré en Afrique un cadre juridique régional de gestion rationnelle des ressources naturelles.

1.3.1. La conférence de Stockholm

Début des années 70, les inquiétudes quant aux conséquences de la croissance économique sur le développement social et sur l'environnement sont de plus en plus vives au plan mondial. C'est ainsi qu'a eu lieu la Conférence de Stockholm en 1972, une des premières étapes décisives qui consacre l'adoption de plusieurs instruments juridiques et l'avènement d'institutions spécialisées dans la protection de l'environnement (ex. : le Programme des Nations-Unies pour l'Environnement - PNUE).

1.3.2. Le Sommet de la Terre (conférence de Rio) et les accords environnementaux multilatéraux (AEM) qui en sont issus

En 1992, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) a rassemblé les gouvernements, les organisations non gouvernementales et la société civile pour définir une nouvelle approche de l'environnement et a érigé les questions d'environnement et de développement aux premiers rangs des préoccupations de la communauté internationale.



Baptisée **sommet de la Terre**, cette conférence a réaffirmé le caractère planétaire des problématiques de dégradation des écosystèmes et de gestion des ressources naturelles dans la perspective du développement durable. C'est au cours de ce sommet qu'ont été abordés les Principes directeurs non exécutoires pour un consensus mondial sur la gestion, la conservation et le développement durable de tous les types de forêt, à savoir :

- Le principe du « pollueur-payeur »
- L'équité intergénérationnelle
- Le principe de précaution
- La coopération
- La responsabilité mutuelle

En soulignant la dimension planétaire ou globale des problèmes d'environnement, le sommet de la Terre (conférence de Rio) a largement contribué à l'émergence du droit international de l'environnement qui comporte plusieurs conventions (accords officiels entre États) dont l'objectif est de régir le traitement des questions environnementales globales. Les conventions environnementales qui mobilisent le plus la communauté internationale actuellement sont celles qui sont directement issues du sommet de Rio. Il s'agit de la **convention sur les changements climatiques** (suivi du protocole de Kyoto) et de la **convention sur la diversité biologique** (suivi du protocole de Carthagène)¹.

¹ Une convention fait généralement référence à un accord passé entre États, synonyme de traité. Le protocole est un accord qui complète la convention.

À ces deux conventions majeures est généralement associée la convention sur la **lutte contre la désertification** dans les pays gravement touchés par la sécheresse. Cette convention sur la désertification a été élaborée en 1994 à Paris et s'inscrit dans le cadre des actions prônées par la Conférence de Rio.

■ La convention sur les changements climatiques

Cette convention concrétise la prise de conscience de la communauté internationale sur les risques et les capacités de modification du climat du fait des activités humaines. Dans cette convention, les changements climatiques sont définis comme étant « *des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat* ». Cette définition souligne l'enjeu de la préoccupation de la communauté internationale, car l'inquiétude vient du fait qu'au-delà de la variabilité naturelle du climat, les activités humaines sont considérées comme étant désormais capables de perturber le fonctionnement du système climatique.

L'effort demandé aux pays est modulé : les pays développés, ayant une responsabilité « historique » liée à leur développement industriel doivent fournir un plus grand effort que les pays en développement, faiblement impliqués.

Ratifiée en 2008 par 190 pays et considérée comme un premier pas au niveau international, elle ne fixe pas d'engagements chiffrés à respecter par les pays. Cette insuffisance a été prise en compte dans le protocole de Kyoto.

■ Le protocole de Kyoto (1997)

Ce protocole était le résultat d'âpres négociations politiques qui ont opposé principalement les États-Unis, l'Union européenne et les pays en développement. Son objectif était de limiter et de réduire les émissions de 6 gaz à effet de serre (CO₂, méthane, protoxyde d'azote, HFC, PFC et SF₆) en fixant des quotas d'émissions à respecter par les pays développés, considérés comme principaux responsables du changement climatique. Suivant l'esprit et les principes de la convention sur les changements climatiques, l'année 1990 est prise comme année de référence et le cap est fixé à 2012. À cette année butoir (2012), la production mondiale de gaz à effet de serre d'origine anthropique ne devait pas être supérieure à celle de 1990.

Les pays engagés par le protocole de Kyoto ont en moyenne décidé de réduire d'au moins 5% leurs émissions de gaz à effet de serre sur la période 2008-2012 par rapport aux niveaux de 1990. Ils ont collectivement atteint cet objectif (avec une réduction supérieure à 20%). Sur le plan climatique, en revanche, la tendance reste à la hausse. Durant les deux décennies du protocole de Kyoto, la concentration dans l'atmosphère de CO₂ a bondi de 10,3%. En effet, la production de CO₂ dans les pays émergent n'a fait qu'augmenter (quadruplé en Chine, triplé en Inde, etc.).

Lors du sommet de Doha en 2012, une seconde période d'engagement du protocole a été fixée. Elle devait s'étendre du 1^{er} janvier 2013 au 31 décembre 2020, mais certains pays comme le Canada, la Russie ou le Japon ont refusé de poursuivre leur effort si la Chine et les États-Unis ne s'engageaient pas.

Le protocole de Kyoto a suscité pas mal de critiques :

- la mobilisation de la communauté internationale à travers le Protocole de Kyoto paraissait insuffisante dans la perspective d'une résorption de la « crise du climat » à l'horizon 2012. De nombreux experts trouvaient que l'objectif de réduction globale de 5,2 % des émissions de gaz à effet de serre ne pourrait pas permettre d'éviter le changement climatique ;
- l'absence de sanctions applicables en cas de non-respect des engagements pris par les États. Cette absence de sanctions soulevait par ailleurs la question du suivi des décisions internationales face aux prérogatives des États ;
- la non implication de certains pays dans la lutte contre le réchauffement climatique, notamment les pays en développement (y compris les pays dits émergents) jugés peu ou non responsables du réchauffement actuel ;
- l'importance accordée aux priorités de développement économique et industriel par rapports aux impératifs écologiques. Ainsi, le protocole, comme la convention sur le climat, reconnaissait que les pays en développement devaient s'occuper prioritairement de leur croissance économique et de la lutte contre la pauvreté. Or cela suppose un accroissement de leurs émissions de gaz carbonique. Tandis que les pays développés étaient mis en cause du fait de leur « responsabilité historique », il était reconnu aux pays en développement la possibilité de se développer à leur tour même si cela devait aussi dégrader l'environnement et le climat.

Suite à ces critiques et à l'apparente inefficacité du protocole, un nouvel accord a été trouvé lors de la COP 21 à Paris.

■ La COP 21 – Conférence Climat Paris

En 2009, l'accord de Copenhague lors de la COP15, réunit des orientations communes à l'échelle internationale concernant la façon de traiter le changement climatique (réduction des émissions de gaz à effet de serre, limitation du réchauffement climatique à 2 °C, financement de trente milliards de dollars sur 2010-2012). Mais en l'absence de gouvernance mondiale, cet accord est finalement peu suivi.

En 2011, les accords de Durban (2011) visent l'adoption d'un accord universel en 2015. Est alors lancé un processus de travail ayant pour objectif de définir un nouveau protocole ayant force de loi dont l'adoption en 2015 devrait permettre sa mise en œuvre dès 2020. La COP21 est mise en route. De là débute un travail visant à combler le « fossé d'ambition » existant entre les engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre pris par les États et l'objectif d'un réchauffement climatique maintenu sous la barre des 2 °C. Fin 2015, à Paris la COP21 un accord est trouvé. L'accord a vocation à contenir l'augmentation moyenne de la température nettement en dessous de 2 degrés par rapport aux niveaux préindustriels et à poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation des températures à 1,5°.

Pour cela, l'Accord de Paris prévoit que chacun des pays revoie tous les cinq ans ses engagements pour diminuer ses émissions de gaz à effet de serre. Chaque nouvelle contribution déterminée au niveau national devra intégrer une progression par rapport à la précédente. Les Parties se sont engagées à parvenir à un pic des émissions mondiales de gaz à effet de serre dans les meilleurs délais, afin de parvenir à un équilibre entre les émissions et leurs compensations dans la 2^{ème} partie du siècle. Les Etats sont également

tenus d'accroître leurs efforts d'atténuation et de réduction de leurs émissions de gaz à effets de serre. Face au défi climatique, l'accord reconnaît une responsabilité partagée mais différenciée des Etats, c'est-à-dire en fonction des capacités respectives et des contextes nationaux différents. Il prend notamment en compte le niveau de développement et les besoins spécifiques des pays particulièrement vulnérables. Outre les engagements financiers, les pays industrialisés devront faciliter les transferts de technologie, et plus largement l'adaptation à une économie décarbonée.

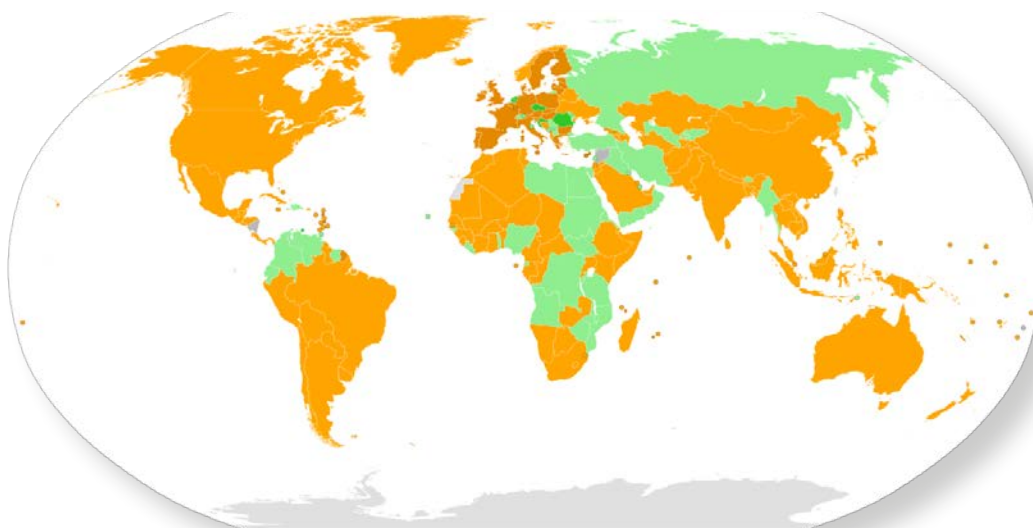


Figure 2 - Pays signataires (vert) et ayant ratifiés (orange) l'Accord de la COP21

En matière de transparence, un système permettant le suivi des engagements nationaux, avec une certaine flexibilité pour les pays en développement, est également institué afin de suivre les efforts de chacun. Les 195 Etats Parties à la négociation se sont engagés à formuler des stratégies de développement à faible émission de gaz à effet de serre sur le long terme. C'est la première fois qu'un accord universel est conclu en matière de lutte contre le dérèglement climatique. Certaines règles juridiquement contraignantes s'appliqueront aux Etats parties, comme l'obligation pour les pays développés d'apporter un soutien financier aux pays en développement pour la mise en œuvre de l'accord. L'accord reconnaît l'action des acteurs non-gouvernementaux, qui sont d'ores et déjà mobilisés, à l'image de l'Appel de Paris par lequel 800 entreprises, investisseurs, villes et régions du monde s'engagent à dépasser le niveau d'ambition énoncé par l'Accord de Paris sur les changements climatiques.

L'accord est entré en vigueur le 4 Novembre 2016 après ratification par 55 pays représentant au moins 55 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Mais, « à tout moment après un délai de trois ans à partir de l'entrée en vigueur de l'accord pour un pays », celui-ci pourra s'en retirer, sur simple notification. Le 8 mai 2017, sur 195 pays signataires, 145 pays (82,9% des émissions globales) avaient ratifié l'accord.

■ La convention sur la diversité biologique

Cette convention fixe le cadre international pour la protection, l'utilisation et la gestion de la biodiversité suivant les préoccupations relatives au développement durable énoncées notamment en 1987 dans le **rapport Brundtland** et réaffirmées au sommet de la Terre

à Rio. Dans la convention, la diversité biologique est définie comme étant « *la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie* ». Trois niveaux de biodiversité sont retenus :

- le niveau des espèces (diversité spécifique),
- le niveau intraspécifique (diversité génétique) et,
- le niveau des écosystèmes (diversité écosystémique).

Les objectifs visés par la convention sont de parvenir à la conservation de la diversité biologique, à l'utilisation durable des composantes de cette diversité biologique et au partage juste et équitable des ressources génétiques.

La convention sur la diversité biologique s'ajoute à une série de traités internationaux relatifs à la protection de l'environnement et des espèces de faune et de flore : convention de **Ramsar** en 1971 sur les **zones humides** d'importance internationale, convention de Paris en 1972 sur la **protection du patrimoine mondial culturel et naturel** (UNESCO), convention de Washington en 1973 sur le commerce international de la faune et de la flore menacées d'extinction (**CITES**), **convention de Bonn** en 1979 sur la conservation des **espèces migratrices** appartenant à la faune sauvage, etc.

■ Le protocole de Carthagène (2000)

Faisant suite à la convention sur la biodiversité, le protocole de Carthagène sur la biosécurité a été adopté à Montréal en janvier 2000. Il porte sur les organismes vivants modifiés (OVM) ou organismes génétiquement modifiés (OGM) et **préconise la prévention des risques biotechnologiques**. Ce protocole régleme les transferts internationaux (exportations), le transit, la manipulation et l'utilisation des OVM qui pourraient avoir des effets néfastes sur la conservation et l'utilisation de la diversité biologique et comporter des risques pour la santé humaine. Il exige que l'exportation et/ou l'importation des organismes vivants modifiés (maïs ou soja par exemple), destinés à l'alimentation humaine et animale, ou destinés à être transformés, soit accompagnée de documents d'expédition indiquant que ces produits « peuvent contenir » des organismes génétiquement modifiés et qu'ils ne sont pas destinés à être introduits intentionnellement dans l'environnement.

Actuellement, **au niveau ACP, les gouvernements sont confrontés à un énorme défi en raison de la forte incertitude entourant cette technologie et son utilisation**. Ils devront développer des lois, des politiques et des réglementations appropriées et renforcer les institutions pour des prises de décision, un système de surveillance et d'évaluation et une application efficaces.

■ La convention sur la lutte contre la désertification et la sécheresse

À la demande des pays touchés par ces phénomènes, la lutte contre la sécheresse et la désertification avait été inscrite à l'ordre du jour de la conférence de Rio en 1992. Les discussions sur le sujet n'ayant pas abouti à un traité à Rio, il a été demandé aux Nations unies de mettre en place un comité intergouvernemental de négociations. Ses travaux ont abouti à la rédaction du texte de la convention adoptée à Paris en 1994 et ouverte aux signatures et aux ratifications.

Selon la convention, la désertification est la « dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines ». Quant à la sécheresse, c'est « le phénomène naturel qui se produit lorsque les précipitations ont été sensiblement inférieures aux niveaux normalement enregistrés et qui entraîne de graves déséquilibres hydrologiques préjudiciables aux systèmes de production des ressources en terre ».

L'objectif principal de la convention est « de lutter contre la désertification et d'atténuer les effets de la sécheresse dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique, grâce à des mesures efficaces à tous les niveaux, appuyés par des arrangements internationaux de coopération et de partenariat, dans le cadre d'une approche intégrée compatible avec le plan d'action adopté lors du Sommet de la Terre, en vue de contribuer à l'instauration d'un développement durable dans les zones touchées ».

À ce jour, la convention sur la lutte contre la désertification souffre toujours de l'absence ou de la très faible disponibilité des ressources financières pour sa mise en œuvre dans les pays touchés. Ces pays avaient souhaité en vain que la convention bénéficie d'un mécanisme international de financement comme c'est le cas avec le Fonds de l'Environnement Mondial qui contribue financièrement au fonctionnement des conventions sur les changements climatiques et sur la diversité biologique. Contrairement aux conventions sur le changement climatique et sur la diversité biologique, la convention sur la sécheresse et la désertification n'a pas été complétée par un protocole.

■ Les accords environnementaux multilatéraux (AEM) liés aux produits chimiques

Bien qu'actuellement l'Afrique ne soit ni un grand consommateur ni un grand producteur de produits chimiques, ceux-ci font partie intégrante de la vie moderne. Ils sont couramment utilisés dans le secteur de la fabrication, de l'industrie minière, de l'agriculture et de la santé publique (ex. : lutte contre le paludisme).

Plusieurs AEM ont été adoptés dans le monde pour traiter de l'utilisation des produits chimiques, notamment :

- la **Convention de Stockholm** sur les polluants organiques persistants (2001) ;
- la **Convention de Rotterdam** sur la Procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable à certains produits et pesticides dangereux qui font l'objet du commerce international (1998) ;
- la **Convention de Bâle** sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et leur élimination (1987) ;
- la **Convention de Bamako** en Afrique sur l'interdiction d'importer des déchets dangereux et le contrôle et la gestion de leurs mouvements transfrontaliers en Afrique (1996).

Les principales approches juridiques de ces accords comprennent l'approche de précaution, les principes de responsabilité du producteur, le principe du « pollueur-payeur » et le droit général de ne pas ignorer la loi. En mai 2004, les gouvernements africains ont adopté une résolution soutenant l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques, lancée par le PNUE, qui vise à **promouvoir des synergies et la coordination entre les organismes de réglementation**. Les gouvernements africains

ont accepté que le développement d'un cadre de gestion des produits chimiques basé sur une gestion saine pendant toute la durée du cycle de vie est fondamental. Une telle approche pourrait inclure des mesures de réduction des risques, des systèmes d'information, une meilleure gouvernance, le renforcement des capacités et le contrôle du commerce international illégal (PNUE, 2006).

1.4. Politiques de préservation

Face à la dégradation, à la contamination et à la pollution des milieux, il faut promouvoir une politique agricole européenne plus écologique et plus volontariste, et prendre des mesures concrètes pour empêcher la poursuite de la destruction des ressources naturelles, et singulièrement des ressources en eau.



L'**eau** et le **sol**, avec leurs usages multiples et concurrentiels, **constituent de véritables carrefours pour les questions d'environnement et de gestion du milieu**. Ils doivent donc être l'objet d'une attention toute particulière.

Pour l'agriculteur, l'eau est un des moyens pour accroître et/ou réguler la production et la qualité sanitaire des produits. La gestion des sols, combinée aux pratiques culturales et à l'utilisation des intrants, est un élément déterminant de la qualité du milieu, en particulier de la **qualité des eaux** (nappes souterraines, points d'eau, rivières) : en effet, soit **les pratiques du producteur** favorisent la dégradation de sa qualité (érosion des sols, pollution diffuse dans les champs ou pollution concentrée, par exemple, autour des bâtiments d'élevage, eutrophisation), soit au contraire, améliorent sa qualité (par exemple par la mise en place de dispositifs enherbés, la création de zones tampon, d'aires de préparation de la bouillie, la récupération des emballages, la plantation de haies, etc.). Dans le cadre des réglementations européennes (ex. : Directive sur les nitrates), sont prévus des « Codes de bonnes pratiques » pour l'utilisation des intrants. Dans le même ordre d'idée, on peut aussi citer les « Contrats de rivière » (gestion des bassins versants), les « Chartes Qualité », etc.



Ces différents « **Codes** » n'auront de réelle efficacité sur l'évolution des pratiques agricoles que s'ils sont acceptés par les **producteurs** au travers d'une **concertation** et d'une **adhésion volontaire** motivée par **une prise de conscience de ceux-ci de la nécessité de changer leurs pratiques** pour préserver leur « outil de production ».

En cela, ils diffèrent grandement des objectifs des « certifications » privées (ex. : GLOBALG.A.P.).

La protection de l'environnement **concerne tout le monde**, pas uniquement les industriels, et surtout les agriculteurs, à qui l'on fait souvent porter le chapeau. Les efforts ne peuvent donc s'envisager sans une réelle coordination sociale : les agriculteurs ne doivent plus être considérés comme les seuls légitimement habilités à gérer l'espace rural. Les habitants, les entreprises, les associations, les agences de l'eau, les services de santé publique, etc., sont autant de parties prenantes dans la préservation de l'environnement.

L'on assiste à une mondialisation de la prise de conscience de l'impact environnemental des activités humaines, en raison du caractère global d'un certain nombre de questions d'environnement, comme l'effet de serre qui menacerait la planète entière de réchauffement, ou la conservation de la biodiversité, dont les pays du Sud sont les principaux détenteurs, et les pays du Nord les principaux utilisateurs.

Dans la récente « Déclaration de Libreville » (2008), 80 ministres de la santé et de l'environnement venus des 53 États africains se sont engagés à renforcer leurs liens et à mieux coordonner leurs actions, afin de réduire les risques pour la santé liés à l'environnement. Emboîtant le pas des experts, les ministres ont affirmé qu'il était « *nécessaire et urgent de mettre en œuvre dans leurs pays l'impératif de **développement durable** dans les efforts déployés pour la croissance économique* ». Ils ont reconnu l'existence de freins à la mise en œuvre des stratégies intégrées de prévention des problèmes et menaces sur la santé publique résultant de la détérioration de l'environnement dans des domaines connus tels que l'alimentation en eau, l'assainissement, la qualité de l'air, les vecteurs de maladies, la gestion des produits chimiques et des déchets, y compris les nouvelles substances toxiques, la désertification, les risques industriels et domestiques, les autres catastrophes naturelles.

Ils ont également pointé « *l'émergence de nouveaux risques environnementaux* ». Parmi ceux-ci, les polluants organiques persistants, les déchets des équipements électriques et électroniques, les irradiations, les nouveaux risques professionnels (dioxines, furannes, métaux lourds) et les changements climatiques. Ces derniers entraînent des variations de la production agricole et accroissent l'insécurité alimentaire, la malnutrition ou la transmission du paludisme, des maladies diarrhéiques et autres maladies véhiculées par des vecteurs.

Morts évitables

« Un quart des décès en Afrique sont liés à des facteurs environnementaux et 2,4 millions d'entre eux pourraient y être évités si ces facteurs étaient maîtrisés ».

Dr Maria Neira, directeur du département santé publique et environnement de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Le nombre de décès qui pourraient être évités dans le monde avec un environnement plus sain est estimé à 13 millions par an, dont les trois quarts chez des enfants de moins de 5 ans. Plus d'un million de décès sont liés chaque année à des systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement inadéquats.



La recherche, axée quasi exclusivement sur la productivité par l'intensification et les moyens artificiels, s'est encore trop peu penchée sur les conditions et les risques de ces technologies, ainsi que sur leurs alternatives comme les luttés intégrées ou biologiques.

2. LES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES DES DIFFÉRENTS RÉFÉRENTIELS

2.1. L'adaptation des filières de production : saisir les opportunités

Les citoyens demandent une gestion multifonctionnelle et plus environnementale du territoire, et, de plus en plus, que l'agriculture assumera le coût des dommages qu'elle provoque. Les consommateurs demandent à pouvoir choisir des produits de proximité, authentiques et diversifiés, de terroir, associant traditions culturelles et **souci de l'environnement**.



La préservation de l'environnement par le producteur est aujourd'hui explicitement perçue comme un **indice de respect du consommateur**, au moins autant que comme une certaine garantie de la qualité sanitaire du produit.

Face aux dommages environnementaux et socio-économiques provoqués par des pratiques agricoles considérées jusqu'il y a peu comme les plus en pointe, craintes et irritation de l'opinion publique progressent en Europe et ailleurs. Il devient donc nécessaire pour les producteurs de **réorienter leurs choix et leurs modèles** de production dans une direction plus compatible avec un développement durable.



Des initiatives, expériences ou pratiques agricoles existantes, favorisent déjà une bonne gestion de l'eau, le développement de la biodiversité, l'entretien des fonctionnements biologiques des sols et des paysages. L'industrie agro-alimentaire et la grande distribution sont donc friandes d'introduire dans leurs cahiers de charge toujours plus d'« **exigences environnementales** » (ex. : GLOBALG.A.P., Charte PERFECT, Agriculture raisonnée...), de certifications de **type ISO 14001**, ou de **type PPP** comme en Tunisie (Production Plus Propre, basée sur la prévention intégrée de la pollution), d'**éco-labels** tels que le « **Label écologique** » de l'UE (la « Fleur » ; ce label est administré par le *Comité de l'Union européenne pour le label écologique* (CUELE) (23 groupes de produits différents, et plus de 250 certificats déjà décernés à plusieurs centaines de produits en Europe).

Le respect de l'environnement est aussi exigé dans le cadre de la **certification éthique**.

2.2. Importance de l'environnement dans les référentiels privés

Au regard de l'importance grandissante que les consommateurs accordent à la protection de l'environnement et au concept de développement durable, l'adoption de Bonnes Pratiques et de comportements responsables, en vue de réduire l'impact négatif des activités de production et de manutention des produits sur la flore, la faune et les ressources naturelles en général, constitue une exigence de plus en plus forte des différents « référentiels qualité » en vigueur dans le secteur agroalimentaire.

Bien au-delà de la maîtrise de la qualité et de la sécurité sanitaire des denrées alimentaires, eu égard au principe de **due diligence** qui fait obligation aux opérateurs de ne mettre sur le marché que des denrées alimentaires dont ils peuvent donner des garanties de qualité sanitaire, les producteurs doivent également intégrer dans le choix et la définition de leurs itinéraires techniques et systèmes de production, l'impératif de veiller à la protection de l'environnement.

Développement durable et **protection de l'environnement** sont, entre autres, des exigences et préoccupations des référentiels ou normes privés.



En tout état de cause, les démarches de mise en conformité à entreprendre ou à maintenir en entreprise, devront prendre en charge de manière effective, la problématique de la protection de l'environnement. À ce propos, une bonne connaissance des exigences des référentiels « qualité » en vigueur dans le secteur de la production primaire s'avère être indispensable.

La revue critique et une analyse comparative des exigences et points de contrôles des référentiels **GLOBALG.A.P.**, **TESCO Nurture's Choice** et **Commerce équitable (Fairtrade Labellisation Organisation)**, de plus en plus demandés aux producteurs de fruits et légumes frais des pays ACP qui exportent vers l'Union européenne, permettent de mieux connaître l'importance qu'il convient d'accorder à la problématique de la protection de l'environnement et de mettre en place une politique de management de la qualité appropriée.

2.3. Les exigences environnementales de GLOBALG.A.P.



GLOBALG.A.P.

GLOBALG.A.P. est un organisme du **secteur privé** qui définit des référentiels sur base de volontariat pour la certification des produits agricoles de par le monde. « *Le partenariat international pour une agriculture fiable et durable* », ce slogan traduit éloquemment les préoccupations environnementales à l'échelle mondiale du référentiel GLOBALG.A.P.

Tel que décliné dans ses « Modalités générales », GLOBALG.A.P. vise à répondre aux préoccupations des consommateurs en matière de sécurité alimentaire, de protection de l'environnement, de santé, sécurité et protection sociale des ouvriers et de bien-être des animaux.

En effet, les divers partenaires qui soutiennent l'initiative (grandes chaînes de supermarchés, fabricants de produits agrochimiques, associations de producteurs, fondations de droits privés...) entendent :

- encourager la mise en place de systèmes de production agricole sûrs, économiquement viables, qui favorisent **une utilisation minimale d'intrants agrochimiques au niveau mondial** ;
- développer un cadre de **Bonnes Pratiques Agricoles (G.A.P.)** pour l'évaluation comparative des systèmes de production et référentiels existants (traçabilité incluse) ;
- fournir un service de conseil pour l'amélioration constante, le développement et la compréhension des meilleures pratiques ;
- établir un cadre unique et reconnu pour une vérification indépendante.



Bien que n'étant pas centré sur l'environnement, GLOBALG.A.P prend en compte les préoccupations des parties prenantes et intègre des exigences environnementales dans son référentiel (parmi les 218 points de contrôles, 69 concernent la gestion de l'environnement).

Dans la version 5 du référentiel GLOBALG.A.P (2016), on notera l'évolution de certains points de contrôle liés à l'environnement et notamment au niveau du :

- **Utilisation responsable de l'eau** : Nouveaux critères qui imposent une gestion efficace et efficiente de l'eau sur l'exploitation et assurent que les producteurs se conforment aux restrictions d'utilisation d'eau légales en vigueur. Le référentiel fournit également un plan de gestion d'eau responsable et une évaluation des risques liée à la gestion de l'eau obligatoires dès juillet 2017.
- **Rendement énergétique** : Intégration de critères supplémentaires pour aider les agriculteurs à surveiller leur consommation d'énergie, réduire l'utilisation de sources d'énergie non renouvelables et assurer une maintenance correcte des équipements qui ne sont pas en lien avec la sécurité alimentaire.
- **Contrôle de la pollution** : Le plan de gestion des déchets de l'exploitation comprend à présent aussi des zones de stockage sécurisées sur le plan environnemental pour les cuves de carburants et d'huiles.

Le référentiel GLOBALG.A.P. est « principalement conçu pour **rassurer les consommateurs** sur la manière dont les denrées alimentaires sont produites sur l'exploitation, en réduisant au minimum les impacts nocifs des activités agricoles sur l'environnement, en diminuant l'utilisation des intrants chimiques et en garantissant une approche responsable de la santé et de la sécurité des travailleurs, ainsi que du bien-être des animaux ».

GLOBALG.A.P. se veut être un **système raisonné de culture et d'élevage** qui couvre l'ensemble du processus de production agricole du produit certifié, du choix de la semence ou des plants, jusqu'au produit final. Le référentiel est subdivisé en différents modules et couvre la production destinée à la consommation humaine de produits issus de l'agriculture, de l'aquaculture et de l'élevage.

La certification a pour objectif de s'assurer du processus de vérification des bonnes pratiques tout au long de l'ensemble de la chaîne de production, de manutention, de transport et de conditionnement des produits. La conformité au référentiel GLOBALG.A.P. repose sur la mise en place d'un système de gestion de la qualité axé sur l'application des **bonnes pratiques** à toutes les étapes du processus de production agricole, d'élevage et de l'aquaculture (la transformation et l'abattage des animaux sont non inclus dans le champ d'application) au travers de la mise en œuvre des principes de la lutte intégrée et de l'utilisation raisonnée des intrants.

Ces exigences de bonnes pratiques, essentielles pour atteindre les objectifs de maîtrise de la qualité sanitaire des denrées alimentaires, doivent également donner des preuves évidentes des préoccupations des producteurs à réduire l'impact négatif de leurs activités sur l'environnement.

La certification GLOBALG.A.P. est obtenue si toutes les exigences majeures sont satisfaites à 100 % et les exigences mineures à 95% au minimum. Les recommandations n'influent pas sur le résultat de la certification

2.4. Les exigences environnementales de TESCO Nurture's Choice (TNC)



TESCO (groupe de distribution international basé principalement au Royaume-Uni, en Irlande et en Asie, premier groupe de distribution britannique) entend promouvoir ses produits à travers leurs garanties de respect de normes de qualité très élevées. Pour cela, il vise à démontrer que les produits TESCO sont « *sains, appétissants et bons à manger* » et reste néanmoins persuadé que les normes qui permettent d'atteindre ses objectifs de qualité ne peuvent être atteintes que grâce à « **l'adoption de pratiques de**

production et de manipulation des produits viables qui protègent et même améliorent l'équilibre et la biodiversité de l'environnement ».

C'est pour cette raison que TESCO a développé **Nurture's Choice** qui a été mis en œuvre via un Code de Pratique depuis 1991 qui en est à sa deuxième version (2006). Nurture's Choice identifie les principes et pratiques essentiels qui garantissent que les systèmes de production et de manipulation des produits **sont viables, écologiques et responsables** quant ils sont appliqués par les producteurs et fournisseurs de fruits et légumes frais de TESCO.

Le référentiel TESCO Nurture sous sa version 2010 est divisé en 7 chapitres avec 204 points de contrôle (19 critiques, 160 obligatoires et 25 standards) :

1. Utilisation raisonnée des Produits de Protection des Cultures
2. Utilisation raisonnée de Fertilisants minéraux et organiques
3. Prévention de la pollution
4. Protection de la santé humaine et conditions de travail
5. Utilisation efficace de l'énergie, de l'eau et des autres énergies naturelles
6. Recyclage et réutilisation des matériaux
7. Sauvegarde et valorisation de la faune, de la flore et du paysage

La conformité au Code de Pratique Nurture's Choice vise à garantir que les produits sont cultivés et manipulés conformément aux exigences réglementaires et aux attentes élevées des clients de TESCO en ce qui concerne :

- la qualité et la sécurité sanitaire des produits ;
- la **protection et l'amélioration de l'environnement**, la protection de la santé, et de **l'utilisation rationnelle des ressources naturelles et des produits agrochimiques**.



TESCO Nurture's Choice entend promouvoir des standards de production exigeants, mais viables, au travers d'un **plan de gestion Intégré** alliant « *le besoin de protection et de valorisation de l'environnement au développement durable de la biodiversité* ».

Pour ce faire, les producteurs qui souhaitent fournir à TESCO doivent formuler et mettre en œuvre une **politique de protection et de valorisation** de la faune, de la flore et des paysages naturels. À ce propos, le programme d'actions à mettre en œuvre doit être revu annuellement de manière à en assurer une mise à jour et une amélioration continue.

Le respect des exigences de TESCO est évalué au cours d'un audit officiel par un **organisme de contrôle accrédité**.

La certification TESCO Nurture's Choice entend garantir que les entreprises travaillant pour TESCO sont fiables, sérieuses et soucieuses de la protection et de l'amélioration de l'environnement, de la protection de la santé et de l'utilisation rationnelle des ressources naturelles et des produits agrochimiques. Les différentes exigences et points de contrôles du Code de Pratique Nature's Choice visent à assurer que les producteurs et fournisseurs de TESCO se préoccupent de minimiser l'impact de leurs activités sur l'environnement, ceci en identifiant et en abordant « les aspects clés de la culture, du conditionnement et de la présentation des aliments ».

La certification de conformité peut être délivrée à 3 niveaux : Or, Argent et Bronze.

Certification niveau Or :

- conformité à 100 % avec les points de contrôles critiques, au premier jour de l'audit;
- conformité à 100 % avec les points de contrôles obligatoires, après un délai maximal de 28 jours calendaires pour lever toutes les non-conformités soulevées, à compter de la date de l'audit initial;
- conformité à 95 % à 100% avec les points de contrôles standards, au premier jour de l'audit.

Certification niveau Argent :

- conformité à 100 % avec les points de contrôles critiques, après un délai maximal de 7 jours calendaires après l'audit;
- conformité à 90 % avec les points de contrôles obligatoires dans un délai maximal de 28 jours après l'audit, pour lever les non-conformités soulevées;
- conformité à 75 % à 94 % de conformité avec les points de contrôles standards, au premier jour de l'audit.

Certification niveau Bronze :

- conformité à 100 % avec les points de contrôles critiques, dans un délai maximal de 7 jours calendaires après l'audit pour lever toutes les non conformités soulevées
- conformité à 75 % avec les points de contrôles obligatoires dans un délai maximal de 28 jours après l'audit, pour lever les non-conformités soulevées
- conformité à 50 % à 74 % de conformité avec les points de contrôles standards, au premier jour de l'audit.

2.5. Les exigences environnementales du Commerce équitable (FLO)

Le Commerce équitable (*Fairtrade Labelling Organizations international*, **FLO**) est une initiative en faveur des petits producteurs et des travailleurs salariés au Sud.

En janvier 2004, afin d'assurer l'indépendance du processus de certification de la démarche de commerce équitable, *Fairtrade Labelling Organizations International* a été divisée en deux organisations distinctes :

- **FLO International e.V.**, dont le rôle est d'établir les standards du commerce équitable, d'assister les producteurs à travers le processus de certification et dans la recherche de marchés pour leurs produits et finalement, en collaboration avec ses associations membres, de mettre sous licence l'utilisation de la marque de certification du commerce équitable.
- **FLO-CERT GmbH**, dont le rôle est d'inspecter et de certifier les producteurs et les importateurs éligibles afin de vérifier si les standards du commerce équitable, tels qu'ils sont définis par FLO International, sont bien respectés.

De par son essence même, FLO est centré sur les conditions de travail, le revenu correct des travailleurs et leur bien-être, mais intègre néanmoins l'aspect environnemental. Le référentiel se consacre aux méthodes agricoles écologiques en vue de protéger et de maintenir la biodiversité. Elle vise l'utilisation limitée et sûre des produits chimiques, la gestion des déchets, le contrôle de l'érosion, le maintien de la fertilité des sols et une gestion responsable de l'eau. Certains pesticides et organismes génétiquement modifiés sont interdits. En outre, l'abattage des forêts primaires est interdit. Pour ce faire, FLO a recours à des critères progressifs, contraignant l'agriculteur à se mettre en règle en une période de quelques années.

Tel que décrit dans les standards génériques du Commerce équitable pour les organisations de petits producteurs, FLO poursuit trois objectifs majeurs :

- le développement économique ;
- le développement social ;
- le développement environnemental.

Le Commerce équitable se propose comme alternative pour les petits producteurs et les travailleurs, visant à leur assurer un développement économique et/ou social à travers un accès équitable aux marchés, sous de meilleures conditions commerciales.

Par ailleurs, poursuivant un développement environnemental, FLO a des exigences prononcées.

En effet, l'organisation de producteurs doit s'assurer que ses membres protègent **l'environnement naturel et que la protection de l'environnement fasse partie de la gestion des exploitations**. Pour ce faire, l'organisation doit faciliter le développement, la mise en œuvre et le suivi des plans d'activité des producteurs.

L'objectif visé est de **créer un équilibre entre la protection de l'environnement et les résultats économiques** par le biais d'un ensemble de mesures incluant la rotation des cultures, les techniques culturales, la sélection des cultures, l'usage judicieux des intrants comme les engrais et les pesticides, etc.



Il s'agira de veiller à ce que les producteurs membres de l'organisation « réduisent l'utilisation d'engrais et de pesticides synthétiques et non naturels afin de les remplacer partiellement et progressivement par des engrais naturels et fabriqués sur le site de production et par des méthodes biologiques de contrôle des phytopathologies ».

C'est ainsi que **FLO encourage vivement les petits producteurs à opter pour des pratiques biologiques** lorsque ce choix est pratique sur le plan social et économique. Aussi, le Standard entend promouvoir une utilisation minimale de l'énergie et un choix privilégiant l'énergie provenant de sources renouvelables.

L'organisation candidate à la certification FLO « doit avoir un système de gestion compatible avec sa taille afin de garantir le contrôle organisationnel des zones dont elle est responsable et de procéder à un suivi de la production par ses membres à travers l'utilisation de méthodologies d'inspection et de vérification éprouvées ».

Pour la certification FLO, les exigences, sur la base desquelles les producteurs seront inspectés sont deux types :

- Les exigences minimales, que toutes les organisations de producteurs se doivent de remplir à partir du moment où elles rejoignent le système du Commerce équitable, ou dans un délai défini ;
- Les exigences de progrès, sur la base desquelles les organisations de producteurs doivent montrer des améliorations continues. Un rapport d'évaluation de l'accomplissement des exigences de progrès doit être rédigé tous les ans.

En considérant le nombre de **points de contrôles** qui sont des exigences minimales, on serait tenté de dire que les questions environnementales occupent une plus grande place dans la certification FLO, comparée à GLOBALG.A.P. et TESCO Nurture's Choice. Toutefois, il conviendrait de nuancer cette position. GLOBALG.A.P. et TESCO Nurture's Choice ont des exigences fondamentales (majeures et mineures, critiques et obligatoires) en termes d'application des Bonnes Pratiques Agricoles, des Bonnes Pratiques Phytosanitaires, des Bonnes Pratiques d'Hygiène et de définition d'un plan de gestion intégrée des cultures.

Il va sans dire que l'application des bonnes pratiques et des principes de la lutte intégrée est une condition *sine qua non* pour minimiser le recours à l'utilisation des produits chimiques. À l'évidence, l'**utilisation raisonnée des intrants** (produits phytosanitaires, fertilisants, produits d'entretien et de nettoyage...) permet de réduire de manière insidieuse, l'impact négatif qu'ils peuvent avoir sur la biodiversité, la faune, la flore et l'écosystème et conditionne de fait, l'efficacité de tout programme de protection et d'amélioration de l'environnement.

L'appui au renforcement des capacités du personnel des entreprises en protection des cultures, application des principes de la lutte intégrée, usage sécurisé des pesticides, hygiène et analyses des risques, etc., s'avère être la clef de voûte pour promouvoir des entreprises horticolas en conformité avec les exigences de sécurité sanitaire des aliments d'une part, et de protection de l'environnement et des ressources naturelles d'autre part.

2.6. Résumé des principales exigences, points de contrôles et critères de conformité des référentiels

La revue des exigences et points de contrôles de GLOBALG.A.P., de TESCO Nurture's Choice et de FLO, met en évidence l'importance que ces référentiels accordent à la protection de l'environnement. Nonobstant les variantes relatives qu'on peut relever sur la formulation des points de contrôles et leurs intitulés, les sections des Check listes d'audits visant à réduire l'impact négatif des activités de production et la protection de l'environnement peuvent se résumer à travers les exigences portant sur :

- le choix de pratiques culturales qui préservent la structure du sol et le protègent contre l'érosion ;
- l'utilisation rationnelle des produits phytosanitaires et des fertilisants (organiques et minéraux) ;
- l'application des principes de la lutte intégrée pour une utilisation minimale des produits chimiques (agrochimiques et fertilisants) ;
- l'utilisation rationnelle des ressources en eau ;
- la gestion des déchets et substances polluantes (inventaire, stockage, recyclage et élimination) ;
- la protection de la faune et de la flore ;
- la protection de l'environnement.

Le rappel de la grille d'évaluation desdits référentiels permet de mieux apprécier leurs critères de conformité et l'importance des points de contrôles visant la protection de l'environnement sur la décision de certification.

| GLOBALG.A.P. | TESCO Nurture's Choice | Commerce équitable (FLO) |
|--|---|--|
| Exigences générales | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Application des Bonnes Pratiques Agricoles et des Bonnes Pratiques d'Hygiène • Application des principes de la lutte intégrée • Utilisation optimale des intrants • Gestion des matières polluantes et des déchets, recyclage et réutilisation • Protection de l'environnement | <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation rationnelle des produits de protection des cultures • Utilisation rationnelle des engrais et des amendements • Prévention de la pollution • Protection de la santé humaine • Utilisation efficace de l'énergie, de l'eau et autres ressources naturelles • Recyclage et réutilisation des matériaux • Protection et valorisation de la faune, de la flore et des paysages | <ul style="list-style-type: none"> • Protection de l'environnement naturel • Usage judicieux des intrants • Équilibre entre protection de l'environnement et résultats économiques • Choix portés sur les pratiques biologiques • Minimisation de l'utilisation d'énergie |

Points de contrôle et critères de conformité

Techniques culturales

- Choix de techniques culturales visant à améliorer la structure du sol et limiter l'érosion du sol

Utilisation des engrais

- Choix et utilisation judicieux des engrais
- Entreposage approprié réduisant les risques de contamination
- Preuves de compétence du personnel

Irrigation et fertigation

- Choix de méthodes d'irrigation et de fertigation qui préservent les ressources en eau
- Un plan de gestion des ressources en eau

Lutte intégrée

- Application de systèmes de lutte phytosanitaire raisonnée
- Exigences de preuves de l'application des principes de la lutte intégrée (« prévention », « observation et surveillance » et « intervention »)

Produits phytosanitaires

- Choix de produits homologués et appropriés
- Utilisation rationnelle des produits (respect des doses, bonne application)
- Preuves de compétences du personnel
- Élimination des mélanges de produits phytosanitaires non utilisés et des emballages vides

Utilisation rationnelle des produits de protection des cultures

- Une Déclaration de politique générale/12 mois
- Preuves documentées de mise en œuvre (utilisation de produits approuvés par Tesco et respect des conditions prescrites ; élimination rationnelle des restants de mélanges, stockage sécurisé des produits)

Utilisation rationnelle des fertilisants minéraux et organiques

- Une Déclaration de politique générale/12 mois
- Preuve documentée de mise en œuvre
- Formation du personnel

Prévention de la pollution

- Une Déclaration de politique générale/12 mois
- Une évaluation des risques et un plan de maîtrise

Utilisation efficace de l'énergie, de l'eau et des autres ressources naturelles

- Une Déclaration de politique générale/12 mois
- Preuves documentées de mise en œuvre
- Utilisation rationnelle de l'eau

Recyclage et réutilisation des matériaux

- Une Déclaration de politique générale/12 mois
- Preuves documentées de mise en œuvre
- Procédure de gestion des déchets

Évaluation d'impact, planification et suivi

- Plan de préservation de l'environnement
- Non-utilisation de matériel végétal provenant de zones protégées et pérennisation des espèces sauvages récoltées
- Système de contrôle interne
- Plan d'amélioration des pratiques environnementales
- Identification des zones sensibles (cours d'eau, étendues...)
- Plan de régénération de la flore et la faune naturelles
- Plan de gestion rationnelle de la terre et reforestation et mise en place de couvert végétal
- Registre d'informations (terres, produits agrochimiques, rotation des cultures et utilisation de l'eau)
- Programmes d'infrastructures et d'environnement

Produits agrochimiques (*)

- Respect de la liste FLO des substances interdites
- Utilisation rationnelle des produits et recherche d'alternatives
- Stockage sécurisé des pesticides et élimination des emballages

Déchets

- Un plan de gestion et de recyclage des déchets

Sols et eau

- Procédures pratiques pour préserver le sol
- Plan de gestion de l'eau

Gestion des matières polluantes et des déchets, recyclage et réutilisation

- Identification de tous les déchets et définition d'un plan de gestion

Préservation de l'environnement

- Définition d'un plan de préservation de l'environnement

Protection et valorisation de la faune, de la flore et du paysage

- Une Déclaration de politique générale/12 mois
- Preuves documentées de mise en œuvre
- Plan de gestion Intégrée pour protéger et encourager la diversité de la faune et de la flore
- Preuves de réalisation du plan de gestion Intégrée

Feu

- Maîtrise du recours au feu pour défricher

Organismes génétiquement modifiés

- Pas d'OGM

[*] Pour FLO, le terme « agrochimique » inclut tous les intrants synthétiques : les pesticides, les engrais, les produits de nettoyage, les détergents, etc.

Évaluation et niveaux d'exigence

- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation des engrais : 2 exigences majeures • Lutte intégrée : 6 exigences mineures • Produits phytosanitaires : 3 exigences majeures, 10 exigences mineures et 2 recommandations • Préservation de l'environnement : 1 exigence mineure et 6 recommandations • Gestion des matières polluantes et des déchets : 1 exigence majeure, 1 exigence mineure et 3 recommandations. | <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation rationnelle des produits de protection des cultures : 8 exigences obligatoires et 1 exigence standard • Utilisation rationnelle des fertilisants minéraux et organiques : 4 exigences obligatoires et 2 exigences standard • Prévention de la pollution : 5 exigences obligatoires et 2 exigences standards • Utilisation efficace de l'énergie, de l'eau et des autres ressources naturelles : 1 exigence critique et 7 exigences obligatoires • Recyclage et réutilisation des matériaux : 3 exigences obligatoires et 5 exigences standard • Protection et valorisation de la faune, de la flore et du paysage : 1 exigence critique, 3 exigences obligatoires et 4 exigences standard | <ul style="list-style-type: none"> • Évaluation d'impact, planification et suivi : 2 exigences minimales et 11 exigences de progrès • Produits agrochimiques : 7 exigences minimales et 10 exigences de progrès • Déchets : 6 exigences de progrès • Sol et eau : 2 exigences minimales et 6 exigences de progrès • Feu : 3 exigences de progrès • Organismes génétiquement modifiés : 1 exigence minimale et 3 exigences de progrès |
|---|--|--|

3. MISE EN ŒUVRE D'UNE POLITIQUE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT : ILLUSTRATION PRATIQUE

Les opérateurs candidats à la certification GLOBALG.A.P., TESCO Nurture's Choice ou FLO doivent donner des preuves évidentes de leur engagement à minimiser l'impact défavorable de leurs activités sur la flore, la faune, la biodiversité et l'écosystème en général et les actions qu'ils entreprennent de manière permanente pour la sauvegarde de l'environnement et des ressources naturelles.

Pour ce faire, ils doivent impérativement mettre en œuvre un système qualité fondé sur :

- l'application des Bonnes Pratiques (Agricoles, Hygiène, Manutention, Transport...) et des principes de la lutte intégrée ;
- la mise en place d'une politique de gestion des déchets ;
- la gestion intégrée de la biodiversité (faune et flore) ;
- la sensibilisation du personnel aux Bonnes Pratiques à entreprendre pour la protection de l'environnement.

3.1. Application des Bonnes Pratiques

Il s'agira pour le personnel d'encadrement de l'entreprise de :

- mettre en place un **organigramme** avec une description des **responsabilités** ;
- élaborer une **politique générale de protection de l'environnement** dans le cadre du management de la qualité ;
- communiquer, conformément à la législation (Code de l'environnement) locale, la **classification de ses installations** qui présentent soit des dangers pour la santé, la sécurité, la salubrité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement en général, soit des inconvénients pour la commodité du voisinage ;
- s'engager à produire selon les **Bonnes Pratiques** (Agricoles, Hygiène, Transport) ;
- mettre en place des **procédures d'utilisation raisonnée des engrais et des produits phytosanitaires** (méthodes de préventions, observations, définition de seuils d'intervention ; définition des processus de prise des décisions de traitement ou de fertilisation...) ;
- réaliser pour le personnel d'exécution intervenant à toutes les étapes du processus, des **séances de formation et/ou de sensibilisation** sur les dangers liés à l'usage des produits pouvant avoir un impact sur l'environnement (traitements phytosanitaires, fertilisation, gestion des déchets).

Pour ce faire :

- documenter l'organigramme de l'entreprise qui indique principalement le personnel clef, en charge de définir les itinéraires techniques et de donner les ordres de traitements et de fertilisation ;
- joindre aux fiches de définition des postes, les copies des diplômes et attestations de formation pour prouver la compétence et les qualifications du personnel à assurer la mise en œuvre des bonnes pratiques ;

- élaborer une déclaration de politique qualité qui met en évidence les objectifs de l'entreprise, parmi lesquels, la recherche constante de pratiques raisonnées pour la protection de l'environnement.



Exemple d'affichage d'objectifs environnementaux en entreprise (Photo B. Samb)

Pour TESCO Nurture's Choice, élaborer une déclaration annuelle :

- de politique générale environnement ;
- de gestion raisonnée des fertilisants et produits phytosanitaires ;
- de politique générale sur l'optimisation des ressources naturelles et sur la gestion des déchets et des pollutions.

Documenter l'**itinéraire technique** en mettant en évidence, l'application des principes de la **lutte intégrée** et les choix raisonnés qui sont opérés pour **réduire l'impact** des activités culturales sur la faune, la flore, et la protection de l'environnement :

- travaux du sol, en rapport avec l'exigence de **conservation de la structure** du sol et de **lutte contre l'érosion** ;
- programme de fertilisation, en rapport avec le souci d'amélioration de la fertilité du sol, par l'**apport raisonné de fertilisants** ;
- stratégie de traitement phytosanitaire, en rapport avec les principes de la **lutte raisonnée** (observations, évaluation des niveaux d'infestations ou de dégâts avant toute décision de traitement, choix de produits les moins toxiques...).

Pour les entreprises pratiquant l'agriculture biologique, en faire état.

En outre, il s'agit de décrire les dispositions pratiques qui sont mises en place pour assurer la **gestion des déchets et des substances polluantes** générées par les activités de l'entreprise.

3.2. Gestion des déchets et des substances polluantes

Afin de prévenir toute nuisance pouvant porter atteinte aux ressources naturelles, au cadre de vie et à la protection de la faune et de la flore, le personnel d'encadrement de l'entreprise doit :

- procéder à l'identification et à la classification de tous les types de déchets générés ;
- élaborer des mesures de maîtrise pour chaque type de déchets identifié.

3.2.1. Identification des déchets

Il s'agit de lister de manière exhaustive, tous les déchets générés par les différentes activités (activités de production ou annexes) :

- végétaux (exemples : feuilles de manguiers utilisées lors du transport des mangues pour éviter les chocs, mauvaises herbes, écarts de tri...) ;
- emballages (plastiques, emballages usagés, emballages vides des produits phytosanitaires et des engrais solides ou liquides...) ;
- déchets divers (gainnes de gouttes à goutte usagées, huiles de vidange batteries usagées du matériel roulant ; eaux de lavage des produits...) ;
- déchets chimiques (restant de pulvérisation, eaux de lavage des pulvérisateurs...).

Après l'inventaire des déchets, procéder à leur classification en tenant compte de leurs natures et de leur origine :

- déchets solides (origine et quantité) ;
- déchets liquides (origine et quantité) ;
- déchets contaminés ;
- déchets non contaminés (impact sur l'environnement, la flore, la faune).

3.2.2. Mesures de maîtrise des déchets et substances polluantes

Sur la base des résultats de l'inventaire et de la classification des déchets, proposer des mesures appropriées de collecte, de stockage, de recyclage, ou d'élimination :

- mise en place poubelles et de décharges identifiées ;
- construction de plateformes pour gérer les déversements accidentels lors du mélange des engrais et des produits phytosanitaires ;
- gestion des huiles de vidange (stock pour recyclage et/ou réutilisation) ;
- entretien des machines (tenir des fiches de maintenance des machines) ;
- nettoyage régulier des sites d'exploitation ;
- gestion des plastiques (bidons d'acide et des sacs vides d'engrais) ;
- rinçage des cuves de traitement phytosanitaire pour éviter les contaminations ;
- utilisation des gainnes d'irrigation pour la confection de brise-vent ;
- politique de gestion des emballages vides de produits phytosanitaires : collecte, stockage temporaire sous clé et élimination (incinération au moyen du fût incinérateur conçu selon le modèle de la *British Agrochemical Association*, au cas un tel procédé n'est pas interdit dans le pays) et/ou récupération par un organisme agréé (si un tel service existe).

À titre d'exemple, un **tableau d'identification et de gestion des déchets et substances polluantes** (non exhaustif) :

| Déchets potentiels | Provenance | Mesures de maîtrise envisagées | Responsable |
|---|---|---|----------------------------|
| Matières plastiques : - bidons vides - sacs vides - gaines - film plastique | Pesticides Sacs d'engrais Goutte à goutte usagé Suremballage des cartons | Collecte, stockage et incinération Liens pour des brises vents | Responsable phytosanitaire |
| Cartons : - cartons contaminés - emballages vides | Suremballage des pesticides Cartons usagés | Etc. | |
| Liquides : - eaux de lavage | Station de conditionnement | | |
| Sources potentielles de pollution et de contamination | Provenance | Mesures de maîtrise envisagées | Responsable |
| Produits phytosanitaires | Fuites ou déversement accidentel | Stockage sous clé | |
| Bouillies de pesticides | Déversement accidentel | | |
| Eaux de rinçage des appareils de traitement | Mauvaises procédures d'élimination | | |
| Hydrocarbures | Déversement accidentel | | |

3.2.3. Gestion de la biodiversité : faune et flore

La gestion de la faune, de la flore et du paysage est d'une grande importance. L'amélioration des espèces et de la diversité structurelle des caractéristiques du terroir et du paysage sera profitable à l'abondance et à la diversité de la faune et de la flore. Tous ces critères doivent être pris en compte dans le cadre du programme de protection de l'environnement. Ainsi, il faudrait effectuer un inventaire de la faune et de la flore de la zone d'exploitation aux fins d'assurer et/ou d'analyser :

- la description et présentation de l'écosystème ;
- l'analyse de la biodiversité ;
- l'impact de cette biodiversité (faune et flore) sur les cultures mises en place ;
- l'impact des pratiques culturales sur cette biodiversité et les mesures de précautions à prendre pour les atténuer à des niveaux acceptables.

Pour l'**analyse de la biodiversité**, il peut être convenant de solliciter les services d'un prestataire (consultant spécialisé, étudiant en Sciences de la vie et de la Terre, Services des eaux et forêts de la localité...).

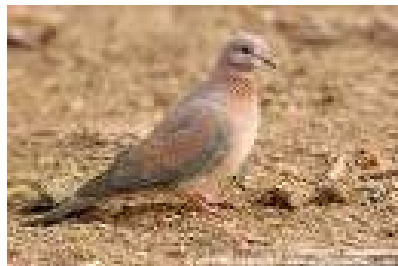
Il s'agit de faire **l'inventaire et l'analyse** de toute la faune, de la flore et de l'écosystème, en indiquant dans la mesure du possible, pour chaque espèce présente :

Inventaire et analyse de la faune :




- Nom commun en français
- Nom scientifique
- Mensurations
- Régime alimentaire
- Degré de présence et d'impact sur les cultures
- Impact probable des pratiques culturales sur l'espèce

À titre d'exemple pour les oiseaux :

| <p>Tourterelle maillée (Nickel silver turtle dove) <i>Streptopelia senegalensis</i></p>  | | <p>Classe : Oiseaux Ordre : Columbiformes Famille : Colombidés</p> <p>Mensurations : 25 cm d'envergure</p> <p>Régime alimentaire : granivore et insectivore.</p> | |
|---|-------------------------|--|------------------------------------|
| Représentativité | Impact sur les cultures | Impact des pratiques culturales | Mesures de précautions préconisées |
| Très élevée | Destructeur | | |

Autre exemple, pour les mammifères :

| <p>Lièvre (Hare) <i>Lepus capensis</i></p>  | | <p>Classe : Mammifère Ordre : Lagomorphe Famille : Léporidés</p> <p>Mensurations : 50 cm de long et 2.5 Kg</p> <p>Régime alimentaire : herbivore et destructeur de plantations</p> | |
|--|-------------------------|--|------------------------------------|
| Représentativité | Impact sur les cultures | Impact des pratiques culturales | Mesures de précautions préconisées |
| Élevée | Destructeur | | |

Inventaire et analyse de flore :

- Strate
- Nom scientifique
- Famille
- Degré de présence et d'impact sur les cultures
- Impact probable des pratiques culturales sur l'espèce



| Typha Typha australis | |  | | Famille : Poacée | |
|--------------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|------------------|--|
| Représentativité | Impact sur les cultures | Impact des pratiques culturales | Mesures de précautions préconisées | | |
| Élevée | Plante invasive et concurrente | | | | |

3.2.4. Gestion des sites improductifs et des habitats

Il s'agira de faire un **plan d'implantation des sites de production**, sur lequel sont matérialisés :

- les zones de cultures (parcelles en production) ;
- les zones d'habitations ;
- les magasins de stockages des intrants (pesticides, engrais, matériel agricole, etc.) ;
- les installations sanitaires (points d'eau, toilettes...) ;
- le réseau d'irrigation et de fertigation ;
- les sites improductifs (zones protégées destinées à favoriser une faune et une flore naturelles) et des zones de jachères.

Ce plan d'implantation a pour objet de donner une **vue globale du site de production, des infrastructures et des zones naturelles**.

Une telle représentation du site permet de mieux caractériser les risques identifiés de pollution, de contamination ou de dégradation et les efforts de conservation et de sauvegarde des habitats sauvages et des espèces et paysages qui pourraient être menacés.



Chapitre 2

Modes de production durables et analyse des risques liés aux pratiques agricoles

| | |
|--|----|
| Modes de production et impact sur l'environnement | 30 |
| L'analyse des risques liés aux pratiques agricoles pour l'environnement..... | 71 |

1. MODES DE PRODUCTION ET IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

1.1. Différencier les modes de production ?

Divers modes de production cherchent à minimiser les impacts environnementaux, et notamment à conserver, améliorer ou restaurer la fertilité des sols ou la biodiversité du milieu.

Ces modes de production sont intéressants à étudier car ils permettent de confronter ce que l'on appelle l' « agriculture conventionnelle » (celle qui est pratiquée largement dans les pays du Nord), qui sert trop souvent de modèle technique de référence, à d'autres approches, d'autres façons de penser l'agriculture, le rôle des sols et de la biodiversité, l'intérêt des techniques traditionnelles, etc.

Tous les agriculteurs ont leur propre manière de conduire leur exploitation. Il est **très difficile aujourd'hui de définir valablement tous les modes de production** et de les classer en fonction de leur « durabilité », selon les diverses façons d'exploiter et de gérer les sols.

Nous pensons néanmoins qu'**il est utile de tenter de les différencier et d'expliquer au praticien, confronté à ces concepts, leurs différences.**

Nous présenterons donc ici en résumé les divers « modes de production » connus, depuis ce qui est le moins durable (l'agriculture conventionnelle) vers les concepts les plus évolués d'agriculture durable au niveau de la réflexion sur le rôle sociétal de l'agriculture et la responsabilité du producteur (comme la permaculture ou l'agroforesterie).

1.2. L'agriculture dite « conventionnelle »

On devrait l'appeler plutôt « **agriculture industrielle** » car **son objectif premier est de produire** et, pour ce faire, elle est fortement mécanisée, très consommatrice en énergie fossile et en intrants divers. Ce type d'agriculture correspond à un mode de production intensif et tend à atteindre un **rendement maximum des cultures** grâce à l'emploi de variétés à haut potentiel mais peu rustiques (exposées aux aléas climatiques et aux attaques des bioagresseurs), exigeantes pour l'eau et les matières nutritives. Elle prescrit donc l'emploi de beaucoup d'intrants, tels que l'énergie, les engrais chimiques, les produits de traitement des cultures, On exploite au maximum le potentiel de fertilité des sols, que l'on soutient par des apports massifs d'engrais chimiques.



Figure 1 – Culture conventionnelle de haricot au Kenya (Photo : B. Schiffers)

A long terme, ce type d'agriculture nuit à la qualité des sols : diminution de la teneur en matière organique, perte de structure, régression de l'activité biologique des sols, accumulation de produits toxiques dans les sols, etc. Sous la pression des consommateurs, des autres secteurs et des autorités, l'agriculture industrielle a connu une transformation progressive au cours des dernières décennies et **engendré des formes évoluées**, notamment l'« **agriculture raisonnée** ».

1.3. L'agriculture dite « raisonnée »

Son objectif premier reste de produire mais en essayant d'aller vers une optimisation dans l'usage des intrants. Selon la définition qu'en donnent diverses sources (ex : INRA, France) « *l'agriculture raisonnée est une démarche qui s'applique aux productions agricoles prenant en compte la protection de l'environnement, la santé et le bien-être animal. Le principe central de l'agriculture raisonnée est d'optimiser le résultat économique en maîtrisant les quantités d'intrants utilisées* ».

Elle correspond à des démarches globales de gestion d'exploitation qui visent, au-delà du respect de la réglementation (ex : par le respect de « cahiers de charge » ou de « référentiels »), à renforcer les impacts positifs des pratiques agricoles sur l'environnement et à en réduire les effets négatifs (ex : apport de fertilisants organiques ; plantes de couverture ; engrais verts ; réduction des traitements phytosanitaires).

Ce type d'agriculture ne remet en cause **ni les itinéraires techniques de production** (on les adapte simplement pour en réduire l'impact, mais en gros les agriculteurs ne traitent que s'il le faut, au bon moment et avec une dose et un matériel adaptés), **ni surtout la rentabilité économique des exploitations**. C'est le modèle que prônent le plus souvent les autorités² de concert avec les fournisseurs d'intrants. Les exploitations se veulent « modernes », avec des techniques dites « **de précision** » ; elles doivent être de taille suffisante pour justifier l'investissement dans des machines performantes, mais coûteuses, et des technologies de pointe comme les GPS, les caméras embarquées, les capteurs, les drones, ... (on veut profiter d'une économie d'échelle). Ce type d'agriculture

2

En France, le ministère de l'agriculture en a même fait un référentiel officiel.

reste fort dépendant des intrants externes. Au niveau des sols, les observations montrent que l'effet à long terme est le même ; **on ne fait que ralentir le phénomène** de dégradation de la fertilité normale du sol ou de perte de biodiversité.

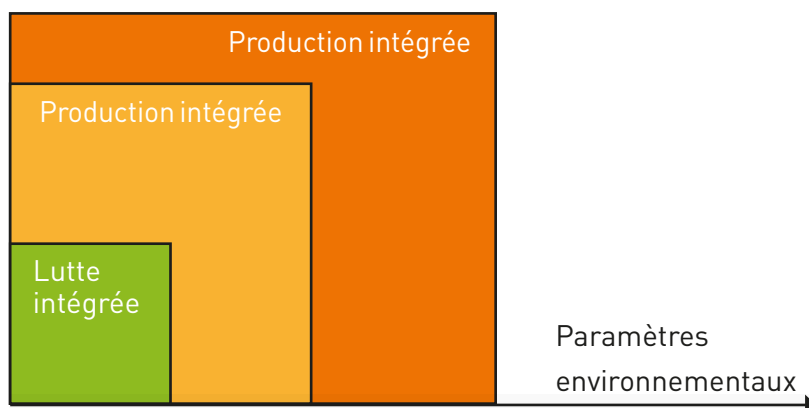
1.4. La production dite « intégrée »

1.4.1. Origine du concept

C'est une forme d'agriculture intensive qui concilie des pratiques plus respectueuses de la santé (moins de chimie) et de l'environnement (respect des haies et des milieux naturels ; protection des insectes auxiliaires et des animaux en général; lutte intégrée ; méthodes alternatives ; rotations allongées ; gestion intégrée de la fertilité des sols) et des préoccupations économiques (la productivité et la rentabilité). L'INRA (France) en donne la définition suivante : « *une production économique de produits de haute qualité, donnant la priorité à des méthodes écologiquement plus sûres, minimisant l'utilisation et les effets indésirables des produits agrochimiques et visant à l'amélioration de la sécurité environnementale et de la santé humaine* ». Le travail du sol est limité et la fertilisation du sol (engrais et amendements chimiques combinés à des engrais et amendements organiques) est pratiquée « au plus juste » car on cherche un équilibre entre production/ha et consommation d'intrants (si possible produits localement) pour atteindre une certaine « durabilité » du système agricole et le maintien de la fertilité des sols à long terme. Si en outre, les exploitations se veulent de type « agriculture familiale », sont plutôt de taille moyenne (jusqu'à quelques salariés ou saisonniers), avec une autoproduction des fertilisants organiques,... on se rapproche de l'idéal de l'agriculture durable.

C'est l'OILB (Organisation internationale de lutte biologique et intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles, 1977), en collaboration avec l'OEPP (Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes) et l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique), qui est à l'origine du concept de « **production intégrée** » né de la nécessité d'étendre à l'ensemble des facteurs de production les principes de raisonnement appliqués à la protection phytosanitaire depuis 1965 (la « lutte intégrée »).

Le concept de « lutte intégrée » s'est en effet enrichi au cours du temps avec la prise en compte des **interactions existantes** entre la plante, la flore et la faune environnante, les ravageurs et leurs antagonistes, pour aboutir à la conception de « systèmes de production » optimisant l'ensemble des facteurs de production pour le développement d'une **agriculture durable**, économe, respectueuse de la santé humaine et de l'environnement (production intégrée).





Le concept de **production intégrée** a pour objectif le développement de systèmes de production basés sur une meilleure gestion des agro-écosystèmes en vue de réduire les pollutions en provenance des activités agricoles.

1.4.2. Définition et objectifs de la production intégrée

La définition, donnée par l'OILB en 1993, révèle l'importance de l'intégration des préoccupations environnementales dans le développement agricole au cours de ces dernières années :

« *Système agricole de production d'aliments et des autres produits de haute qualité qui utilise des ressources et des mécanismes de régulation naturels pour remplacer des apports dommageables à l'environnement et qui assure à long terme une agriculture viable* ».

La production intégrée poursuit plusieurs objectifs :

- produire en quantité suffisante des denrées qui répondent à une qualité garantie sur des critères mesurables ou détectables, pour une plus grande satisfaction des consommateurs ;
- valoriser, maintenir ou mettre en place des agro-écosystèmes qui ne perturbent pas l'environnement et permettent une gestion durable de l'espace rural (agencement des parcelles, rotation des cultures...) ;
- rechercher un meilleur équilibre dans les cycles des éléments nutritifs en valorisant au mieux les ressources naturelles et les mécanismes régulateurs ;
- assurer une protection phytosanitaire raisonnée ;
- favoriser une plus grande diversité écologique au niveau des aires de production et préserver la faune sauvage ;
- préserver la fertilité des sols et la qualité du milieu ;
- maintenir le revenu des producteurs et un tissu social sur l'ensemble des territoires.

Dans la pratique, la mise en œuvre de la production intégrée implique pour le producteur de **respecter un itinéraire technique** où chaque intervention sur la culture (plantation, semis, conduite, fertilisation, irrigation, traitement phytosanitaire, récolte) est raisonnée en tenant compte des potentialités locales, des besoins réels de la plante, des attentes du consommateur. L'objectif est **d'optimiser** au mieux les facteurs de production. C'est dans le domaine des productions fruitières que le concept de production intégrée est le plus élaboré en Europe.

1.4.3. Outils de gestion de la production intégrée

En production intégrée, l'itinéraire technique impose au producteur de **s'interroger sur chaque intervention dans la culture**, en considérant les facteurs climat, fertilité du sol et ressource en eau, en évaluant les besoins de la plante par des résultats d'analyses et des observations diverses, et **en estimant son impact sur l'environnement**.

Le pilotage de la production intégrée nécessite donc le **développement** et la **maîtrise d'outils** qui doivent aider le producteur à fonder sa prise de décision :

- *opérations culturales* : propriétés des variétés, qualité des semences ou des porte-greffes, effet des densités de semis, dates de sarclage, dates de buttage, taille, effet du labour, etc. pour optimiser les rendements ;
- *fertilisation* : pour raisonner la nutrition des plantes, analyses de sol complétées par des analyses annuelles des végétaux, prise en compte du recyclage des éléments nutritifs (M.O. et engrais), contrôle des pertes de ceux-ci par lessivage, etc. ;
- *protection des cultures* : observation des ravageurs et des auxiliaires, mesure de seuils d'intervention, dynamique des populations, résistance variétale, etc. ;
- *irrigation* : mesures climatiques (pluviométrie, ETP ou Évapo-transpiration potentielle, mesure de l'eau disponible dans le sol, mesures micro-morphométriques de la plante pour évaluer ses besoins en eau...) ;
- *déclenchement de la récolte* : tests pour évaluer le degré de maturité (degré Brix, test colorimétrique, indice de fermeté, etc.) ;
- *analyse du « milieu »* : identifier les zones à protéger, les voies de transfert des polluants, évaluer l'efficacité des dispositifs de protection, etc.

1.4.4. Principales obligations relatives à la production intégrée

En Europe, les producteurs qui souhaitent travailler dans le cadre de la production intégrée se voient proposer des itinéraires techniques repris dans des cahiers de charge contraignants (spécialement en ce qui concerne la production fruitière intégrée ou celle de la pomme de terre, par exemple).



Les **principales obligations** portent sur : le choix des variétés (liste de variétés autorisées), l'environnement de la parcelle (présence de haies, de bosquets), l'état sanitaire du sol (toute désinfection doit être justifiée), l'état sanitaire des semences ou des plants (semences/plants certifiés ou d'origine identifiée), au sol (l'analyse physico-chimique du sol est obligatoire), la formation du producteur, l'enregistrement obligatoire de toutes les interventions sur la culture.

Avant plantation, **l'étude du sol et du sous-sol est obligatoire** (profil et analyse physico-chimique). En cours de production, l'analyse des feuilles et/ou des fruits est obligatoire (1 fois/an) pour piloter les redressements de fumure. Afin d'entretenir une diversité écologique, de limiter l'érosion du sol et d'éviter le compactage de celui-ci, l'entretien du sol est soumis aux exigences suivantes :

- l'enherbement du sol de l'inter-rang est recommandé ;
- le travail sur la totalité du sol n'est toléré qu'en présence de problèmes particuliers,
- le désherbage total et permanent est interdit ;
- la largeur de la bande de terre sur le rang, travaillée ou désherbée, doit être bien définie et justifiée régionalement ;
- les herbicides présentant un risque de pollution des nappes sont déconseillés.

L'**irrigation doit être raisonnée** en fonction des besoins des plantes et de l'eau disponible dans le sol ou à proximité, sans gêner d'autres productions ou usages.

La **protection intégrée** est la base du raisonnement de la protection phytosanitaire. Aucune intervention ne doit être systématique. L'environnement des parcelles doit être aménagé pour favoriser l'installation de la faune utile. Des canevas précisant les observations indispensables et les seuils d'intervention sont établis par espèce. Des fiches d'enregistrement des observations et des traitements permettent de **vérifier la justification technique des traitements**. La liste des produits phytosanitaires employés doit faire apparaître l'intention d'écartier les pesticides :

- à toxicité élevée (ex. : Classes OMS Ia et Ib) ;
- dangereux pour la faune terrestre et aquatique ;
- non sélectifs vis-à-vis de la faune utile.

La **date de récolte** doit être déterminée par des mesures effectuées au champ de manière à obtenir les normes de qualité définie. Le matériel de récolte et les salles de conditionnement doivent répondre à des **conditions parfaites d'hygiène**.

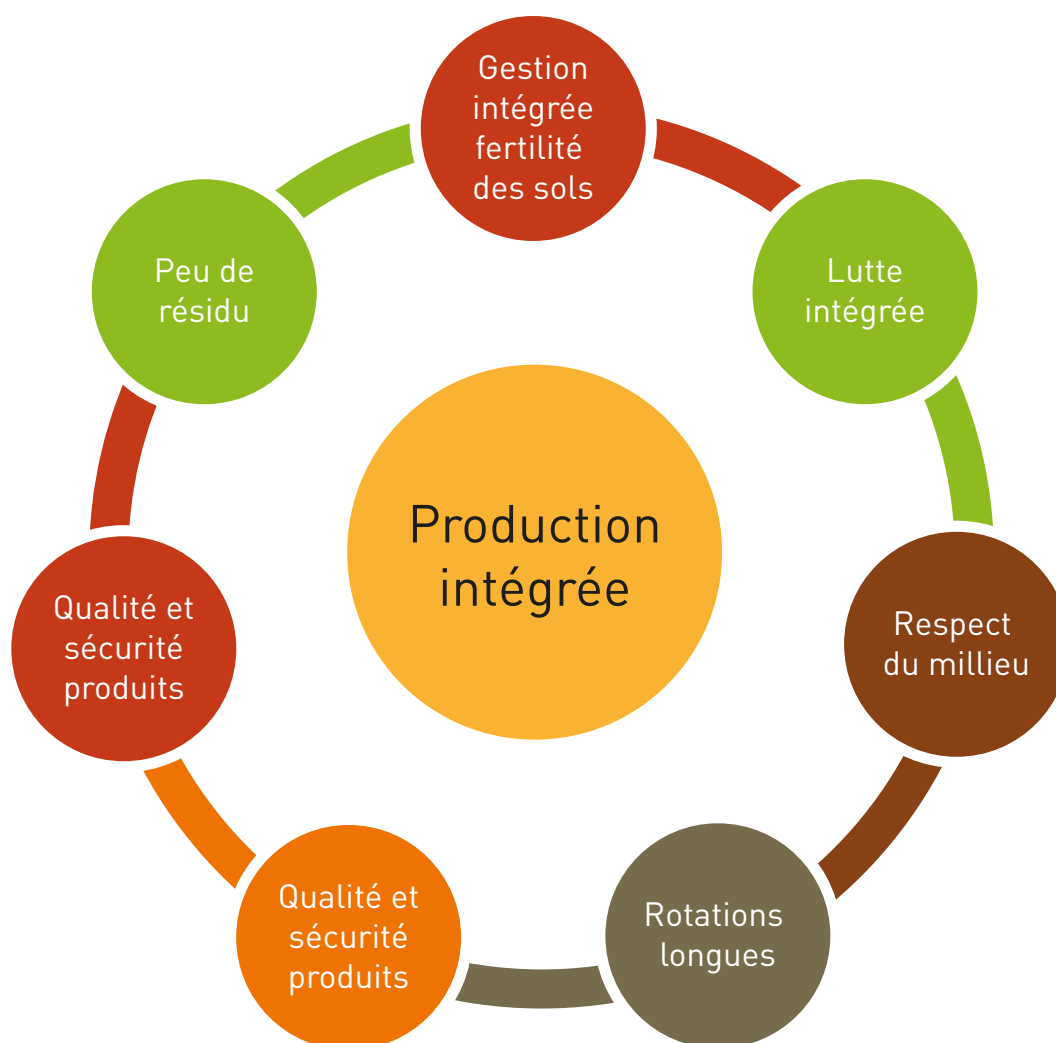


Figure 2 – Représentation schématique des éléments à intégrer

1.5. La production dite « biologique »

1.5.1. Définitions

L'**agriculture biologique**³ est née dans les années 1920, ce type d'agriculture se distingue des autres modes de production agricole en **refusant l'utilisation des produits chimiques** de synthèse, issus d'une transformation chimique (et, pour certains, et respectent des principes éthiques comme la recherche de rapports socio-économiques plus équitables⁴).

On peut la définir comme suit : « *La production biologique est un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques environnementales, un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles, l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et une méthode de production respectant la préférence de certains consommateurs à l'égard des produits obtenus grâce à des substances et des procédés naturels* ».

L'IFOAM (International Federation of Organic Agricultural Movements) a proposé une définition consensuelle de l'agriculture biologique qui montre clairement que les systèmes biologiques sont fondés sur la durabilité environnementale et sociale et englobent les sciences écologiques, les cycles naturels et les personnes (www.ifoam.org) :

« *L'agriculture biologique est un système de production qui maintient et améliore la santé des sols, des écosystèmes et des personnes. Elle s'appuie sur des processus écologiques, la biodiversité et des cycles adaptés aux conditions locales, plutôt que sur l'utilisation d'intrants ayant des effets adverses. L'agriculture biologique allie tradition, innovation et science au bénéfice de l'environnement commun et promeut des relations justes et une bonne qualité de vie pour tous ceux qui y sont impliqués* ».

L'agriculture biologique est aujourd'hui **considérée comme « la base théorique » de l'agriculture durable**. Elle limite largement les atteintes de la production agricole sur l'environnement, en **protégeant notamment les sols et les ressources en eau**.

1.5.2. Principes de l'agriculture biologique

L'agriculture biologique se base sur 4 grands principes :

1. **Le principe de santé** : L'agriculture biologique doit **conserver et favoriser la santé du sol, des plantes, des animaux, de l'être humain et de la planète** en tant qu'unité indivisible. Ce principe souligne que la santé des personnes et des communautés ne peut être séparée de la santé des écosystèmes : un sol sain produit une culture saine qui sera bénéfique pour la santé des animaux et des personnes. La santé est la globalité et l'intégrité des systèmes vivants. Le rôle de l'agriculture biologique, que ce soit en production, en transformation, en distribution ou en consommation, est de soutenir et d'accroître la santé des écosystèmes et des organismes du plus petit dans le sol jusqu'aux êtres humains. En particulier, l'agriculture biologique est destinée à produire des aliments de grande qualité qui sont nutritifs et contribuent à la prévention des maladies et au bien-être. En conséquence, elle se doit d'éviter l'utilisation de fertilisants, pesticides, produits vétérinaires et additifs alimentaires qui peuvent avoir des effets pervers sur la santé.

3 Voir aussi COLEACP, Manuel sur l'agriculture biologique.

4 Exigences qui ne figurent pas dans la réglementation européenne sur l'agriculture biologique.

- 2. Le principe de l'écologie** : L'agriculture biologique doit se fonder sur les cycles et les systèmes écologiques vivants, s'accorder avec eux, les imiter et les aider à se maintenir. Les systèmes culturaux, pastoraux et de cueillettes sauvages biologiques doivent s'adapter aux cycles et aux équilibres écologiques de la nature. Ces cycles sont universels, mais leur manifestation est spécifique à chaque site. La gestion biologique doit s'adapter aux conditions, à l'écologie, à la culture et à l'échelle locales. Les intrants devraient être réduits par leur réutilisation, leur recyclage et une gestion efficiente efficace des matériaux et de l'énergie de façon à maintenir et améliorer la qualité environnementale et à préserver les ressources. L'agriculture biologique doit atteindre l'équilibre écologique au travers de la conception des systèmes de cultures, de la mise en place des habitats et de l'entretien de la diversité génétique et agricole. Ceux qui produisent, transforment, commercialisent ou consomment des produits biologiques doivent protéger et agir au bénéfice de l'environnement commun, incluant le paysage, le climat, l'habitat, la biodiversité, l'air et l'eau.
- 3. Le principe de l'équité** : L'agriculture biologique doit se construire sur des relations qui assurent l'équité par rapport à l'environnement commun et aux opportunités de la vie. L'équité est caractérisée par l'intégrité, le respect mutuel, la justice et la bonne gestion d'un monde partagé, aussi bien entre les personnes que dans leurs relations avec les autres êtres vivants. Ce principe souligne que ceux qui sont engagés dans l'agriculture biologique devraient entretenir et cultiver les relations humaines d'une manière qui assure l'équité à tous les niveaux et pour tous les acteurs : producteurs, salariés agricoles, préparateurs, transformateurs, distributeurs, commerçants et consommateurs. L'agriculture biologique doit fournir à chaque personne engagée, une bonne qualité de vie, et contribuer à la souveraineté alimentaire et à la réduction de la pauvreté. Elle vise à produire en suffisance des aliments et d'autres produits de bonne qualité. Ce principe insiste sur le fait que les animaux devraient être élevés dans les conditions de vie, conformes à leur physiologie, à leurs comportements naturels et à leur bien-être. Les ressources naturelles et environnementales qui sont utilisées pour la production et la consommation doivent être gérées d'une façon socialement et écologiquement juste et en considération du respect des générations futures. L'équité demande à ce que les systèmes de production, de distribution et d'échange soient ouverts, équitables et prennent en compte les réels coûts environnementaux et sociaux.
- 4. Le principe de précaution** : L'agriculture biologique doit être conduite de manière prudente et responsable pour protéger la santé et le bien-être des générations actuelles et futures ainsi que l'environnement. L'agriculture biologique est un système vivant et dynamique qui répond à des demandes et des conditions internes et externes. Les personnes intéressées par l'agriculture biologique peuvent améliorer l'efficacité et augmenter la productivité, mais cela ne doit pas être fait aux dépens de la santé et du bien-être. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire d'évaluer les nouvelles technologies et de réexaminer les méthodes existantes. Étant donné les lacunes qui existent dans la compréhension des écosystèmes et de l'agriculture, la prudence est de mise. Ce principe établit que la précaution et la responsabilité sont des critères importants des choix

de gestion, de développement et de technologie en agriculture biologique. La science est nécessaire pour s'assurer que l'agriculture biologique est saine, sans risque et écologique. Cependant, la connaissance scientifique seule n'est pas suffisante. L'expérience pratique, la sagesse accumulée, et le savoir traditionnel et indigène offrent des solutions valables et éprouvées par le temps. L'agriculture biologique doit éviter de grands risques en adoptant des technologies adaptées et en rejetant celles qui sont imprévisibles, notamment le génie génétique. Les décisions doivent refléter les valeurs et les besoins de ceux qui pourraient être concernés, au travers de processus transparents et participatifs.

Le **Codex Alimentarius** de la FAO propose également quelques principes relatifs à l'agriculture biologique :

« L'agriculture biologique repose sur les principes suivants : **utiliser le moins possible d'intrants et éviter l'emploi d'engrais et de pesticides de synthèse**. Les pratiques culturales biologiques ne peuvent garantir que les produits soient totalement exempts de résidus, en raison de la pollution générale de l'environnement. Cependant, les méthodes utilisées ont pour objectif de minimiser la pollution de l'air, des sols et de l'eau. Les intermédiaires, transformateurs et détaillants de denrées biologiques se conforment à des normes afin de maintenir l'intégrité des produits de l'agriculture biologique. Le principal objectif de l'agriculture biologique est d'optimiser la santé et la productivité d'entités interdépendantes que constituent la vie des sols, les plantes, les animaux et les êtres humains ».

« L'agriculture biologique est un **système de gestion holistique de la production** qui favorise la santé de l'agrosystème, y compris la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique des sols. Elle privilégie les pratiques de gestion plutôt que les facteurs de production d'origine extérieure, en tenant compte du fait que les systèmes locaux doivent s'adapter aux conditions régionales. Dans cette optique, des **méthodes culturales, biologiques et mécaniques** sont, dans la mesure du possible, utilisées de préférence aux produits de synthèse, pour remplir toutes les fonctions spécifiques du système ».

Une autre particularité de l'agriculture biologique est de bénéficier d'un signe officiel strict d'identification sur ses produits, garantissant une qualité attachée au respect du cahier des charges qui certifie à la fois les pratiques agricoles et les produits.



Figure 3 - Labels sur les produits issus de l'agriculture biologique.

Les agriculteurs biologiques sont aussi **à la fois gardiens et utilisateurs de la biodiversité à tous les niveaux** :

- Au niveau génétique : les semences et les races endémiques et adaptées aux conditions locales sont préférées en raison de leur plus grande résistance aux maladies et de leur résilience face aux perturbations climatiques.
- Au niveau spécifique : diverses combinaisons de plantes et d'animaux optimisent le cycle des éléments nutritifs et de l'énergie au profit de la production agricole.
- Au niveau écosystémique : le maintien de zones naturelles à l'intérieur et autour des champs de culture biologique et l'absence d'intrants chimiques créent des habitats propices à la vie des espèces sauvages. Le recours aux méthodes biologiques de lutte antiparasitaire préserve la diversité spécifique et prévient l'apparition de ravageurs résistants aux produits phytosanitaires chimiques.

1.5.3. Comment faut-il procéder exactement pour être un bon agriculteur biologique ?

Chaque culture et chaque système d'exploitation a certes ses propres particularités en terme de méthodes d'exploitation biologique, mais il existe néanmoins **certaines caractéristiques communes entre les systèmes d'exploitations biologiques** qui peuvent servir de repères. Dans une agriculture biologique, les critères suivants sont observés :

- Maintien et accroissement la fertilité du sol à long terme.
- Renforcement des cycles biologiques dans les fermes, et plus particulièrement ceux des nutriments.
- Apport de l'azote à travers l'utilisation intensive des plantes fixatrices d'azote.
- Protection biologique des plantes assurée en se basant sur la prévention et non le traitement curatif.
- Diversification des variétés de cultures.
- Utilisation d'espèces animales adaptées aux conditions locales.
- Interdiction des produits chimiques synthétiques comme engrais ou pour la protection des plantes, des hormones et régulateurs de croissance : les engrais organiques regroupent toutes les sources de nutriments d'origine végétale ou animale. Malheureusement, ces sources de nutriments sont souvent une source sous-estimée. Les engrais organiques sont très différents des engrais chimiques ou minéraux. La différence fondamentale réside dans le fait qu'ils contiennent de la matière organique. Compte tenu de la matière organique qu'ils contiennent, les engrais organiques sont une source lente de nutriments et fournissent plusieurs nutriments à la fois. Mais ils améliorent surtout principalement la qualité du sol.
- Prohibition du génie génétique et de ses produits.
- Interdiction de l'utilisation des méthodes synthétiques ou nuisibles, des ingrédients et additifs dans la transformation des produits.

L'agriculture biologique utilise les ressources disponibles sur place de manière à optimiser la concurrence pour la nourriture et l'espace entre différentes espèces de plantes et d'animaux. L'organisation de la répartition spatiotemporelle de la biodiversité constitue le principal «intrant» des agriculteurs biologiques. En s'abstenant d'utiliser

des engrais minéraux, des pesticides de synthèse, des produits pharmaceutiques ainsi que des semences et des races génétiquement modifiées, on favorise la biodiversité de façon à conserver la fertilité du sol et à prévenir la prolifération des ravageurs et l'apparition des maladies.

Il existe plusieurs guides et manuels (dont celui du COLEACP) destinés à aider à mettre en place une exploitation biologique. L'IFOAM a publié une série de manuels de formation qui traitent de façon complète de la production biologique dans les pays tropicaux. Des guides pratiques sur la production de cultures spécifiques sont disponibles gratuitement sur la plateforme de formation d'IFOAM.

Exemple : Agriculture biologique au Sénégal

Le Sénégal a placé la promotion du secteur agricole et des investissements privés au centre de sa stratégie de développement économique et social. Actuellement, la base institutionnelle de l'agriculture au niveau local repose essentiellement sur les organisations non-gouvernementales, les associations paysannes et d'autres associations d'intérêt professionnel. Globalement le contexte est favorable au développement de l'agriculture biologique. Les systèmes d'exploitation les plus répandus sont les systèmes de cultures pluviales (62,4% des terres arables durant 1990-95) utilisant de moins en moins les engrais, les pesticides et les semences sélectionnées.

Un processus de réglementation de l'agriculture biologique s'est enclenché en l'an 2000. Prenant conscience de cette situation, des organisations telles que ASPAB, ENDA PRONAT, AGRINAT, AGRECOL Afrique, RODALE et leurs partenaires ont manifesté le désir de collaborer dans le développement de l'agriculture biologique pour développer ensemble, au Sénégal, un programme visant la mise en place d'une structure d'accréditation, de certification et de commercialisation des produits organiques.

En général, les champs sont répartis dans le terroir villageois, ou même inter-villageois, en fonction de la spéculation. Par exemple, le riz dans les bas-fonds, le sorgho dans les terres argileuses, le mil dans les sols sablonneux et les pâturages dans les zones de jachère. La gestion spatiale de toutes ces entités dans un but interactif et respectueux de la synergie des écosystèmes est pour l'agriculteur sénégalais l'agriculture agro-écologique.

Les techniques agro-écologiques permettent de combiner plusieurs facteurs naturels et sociaux afin de garantir une production suffisante qualitativement et surtout durable. La maîtrise de ces techniques passe par la mise en place d'un système de formation renforcé par une vulgarisation spécifique aux réalités du pays. Sous tous les aspects de comparaison de rentabilité économique entre les systèmes de production agricole, et au niveau du bénéfice réel de l'agriculteur, l'avantage est toujours du côté de l'agriculture biologique.

Une comparaison faite sur la culture du haricot vert dans les Niayes a démontré qu'on arrivait à faire jusqu'à 5 récoltes pour une campagne alors que dans le conventionnel on a rarement dépassé les 2 récoltes. Les résultats nets d'exploitations sont beaucoup plus intéressants en agriculture biologique. Au Sénégal, la production biologique peut avoir un bel avenir si elle privilégie la diversification des cultures et prend en charge la sécurité alimentaire.



Au-delà de la consommation nationale, l'agriculture biologique sénégalaise regorge d'atouts pour la culture du coton et les cultures maraîchères. L'expérience du programme de coton biologique menée dans la région de Tambacounda montre qu'il y a raison d'espérer. Les prix offerts pour l'exportation du coton biologique sont encourageants.

Pour les cultures maraîchères, le Sénégal jouit d'un climat favorable à des cultures destinées à l'exportation comme le haricot vert, les fraises et autres - au moment où ces produits sont rares sur le marché européens. Il y a par ailleurs une filière émergente de production de fruits biologique pour l'export, notamment la mangue et le citron vert.

Source : <http://www.fao.org/3/a-x6915f/x6915f03.htm>



1.6. L'agriculture dite « de conservation »

1.6.1. Définition

L'**agriculture de conservation** est parfois dite « **agriculture écologiquement intensive** ». Son objectif est de **redonner au sol son rôle de pilier** dans la production végétale. Le sol est considéré, non pas comme un support inerte, mais comme un milieu vivant (définition du site de l'APAD- l'Association pour une Agriculture Durable). Selon la définition donnée par la FAO « *elle vise des systèmes agricoles durables et rentables et tend à améliorer les conditions de vie des exploitants au travers de la mise en œuvre simultanée **de trois principes à l'échelle de la parcelle**: (1) le travail minimal du sol ; (2) les associations et les rotations culturales ; (3) la couverture permanente du sol* ». Elle présente un grand potentiel pour tous les types d'exploitations agricoles et d'environnements agro-écologiques. Elle est d'un grand intérêt pour les petites exploitations dont les moyens de production limités ne permettent pas de lever la forte contrainte de temps et de main d'œuvre. C'est un mode de production qui tend à concilier production agricole, amélioration des conditions de vie et protection de l'environnement. Elle a été mise en œuvre avec succès par différents types de systèmes de production et dans une diversité de zones agro-écologiques. « *Elle est perçue par les utilisateurs comme un outil valable pour la gestion pérenne du terroir* » (FAO).

On estime que 100 millions d'hectares de terre sont sous l'agriculture de conservation dans le monde. En Afrique, le nombre total des zones sous l'agriculture de conservation est toujours très petit par rapport aux espaces cultivés utilisant des méthodes conventionnelles de labour, représentant moins de 4% de l'espace total en exploitation.

En Afrique de l'Ouest, cette agriculture apparaît comme une voie pour l'intensification écologique des systèmes de production, sous réserve pour la recherche de produire plus de références sur ses effets à l'échelle de l'exploitation agricole. L'agriculture de conservation est une pratique de production de cultures à ressource efficace basée sur des principes qui améliorent les processus biologiques sur et sous le sol. Ces principes directs impliquent une perturbation minimale ou même zéro perturbation mécanique du sol, maintenant le sol couvert en permanence, soit par une culture en développement ou un paillis mort des résidus de cultures ; et l'alternance de cultures diversifiées. Par ailleurs, les agriculteurs utilisent des variétés de cultures traditionnelles sans herbicides ou des variétés résistantes aux herbicides. L'alternance des cultures est également utilisée pour maîtriser les insectes nuisibles.

L'agriculture de conservation est une **méthode de gestion des agroécosystèmes** qui a pour but une amélioration soutenue de la productivité, une augmentation des profits ainsi que de la sécurité alimentaire tout en préservant et en améliorant les ressources et l'environnement. Elle se définit par des opérations culturales particulières dont l'objet est de favoriser ou restaurer l'activité biologique dans le sol, en vue de multiples bénéfices pour la santé des plantes, la réduction des risques, l'économie d'interventions culturales et d'intrants.

1.6.2. Principes de l'agriculture de conservation

L'agriculture de conservation se caractérise par **trois principes reliés**, à savoir:

- **Un travail minimal du sol** (allant jusqu'à son absence totale, cas des systèmes de semis direct) : L'« idéal » recherché est la suppression du travail du sol, mais un travail du sol simplifié, superficiel ou réduit est souvent pratiqué par les agriculteurs, en particulier lors des phases de transition entre deux cultures. Le labour systématique peut alors être remplacé par différentes pratiques : labour occasionnel (impasse sur certaines parcelles ou avant certaines cultures pour positionner les labours avant les cultures qui sont les plus exigeantes vis-à-vis de la porosité du sol ou de la finesse du lit de semence) ; pseudo-labour (labour remplacé par un travail profond, mais sans retourner le sol : décompactage ou sous-solage) ; travail du sol superficiel avec des outils à disques ou à dents (déchaumage ou strip-till par exemple) ; semis direct ou semis direct sous couvert végétal en l'absence de tout travail du sol (le sol n'est perturbé que sur la ligne de semis). Ces différentes pratiques peuvent se succéder dans le temps, dans une trajectoire allant vers la suppression totale du travail du sol, ou bien coexister au sein d'une même exploitation en fonction des parcelles et des cultures.
- **La couverture permanente du sol par un mulch végétal vivant ou mort (paille)** : Les sols sont couverts en permanence, soit par des résidus de cultures précédentes (appelés mulch, Figures 4 et 5), qui ne sont pas prélevés mais restitués, soit par des plantes de couverture implantées en interculture, dans le but de protéger la surface des sols, de maintenir l'humidité, de concurrencer les adventices, etc. Ces couverts sont rarement des plantes commerciales, mais ils peuvent néanmoins jouer un rôle important dans le fonctionnement du système (recyclage de l'eau et de l'azote, amélioration de la structure du sol, production de biomasse, etc.). En contexte semi-aride, où la production de biomasse est limitée et les activités d'élevage prépondérantes, il peut y avoir une compétition entre restitution des résidus couvrant le sol et utilisation des résidus comme ressources fourragères pour les troupeaux.
- **La diversification des espèces cultivées, en association et/ou dans la rotation.** La suppression du travail du sol rend indispensable l'allongement des rotations afin de maîtriser les adventices qui ne sont alors plus détruites par le labour (pas d'enfouissement). La diversification des cultures d'une saison productive à l'autre et l'allongement des rotations permet de moins spécialiser les flores adventices. Par ailleurs, la présence de résidus de cultures à la surface du sol est peu compatible avec des monocultures, car elles favorisent la transmission de maladies fongiques (ex : pour le blé) ou le développement de certains ravageurs (ex: pyrale du maïs).



Figure 4 - Exemple de mulch de résidus de récolte du sorgho dans le Nord-Bénin

Source : Agbangba, 2014



Figure 5 - Mulch au sol (agriculture de conservation à Madagascar)

Les **travaux du sol sont donc abandonnés ou réduits « au minimum »**, car ils favorisent la dégradation du sol par la perte de la matière organique, perte de stabilité structurale, appauvrissement biologique et accroissement de l'érodibilité des sols cultivés. La couverture permanente remplace certaines fonctions du travail du sol (assurer le désherbage) et vise à protéger le sol des intempéries, stimuler les processus biologiques responsables de la structuration des sols, accroître la richesse organique et biologique du sol, enfin optimiser la disponibilité en nutriments par l'accroissement de leurs flux et la limitation des fuites, conférant une meilleure efficacité aux engrais.

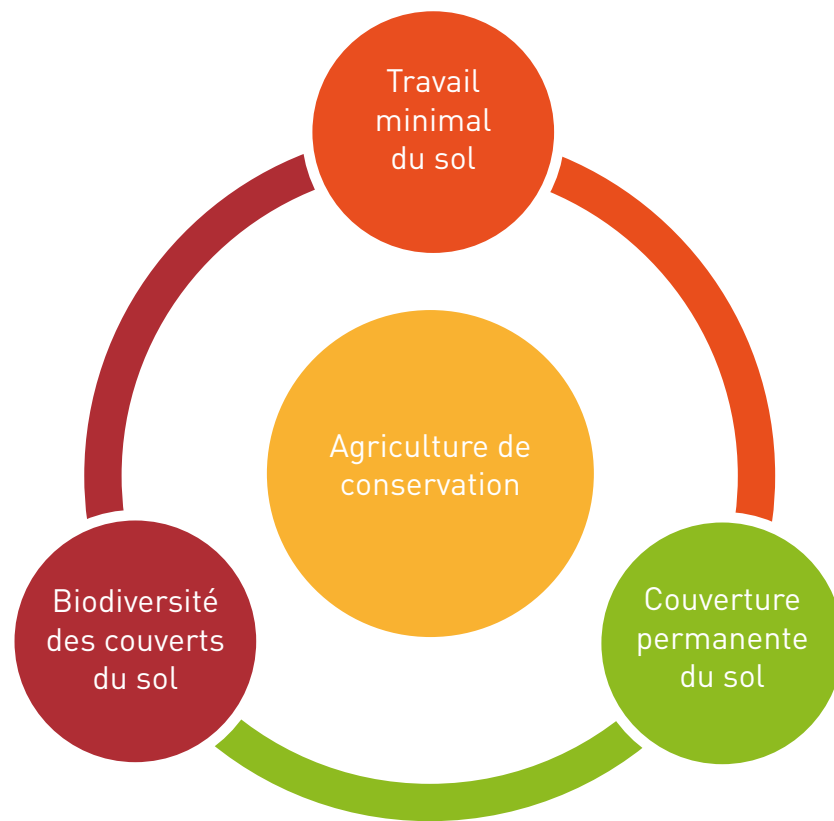


Figure 6 - Principes fondamentaux de l'agriculture de conservation

La manière dont les **trois principes sont combinés à l'échelle de la parcelle** peut varier selon les caractéristiques de l'environnement agro-écologique, les moyens et les objectifs de l'agriculteur. Etant donné qu'il n'existe pas de solutions universelles, l'agriculture de conservation vise à valoriser la diversité des agroécosystèmes pour proposer des solutions adaptées aux situations locales.

1.6.3. Intérêt de l'agriculture de conservation

Les principes de base de l'agriculture de conservation peuvent être appliqués de façon universelle à tous les paysages agricoles ainsi qu'à l'utilisation des sols au moyen de méthodes qui sont adaptées localement. **L'agriculture de conservation améliore la biodiversité et les processus biologiques naturels sur et sous la surface du sol.** Les interventions dans le sol telles que le travail mécanique sont **réduites au strict minimum ou même évitées**, et les intrants de base comme les produits agrochimiques et les nutriments des plantes d'origine minérale ou organique, sont appliqués de la meilleure des façons et en quantités qui n'interfèrent ou ne détruisent pas les processus biologiques. L'agriculture de conservation facilite une bonne agronomie par **des interventions ciblées dans le temps** de même qu'elle améliore l'exploitation générale des sols pour la production pluviale et irriguée. Complétée par de bonnes pratiques comme l'usage de semences de qualité, la gestion intégrée des ravageurs, de la fertilité des sols, des mauvaises herbes et des eaux, etc., l'agriculture de conservation est une base pour une intensification durable de la production agricole. Elle offre des options croissantes aux secteurs de l'intégration de la production tels que l'intégration des végétaux et du bétail ainsi que celle des arbres et des pâturages dans les paysages agricoles.

Le travail du sol peut entraîner à court terme une amélioration de sa fertilité, mais à moyen terme il conduit à la dégradation. La dégradation de la structure du sol, des pertes de matières organiques, l'érosion et la baisse de la biodiversité surviennent également. Par le passé, le labour était considéré comme le gage de l'amélioration de la fertilité des sols, en raison de la minéralisation des éléments nutritifs du sol qu'elle favorise. Mais à long terme, un labour intense et répétitif entraîne la diminution du taux de matière organique dont le rôle est fondamental pour la nutrition des plantes et la stabilisation de la structure du sol. Des sols soumis régulièrement à des pratiques agricoles intensives se dégradent plus facilement. Avec l'agriculture de conservation **les labours traditionnels utilisant la charrue sont remplacés par des « labours biologiques » réalisés par la faune du sol** (vers, punaises etc.). En effet, nous l'avons exposé plus haut, le travail mécanique perturbe cette activité biologique, réduisant ainsi la stabilité structurale. Le sol est plus exposé à la battance et à la compaction. Certaines opérations telles que le labour avec des disques rotatifs ont des effets plus dévastateurs que d'autres (exemple du chisel). Les multiples opérations de labour réalisées dans l'objectif d'ameublir le sol, facilitent l'aération et **augmentent l'oxygénation** : il s'en suit une rapide minéralisation de la matière organique. Bien que cette minéralisation soit un nécessaire pour améliorer la fertilité des sols, la libération et la lixiviation d'éléments sont souvent importantes. **A terme le taux de matière organique dont le rôle est fondamental pour l'activité biologique du sol diminue.**

Les pratiques regroupées sous le terme générique d'agriculture de conservation vont au-delà de la simple réduction du labour mécanique. Lorsqu'un sol n'est pas travaillé pendant plusieurs années de suite, **les résidus de culture s'accumulent et forment une couche de mulch.**

Divers organismes vivants, des grands insectes aux bactéries et champignons microscopiques trouvent ici un habitat et des conditions idoines pour leur développement. Par leurs activités, **ces organismes transforment, incorporent et mélangent le mulch au sol**, puis vont **décomposer l'ensemble** ainsi constitué pour **former l'humus** dont le rôle est important dans la stabilisation de la structure du sol. En outre, la matière organique du sol joue une fonction de solution tampon pour l'eau et les éléments nutritifs. Les éléments de la macrofaune du sol tels que les vers de terre et les punaises participent à la structuration du sol en produisant des agrégats et des macropores qui relient les couches de surface aux horizons de profondeur. L'infiltration de l'eau est facilitée, permettant ainsi de limiter le ruissellement et les risques d'inondations lors des averses.

L'agriculture sans labour ou avec un **travail minimal du sol n'est possible que si les organismes vivants, par leurs activités, réalisent ce travail de labour.** La mise en œuvre de l'agriculture de conservation exige donc des modifications dans le mode de gestion de l'enherbement et des ravageurs des cultures (lutte intégrée). Les **rotations culturales** constituent un élément important de cette nouvelle stratégie pour briser le cycle des pathologies tout en valorisant les interactions entre les propriétés physiques et chimiques de différentes espèces végétales cultivées de façon alternative ou associées sur une même parcelle.

Les **pesticides et engrais minéraux doivent être utilisés de façon réduite et raisonnée** pour ne pas affecter l'activité biologique dans le sol. Le recours aux produits agrochimiques, et plus **particulièrement aux herbicides est courant pendant les premières années**, les infestations d'adventices étant parfois massives à ce stade. Mais passée

la période transition qui aboutit d'une part à un équilibre entre les organismes de l'agrosystème, les ravageurs et les organismes utiles, la plante et les mauvaises herbes et ; d'autre part à une meilleure maîtrise technique des associations et des rotations culturales par le producteur, l'utilisation des pesticides et des engrais minéraux diminue et passe en dessous du niveau observé dans une agriculture conventionnelle.

L'agriculture de conservation est souvent qualifiée de situation « gagnant-gagnant » car elle présente plusieurs avantages aussi bien à l'échelle de l'exploitation agricole, de la communauté que de la planète toute entière :

- Elle **contribue à la durabilité des systèmes de production**, pas seulement en conservant, mais aussi **en contribuant au développement des ressources naturelles** et en augmentant la diversité faunique et floristique du sol, sans pour autant affecter les niveaux de rendements ou de production.
- Elle permet la **fixation du carbone** dans la matière organique accumulée dans le sol à partir des résidus de récolte et des cultures de couverture. Le potentiel mondial de piégeage du carbone par l'agriculture de conservation pourrait être équivalent à l'accroissement dû aux activités humaines du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Pratiquée à grande échelle, l'AC pourrait contribuer significativement à la maîtrise de la pollution de l'air en général, et au réchauffement climatique en particulier.
- Comparativement à l'agriculture conventionnelle, les agriculteurs qui utilisent des systèmes basés sur l'absence de labour peuvent réaliser 30 à 40% d'économie en terme de temps de travail, de main d'œuvre et d'énergie fossile (dans le cas des systèmes mécanisés).
- Elle facilite l'infiltration de l'eau réduisant de façon significative le ruissellement et l'érosion. La lixiviation des éléments nutritifs du sol ou de produits chimiques dans la nappe aquifère est limitée. Ces nappes se rechargent plus facilement grâce à une meilleure infiltration des eaux. Dans plusieurs endroits du monde, on a noté qu'après quelques années de pratique de l'AC, des sources naturelles qui avaient tari ont recommencé à couler, les flux d'eau sont devenus plus constants dans les rivières.
- Elle permet d'atteindre (et de façon durable) des **niveaux de productions comparables** à celles de l'agriculture intensive moderne. Les rendements augmentent progressivement et, surtout, **les fluctuations tendent à diminuer** (effet de résilience du système).
- Elle permet de **réduire les coûts de production**, les temps de travail et la main d'œuvre, facilitant ainsi la gestion des pics de travaux notés lors des opérations de préparation des champs et d'entretien des cultures. Dans les systèmes mécanisés plus spécifiquement, le coût des investissements et de maintenance des équipements est réduit à long terme.

Cas pratique en Zambie

L'agriculture de conservation a été introduite en Zambie au cours des dix dernières années. Le gouvernement affirme qu'au moins 180.000 petits fermiers utilisent ses principes, qui visent à minimiser la perturbation du sol, à maintenir une couverture permanente du sol et à promouvoir l'alternance des cultures. En outre, les agriculteurs utilisent des instruments à faible coût et des variétés de cultures traditionnelles sans herbicides ou des variétés résistantes aux herbicides.

Vendue avec insistance comme étant une solution à l'insécurité alimentaire et un mécanisme d'adaptation aux changements climatiques en Afrique, l'agriculture de conservation (AC) est en train de donner aux fermiers comme Sinoya Phiri en Zambie, une raison de sourire dans leurs champs et sur tout le chemin vers la banque.

Phiri, qui possède une petite exploitation dans le district de Kafue, une grande zone de culture de maïs en Zambie déclare : « Il y a une différence dans les rendements, les épis de maïs du champ de l'agriculture de conservation sont plus gros que les épis de maïs du domaine sur lequel j'ai semé, utilisant un tracteur. J'ai beaucoup de vivres. Je n'achète plus de farine de maïs. ».

Pour Phiri, cette pratique lui a assuré un bon revenu issu des meilleurs rendements. En dehors du fait qu'il subvient aux besoins d'une famille de 10 personnes, y compris sa mère, sa tante, ses frères et sœurs, il a même installé une antenne parabolique et a acheté un groupe électrogène.

Source : http://ipsinternational.org/fr/_note.asp?idnews=5420



1.7. La production dite « en permaculture »

1.7.1. Qu'est-ce que la permaculture ?

De l'aveu même de ceux qui la pratiquent, il est quasiment impossible de donner une définition de ce mode de production qui convienne à tous. On peut convenir que c'est « *une méthode systémique et globale qui vise à concevoir des systèmes (par exemple des habitats humains et des systèmes agricoles, mais cela peut être appliqué à n'importe quel système) en s'inspirant de l'écologie naturelle (biomimétisme) et de la tradition* ». Ou encore « *la permaculture est un mode d'aménagement écologique du territoire, visant à concevoir des systèmes stables et autosuffisants* ». Elle ambitionne **une production agricole durable, très économe en énergie** (autant en ce qui concerne le carburant que le travail manuel et mécanique) et respectueuse des êtres vivants et de leurs relations réciproques. On laisse à la nature le plus de place possible. Ses trois piliers sont : prendre soin des hommes, prendre soin de la terre et produire et partager équitablement les ressources. Elle est très attentive aux interactions entre les saisons et l'écosystème afin que celui-ci soit durable. Il ne faut pas prendre et analyser chaque élément individuellement mais plutôt comme un ensemble. La permaculture a pour objectif l'agriculture intelligente sans destruction de l'environnement et avec des coûts minimaux.

Le mot permaculture a été inventé dans les années 70 par les Australiens Bill Mollison et David Holmgren. C'est une contraction de permanent et culture, initialement de permanent et agriculture. Elle est à la fois une éthique, une philosophie, une science et une méthode de conception / aménagement / planification / organisation de systèmes

(et d'écosystèmes), dont la préoccupation fondamentale est l'efficacité, la soutenabilité / régénérativité et la résilience.

Elle constitue une vision et un cadre pour un usage pertinent de la terre, de la planète et des groupes sociaux, qui permettent de construire une infinité de solutions réalistes, créatives et adaptées à toute situation particulière, toujours dans le but de porter des sociétés d'abondance pour toutes et tous, soutenables/régénératives, écologiques et heureuses. Son but est de créer, par une conception (design) réfléchie et efficace, des sociétés humaines respectueuses de la Nature et des Hommes.

1.7.2. *Que savoir de l'éthique de la permaculture?*⁵

Pour apporter un cadre de réflexion et d'action en accord avec son but, la permaculture se base sur une éthique, décomposée en trois grands principes :

1. *Se soucier de la Terre* : Prendre en compte le sol, la forêt et l'eau. Nous faisons partie d'un système plus vaste qui est la biosphère terrestre. Toute forme de vie est intrinsèquement importante, et chaque atteinte à la diversité génétique est une menace pour nous. Nos activités et lieux de vie doivent être en harmonie avec les écosystèmes locaux.
2. *Se soucier de l'Homme* : S'occuper de soi, de sa famille et de sa communauté. Les systèmes permaculturels visent à combler les besoins fondamentaux des Hommes dans un environnement permettant leur épanouissement. La coopération et la mise en commun sont deux axes clefs des relations humaines.
3. *Partager équitablement* : Limiter sa consommation, se reproduire avec sagesse, et redistribuer les surplus. Nous devons réduire notre empreinte sur la planète, les écosystèmes où l'Homme n'est pas présent ayant toute leur légitimité. L'établissement de systèmes permaculturels doit permettre de réduire notre empreinte, sans que ce gain ne soit annulé par une consommation ou une population plus élevée.

L'éthique nous permet de « voir les choses du point de vue d'autrui, sur une échelle de temps plus grande et sur une plus grande distance ». Elle apporte à la permaculture une dimension philosophique, voir spirituelle pour certains.

1.7.3. *Vision systémique de la permaculture*

La particularité de la permaculture par rapport à la plupart des disciplines scientifiques actuelles est sa vision systémique. Plutôt que d'étudier les éléments constituant un système pour comprendre ce système, la permaculture s'attache aux connexions entre ces éléments. On ne peut pas comprendre la forêt en étudiant séparément les arbres, les insectes, les bactéries, le sol, etc., mais en observant les relations fonctionnelles entre ces éléments, qui font de la forêt plus qu'une simple somme d'arbres, un véritable écosystème autorégulé.

L'étude des caractéristiques (structures, interactions, modèles, etc.) de ces systèmes par des disciplines scientifiques telles que l'écologie ou l'ethnobiologie fournit des principes généraux de conception et permet de développer des techniques adaptées aux conditions locales et actuelles (cultures, climats, technologies, etc.).

5

<https://madeinearth.wordpress.com/2009/10/12/definition-de-la-permaculture/>

1.7.4. Conception (design) en permaculture

Le cœur de la permaculture est sa méthode de conception de systèmes humains, qui est le reflet de son éthique et de sa vision systémique.

Éléments de conception de la propriété de David Holmgren : Plan, zones et secteurs, cycle de la matière organique, nœuds d'activité.

En permaculture, la conception consciente et intentionnelle de systèmes intégrés consiste à placer chaque élément d'un système de façon à ce qu'il soit connecté de manière optimale aux autres éléments, c'est à dire là où ses besoins seront comblés et ses productions utilisées.

Le but d'un design est de **maximiser les connexions entre les éléments**, ce qui permet de réduire la pollution (qui est une production non utilisée par le système) et d'économiser l'énergie (qui est un besoin non fournit par le système).

Par soucis d'efficacité, un élément devrait remplir plusieurs fonctions. Par exemple une mare peut servir à la pisciculture, refléter la lumière, accumuler de la chaleur, servir en cas d'incendie, etc. Par principe de sécurité, les fonctions importantes devraient être remplies par plusieurs éléments (redondance). Par exemple un chauffage solaire peut être doublé d'un chauffage d'appoint (chaudière à bois).

Une conception permaculturelle prend en compte et met en relation un grand nombre d'éléments :

- du site : eau, sol, paysage, climat et végétation ;
- sociétaux : aides légales, personnes, culture, commerce et finance ;
- énergétiques : technologie, structures, sources, connexions ;
- abstraits : temps, données, éthique.



Figure 7 – Exemple de permaculture urbaine sur une ancienne voie de chemin de fer

1.7.5. Principes de la permaculture

Selon David Holmgren, les principes de la permaculture sont (Debard, 1986)⁶:

4. Observer et interagir.
5. Recueillir et stocker l'énergie.
6. Obtenir une production, créer de la richesse.
7. Appliquer l'auto-régulation et accepter les signes en retour.
8. Utiliser et valoriser les ressources et services renouvelables.
9. Ne pas produire plus de déchets que nécessaire.
10. Partir des structures d'ensemble pour arriver aux détails.
11. Intégrer, plutôt que de séparer.
12. Utiliser des solutions à petite échelle et avec patience.
13. Se servir de la diversité et la valoriser.
14. Utiliser la créativité et s'adapter au changement.

1.7.6. Avantages et inconvénients de la permaculture⁷

Les **avantages** de la permaculture sont entre autres :

- la fertilisation du sol par un engrais vert (trèfle ...) et la production se font en même temps,
- le maintien ou la restauration de la diversité permet de mieux contrôler les maladies et les ravageurs,
- la culture et le sol sont en symbiose et le sol reste couvert afin de respecter la vie du sol,
- le sol subit moins les effets du compactage, la terre reste plus souple et légère,
- le sol est moins sujet à l'érosion due aux intempéries,
- le jardinier ou l'agriculteur a moins de travail car il intervient le moins possible.

Les **inconvénients** de la permaculture sont :

- Le travail de mise en œuvre est considérable. Par exemple, il y a des cultures qui exigent une longue et importante observation des écosystèmes
- Les cultures étant mélangées, les récoltes ne sont pas facilitées.
- Le regard des autres : un jardin mené en permaculture peut donner l'impression d'un jardin mal entretenu et les non-connaisseurs auront alors tendance à critiquer « les mauvaises herbes » parsemant votre parcelle... (un « melting pot »).

⁶ <https://martouf.ch/2017/08/12-principes-de-permaculture/>

⁷ <http://lejardinetara.free.fr/Culture/Permaculture/Permaculture.html>

Figure 8 - Le « melting pot »⁸

Exemple au Cameroun: la permaculture est la méthode africaine employée dans l'unique écovillage du pays (IPS)

Joshua Konkankoh nourrit une vision. Pour lui, la solution à l'insécurité alimentaire réside dans l'agriculture durable et biologique. Le fonctionnaire camerounais, reconverti dans l'agriculture, poursuit cette vision. Il a créé « Better World Cameroon », une ONG qui élabore des stratégies agricoles durables qui exploitent les connaissances indigènes pour éviter les crises alimentaires et l'extrême pauvreté.

Better World Cameroon gère le Ndanifor Permaculture Eco-village de Bafut, dans la Région du Nord-ouest du pays, à 300 kilomètres de la capitale, Yaoundé. Il s'agit de l'unique écovillage du Cameroun. Les écovillages sont des localités où les activités humaines sont conçues pour promouvoir un développement sain, écologique et substantiel pouvant être soutenu indéfiniment.

Les habitant(e)s de l'écovillage fertilisent leurs sols suivant des méthodes biologiques qui consistent à planter et tailler des arbres fixateurs d'azote, tels que les variétés d'*acacias*, de *Leucaena leucocephala* et de *calliandra* dans des systèmes de cultures associées. Lorsque les arbres deviennent adultes, les agricultrices et les agriculteurs les taillent de façon intensive et utilisent les feuilles pour faire du compost. Les arbres repoussent et le cycle reprend.

M. Konkankoh déclare : « Ici, nous formons les jeunes, les agricultrices et les agriculteurs en agriculture permanente ou 'permaculture'. J'appelle cela 'la permaculture à l'africaine', car ... nous adaptions [le concept] à nos vieilles techniques de culture et de protection de l'environnement ».

Ou encore : « Nous avons découvert que la permaculture était une solution pour la durabilité, surtout en Afrique. Par conséquent, j'ai eu le sentiment que nous pouvions ... penser mondialement, mais agir localement ».

Source : *La permaculture à l'africaine dans l'unique écovillage du Cameroun*

<http://www.ipsnews.net/2015/08/permaculture-the-african-way-in-camerouns-only-eco-village/>

1.8. La production dite « agroforesterie »

1.8.1. Concept d'agroforesterie

Ce terme désigne les pratiques, nouvelles ou historiques, associant arbres, cultures et/ou animaux sur une même parcelle agricole, en bordure ou en plein champ. On recherche la complémentarité : **l'arbre remonte l'eau et les minéraux** des couches profondes du sol pour les remettre à disposition des cultures de surface. Les arbres **restituent de la matière organique via les feuilles qui tombent au sol et la décomposition des racines**. En outre, la création d'un microclimat sur la parcelle protège également les cultures (et les animaux) des stress thermiques et hydriques. L'arbre pourrait notamment permettre d'amortir les accidents climatiques. Les arbres permettent de diversifier les services et sources de revenu sur l'exploitation : productions agricoles, bois d'œuvre, bois énergie, fruits, fourrage, litière, paillage...



Figure 9 – Agroforesterie en cultures maraîchères (Photo : B. Schiffers)

Les arbres ont toujours fait partie des paysages agricoles de notre planète. Pendant des millénaires, les agriculteurs ont maintenu la présence des arbres sur leurs exploitations. L'agroforesterie est donc une pratique très ancienne. Au néolithique, lorsque l'homme défriche des forêts pour les convertir en champs et se déplace à la recherche de nouvelles parcelles, il sait déjà que les arbres qui poussent pendant la jachère, cette phase de repos du sol, permettent de cultiver à nouveau quelques années plus tard. Dans les terrains de parcours où se déplacent les premiers pasteurs nomades, les animaux consomment surtout du brout, le fourrage des arbres. L'agroforesterie est encore omniprésente dans les pays tropicaux. **Le système de culture le plus répandu en Afrique consiste à entretenir des arbres dispersés dans les parcelles et cultiver entre les arbres**. On l'appelle parfois « parc agroforestier » ou « agriculture sempervirente », et les arbres qui s'y trouvent ont de multiples usages: bois, nourriture, médicaments, fibres, fourrage, résine, latex, tannin, etc. On en utilise les feuilles, le bois, les fruits, mais aussi les racines, les branches, les fleurs...

L'agroforesterie est un système de gestion des ressources qui est écologique, dynamique et naturel et qui, **par l'intégration des arbres dans le paysage** permet une production durable et diversifiée, procurant au paysan des bénéfices sociaux économiques et environnementaux accrus (services écosystémiques).

1.8.2. Critères caractéristiques de l'agroforesterie

Trois critères clés caractérisant l'agroforesterie aident à distinguer d'une façon concrète ce qui est et ce qui n'est pas de l'agroforesterie. Ainsi, pour être considéré « agroforestier », le système ou la pratique doit répondre à chacun des trois critères suivants (adapté de Gold *et al.*, 2000) ; il doit donc être :

1. **Intentionnel** : les combinaisons de cultures, d'arbres ou d'animaux sont conçues, aménagées ou gérées d'une façon intentionnelle et produisent de multiples produits et bénéfices, contrairement aux éléments qui peuvent se trouver sur un même espace mais qui sont gérés séparément.
2. **Intégré** : les composantes des pratiques agroforestières sont associées fonctionnellement et structurellement dans un seul système intégré qui permet de répondre aux besoins de l'utilisateur ; cela réfère autant à l'intégration de plusieurs éléments sur un seul espace physique qu'à l'intégration des objectifs productifs aux objectifs environnementaux.
3. **Interactif** : l'agroforesterie manipule et utilise les interactions biophysiques entre les composants du système afin de récolter de multiples produits et, parallèlement, de fournir des bénéfices écologiques et environnementaux.

1.8.3. Avantages de l'agroforesterie sur le plan agricole

Dans les régions tropicales, l'agroforesterie est pratiquée à un très large éventail de types de terres. Dans les sols du Sahel, **le rôle direct d'un enracinement dense et profond apparaît fondamental**. Le système racinaire est une caractéristique importante vu son rôle dans le recyclage des éléments nutritifs et de l'eau. Les racines fixent la terre et assurent des cheminements préférentiels pour le circuit de l'eau et des gaz dans les sols. Elles sont une source directe de matière organique, répartie dans tout le profil cultural jusque dans les horizons profonds. La **racine est aussi un acteur essentiel du stockage et de la mobilisation des éléments nutritifs des sols**. L'absorption de l'eau et des éléments nutritifs par les racines est déterminée par la surface du système racinaire. La densité des racines et leur répartition au cours de la saison, dans les sols, présentent donc un intérêt évident pour une meilleure compréhension de l'utilisation des éléments nutritifs par une culture.

Les objectifs de l'agroforesterie sont multiples :

- Empêcher la perte de substances nutritives : en cultivant des espèces ligneuses avec d'autres cultures, on **réduit la perte de substances nutritives** comme l'azote ou le phosphore déficient dans les sols tropicaux. Les arbres et les buissons ont en général **des systèmes racinaires très développés qui absorbent de nombreuses substances nutritives perdues pour les plantes** aux systèmes racinaires superficiels. Les substances nutritives sont « stockées » dans les espèces ligneuses. Elles ne courent ainsi plus le risque d'être lessivées, dans les périodes où il n'y a pas d'autres cultures.

- Fournir une **protection contre l'érosion éolienne et hydrique** : les arbres et les buissons forment des haies qui protègent les cultures et le sol du vent et du ruissellement des pluies violentes sur la surface du sol.
- Les ligneux modifient grandement les espèces et les quantités d'animaux vivant dans le sol, généralement dans un sens favorable à la fertilité. Les arbres d'ombrage, dans les plantations, exercent un effet indirect spécifique, en limitant les adventices grâce à l'ombrage, ce qui entraîne une utilisation réduite d'herbicides chimiques dont l'effet est nocif pour la faune du sol.
- La présence des arbres modifie le microclimat dans la parcelle. Dans ces parcelles, les arbres protègent le sol de l'érosion, en améliorent la fertilité, procurent de l'ombre aux plantes qui ne supportent pas le plein soleil, diminuent les effets néfastes du vent, concentrent l'humidité.
- Le feuillage et les branchages peuvent fournir des paillis organiques.
- Les arbres sont aussi un symbole de statut social et permettent de visualiser les limites de parcelles, de marquer la propriété.



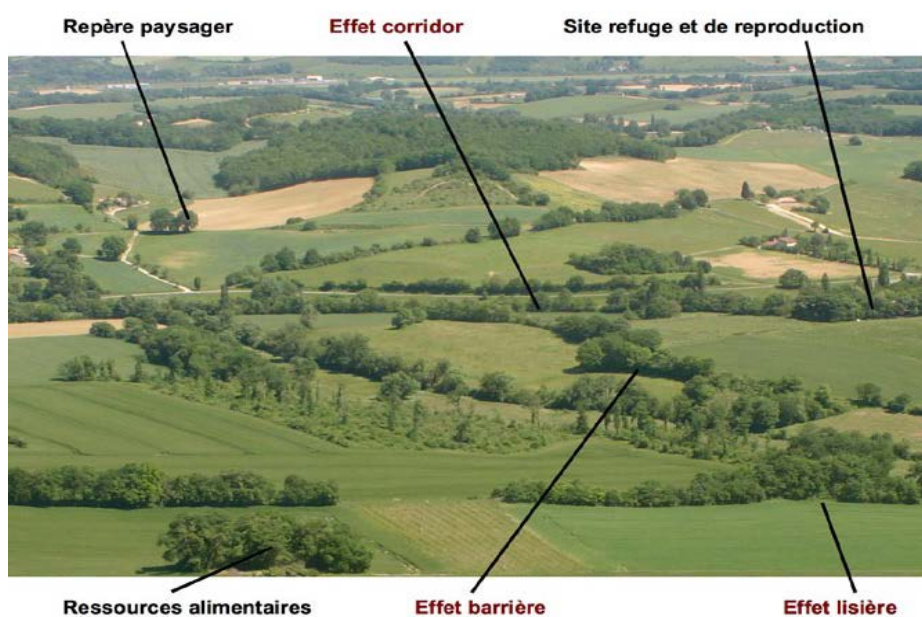
Figure 10 – Exemple de parcelle exploitée en agroforesterie : des caféiers poussant sous ombrage en Tanzanie (Source : CIRAD).

Les avantages de l'agroforesterie sont :

- Des cultures mieux alimentées : Un suivi de l'azote organique des sols révèle des sols agroforestiers plus riches que les sols agricoles. L'agroforesterie peut donc permettre d'enrayer la perte de matière organique des sols agricoles. La décomposition des feuilles d'arbres apporte en moyenne 25 unités d'azote par hectare et par an (davantage lorsque les arbres sont âgés qu'au début de leur vie), et la décomposition des racines fines environ 5 unités. La fertilisation azotée minérale des cultures peut donc être réajustée. En moyenne, il y a deux fois plus d'endomycorhizes dans les sols agroforestiers que dans les sols cultivés. Les cultures y sont donc mieux alimentées et plus résistantes aux stress biotiques et abiotiques.
- Augmentation du rendement des cultures : Le rendement des cultures augmente dans les champs adjacents aux brise-vent. Ces augmentations sont attribuables

à l'amélioration des microclimats et à la rétention de l'humidité, à la réduction de la vitesse des vents et, par conséquent, de l'érosion par le vent et à la diminution des dommages causés aux cultures.

- Conservation du sol et amélioration de la qualité du sol : Les brise-vent peuvent efficacement permettre de prévenir et de contrôler l'érosion du sol par le vent. La plantation de brise-vent sur des terres agricoles vise à protéger les cultures et le sol, à améliorer le microclimat pour les cultures qui poussent à l'abri de ces brise-vent. Les racines travaillent le sol et améliorent l'infiltration de l'eau. Elles augmentent l'activité biologique du sol. L'arbre peut pomper les minéraux des couches profondes du sol et améliorer la fertilité pour les cultures annuelles.
- Augmentation de la biodiversité : L'arbre agroforestier jalonnant la parcelle cultivée, l'arbre agroforestier intraparcélaire permet de diluer les ressources alimentaires, les habitats et les zones de circulation à travers l'espace cultivé. Accompagné d'une bande enherbée constituée de diverses espèces : poacées (graminées), fabacées (légumineuses), astéracées, etc., il offre une diversité de niches écologiques. Les premières années après la plantation, l'arbre étant encore jeune, c'est cette strate herbacée qui va offrir le gîte et le couvert à la faune sauvage et auxiliaire et qui leur servira de corridor. Par son "effet de lisière", la haie offre une multitude de conditions de vie dont la faune profite selon ses besoins: ombrage, lumière, fraîcheur, chaleur. Elle est un lieu de prédilection temporaire ou permanent pour les animaux des champs, des forêts et des prairies. Elle présente davantage de floraisons et de fructifications que la forêt. De nombreuses espèces utilisent les zones linéaires (haie, bandes enherbées, bords de champs, etc.) comme voie de communication. A la fois protégées et canalisées, la faune et la flore peuvent ainsi se déployer sur l'ensemble d'un espace maillé et profiter des différents milieux reliés : bois, mares, cours d'eau, cultures. Outre la biodiversité qu'elles abritent, ces zones linéaires favorisent l'équilibre des populations animales et végétales sur l'ensemble du territoire et garantissent le brassage génétique indispensable à la survie des espèces.



- Les haies autour des cultures réduisent les dommages causés par les animaux aux cultures et aux arbres.
- Les cultures pourraient être moins susceptibles aux maladies quand elles sont intercalées entre les arbres.
- Les systèmes agroforestiers sont visités plus fréquemment que ne le sont les plantations forestières pures. Ces visites fournissent l'occasion de détecter et de traiter les maladies et infestations pendant l'établissement des arbres.
- Les légumineuses arbustives comme le *Gliricidia sepium* augmentent l'azote du sol pour les cultures associées.
- Les avantages tirés des cultures agricoles peuvent réduire ou payer les coûts de l'établissement des arbres. Une taungya (association provisoire) fournirait le revenu agricole pendant une partie de la rotation des arbres. Une association permanente d'arbres avec une culture pérenne peut produire des rendements agricoles pendant la rotation complète des arbres.
- La gestion agricole telle que le défrichage et la fertilisation peut améliorer les conditions biophysiques du site, ayant pour résultat de meilleurs taux de survie et de croissance des arbres.
- En raison de l'espacement plus grand, le taux de croissance d'un arbre individuel dans un système agroforestier peut être meilleur que pour les arbres dans des blocs de plantations. Bien que le reboisement peut produire plus de bois d'œuvre par unité de superficie plantée, la plantation dans les systèmes agroforestiers réduit le temps de croissance jusqu'à la récolte de bois.

Il est important de noter que **tous les avantages et inconvénients ne sont pas appropriés à chaque situation**, et il y en a qui sont apparemment contradictoires. Tous les points dans cette liste doivent être considérés avant de prendre une décision, mais certains ne sont pas importants dans certains cas. Il est préférable que le producteur prenne la décision en consultation avec le vulgarisateur, basé sur sa connaissance des conditions spécifiques de l'exploitation et de ses objectifs et priorités.

L'agroforesterie possède, entre autres, le potentiel d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre en ralentissant la conversion des forêts en terres agricoles et en séquestrant le carbone dans les exploitations tout en profitant des incitations financières offertes par le commerce du carbone et l'initiative REDD+. Ce dernier signifie « Réduction des émissions issues de la déforestation et de la dégradation forestière », et l'ajout du « + » correspond à la prise en compte de l'augmentation des stocks de carbone, par exemple via des pratiques sylvicoles adaptées ou des plantations. Ainsi, l'expansion de la régénération naturelle de plus de cinq millions d'hectares de terres sèches dégradées au Niger doit contribuer à l'atténuation du changement climatique tout en améliorant les revenus des populations rurales.

1.8.4. Avantages de l'agroforesterie sur le plan environnemental

- Amélioration de la valorisation des ressources naturelles : la somme de la production de bois et de la production agricole d'une parcelle agroforestière est supérieure à la production séparée obtenue par un assolement agriculture-forêt sur la même surface. Cet effet résulte de la stimulation des complémentarités entre arbres et cultures dans les parcelles agroforestières. Ainsi, les mauvaises

herbes spontanées présentes dans les jeunes boisements en plein sont remplacées par des cultures récoltées ou pâturées : l'entretien est moins coûteux et les ressources du milieu mieux utilisées.

- Maîtrise des surfaces cultivées : en se substituant aux parcelles agricoles, les parcelles agroforestières constituent un outil de maîtrise des surfaces cultivées : l'intensification de l'utilisation des ressources du milieu s'accompagne d'une maîtrise des productions agricoles.
- Création de paysages originaux, attractifs, ouverts, favorables aux activités récréatives. Les parcelles agroforestières représentent un potentiel paysager réellement novateur, porteur de symboles forts et favorables à l'image de marque des agriculteurs dans la société. Ce sera particulièrement le cas dans les milieux très peu boisés pour les parcelles obtenues par plantation de parcelles agricoles, et dans les milieux très boisés pour les parcelles obtenues par éclaircies de boisements existants.
- Protection des sols et des eaux, en particulier dans les périmètres sensibles (nappes de surface, écoulements hypodermiques, zones sensibles à l'érosion).
- Lutte contre l'effet de serre : constitution de systèmes efficaces pour la séquestration du carbone.

L'agroforesterie retient désormais l'attention de tous ceux qui cherchent des solutions pour **lutter contre le changement climatique** – et s'y adapter – en modifiant l'utilisation des terres rurales. Les arbres sont en effet des « puits de carbone » : ils absorbent de grandes quantités de dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂), gaz à effet de serre en partie responsable du changement climatique. Lorsque les feuilles tombent, elles sont décomposées par les micro-organismes et transformées en matière organique (telle que l'humus), riche en carbone. Ce carbone piégé dans le sol, c'est autant de CO₂ qui n'est plus dans l'atmosphère, ce qui atténue le changement climatique. En outre, la matière organique du sol contribue également à en améliorer les propriétés, de sorte qu'il va mieux retenir l'eau et les nutriments dont les plantes ont besoin; ce qui, cette fois, contribue à l'adaptation au changement climatique. L'agroforesterie a été classée parmi les méthodes de mise en valeur du sol capables de renforcer simultanément l'adaptation au changement climatique et son atténuation (recommandation du GIEC, 2014).

1.8.5. Désavantages de l'agroforesterie

- Il est probable qu'il y ait des effets négatifs sur les cultures à cause de la compétition avec les arbres. L'intensité de la compétition dépend du type de culture et de sa gestion, du type de sol et de climat, de l'espèce forestière et de l'état de développement et de la gestion. Par exemple, il est possible d'employer la taille et d'éclaircir les arbres pour réduire leur compétitivité, toutefois ce système de gestion intensive n'est pas nécessaire ou approprié à tous les types de production d'arbres.
- En raison de la compétition pour l'eau, la lumière et les nutriments entre les arbres et les cultures, les arbres peuvent avoir une phase de croissance lente et moins de chance de survie, en particulier pendant leur établissement.
- Une mauvaise gestion peut mener à l'érosion, à l'épuisement. Ceci peut se produire si, par exemple, le manioc est planté sous les arbres et récolté à plusieurs reprises

sans application d'engrais aux champs. De même des plantations de cultures annuelles sous les arbres sur les pentes raides peuvent conduire au problème d'érosion.

- La valeur marchande du produit de bois d'œuvre des systèmes agroforestiers peut être réduite par la forme conique et étalée que les troncs d'arbres peuvent développer quand ils sont en condition de pleine lumière plutôt que de dans des blocs de plantation. Il est donc important de choisir des espèces telles que *Cordia alliodora* qui s'auto-taille en conditions de pleine lumière. La gestion et la récolte peuvent endommager les arbres. Les racines d'arbres peuvent être dérangées pendant la récolte de tubercules alimentaires par exemples.
- Dans des associations moyennes ou à long terme, les opérations forestières peuvent causer du tort aux cultures pérennes, par exemple pendant les opérations d'élagage et d'éclaircissement, de récolte dans les plantations de cacao.
- très peu d'interactions allopathiques ont été rapportées pour quelques arbres avec certaines cultures.
- Si les arbres et les cultures sont susceptibles aux mêmes microbes pathogènes ou maladies, l'association peut être plus nuisible ou instable.
- Les cultures ou les arbres peuvent avoir des interactions allopathiques. Les effets d'allopathie se produisent quand une espèce dégage un produit chimique qui affecte la croissance ou la survie d'une autre espèce, habituellement négativement.

1.8.6. Divers systèmes d'agroforesterie

Utiliser une large gamme d'essences aux cycles phénologiques décalés permet de fournir une nourriture abondante et diversifiée tout au long de l'année, tant pour les pollinisateurs et les auxiliaires que pour l'ensemble de la faune sauvage. Il existe **plusieurs types de systèmes agroforestiers qui permettent de tirer le maximum des espèces annuelles et des arbres associés** et offrent des conditions idéales à la biodiversité.

■ Premier type : Système agro-sylvicole = Cultures + Arbres



Arbres d'ombrage

Arbres présents dans les plantations de cultures pérennes, telles que le café ou le cacao. Ce sont des arbres de bois d'œuvre, des arbres à usages multiples et des arbres de service. Les arbres de service sont gérés seulement au profit de la culture afin de fixer l'azote, de modifier la lumière et produire du paillis.



Cultures en couloirs et haies vives.

Ces méthodes incluent l'utilisation d'arbres et d'arbustes, ainsi que d'autres composantes tels que le fourrage, l'aménagement des lignes entre les "couloirs" utilisées généralement, pour les cultures annuelles, méthode employée pour améliorer le sol, par la fixation de l'azote et l'application de mulch, et/ou pour réduire l'érosion sur les pentes.



Les arbres plantés à la lisière des champs, y compris les haies vives, les clôtures et les brise-vent.



Taungya

Cette méthode comporte la plantation de cultures annuelles à la phase d'établissement de plantations forestières, de vergers ou de cultures pérennes telles que le café ou le cacao



Jachère améliorée.

Elle consiste à planter en association avec les cultures vivrières des espèces d'arbres ou d'arbustes améliorants qui sont généralement des légumineuses à croissance rapide.



Arbres isolés dans les champs agricoles.

Cette catégorie d'arbres comprend la régénération naturelle et les arbres plantés avec une variété d'utilisations, y compris le bois d'œuvre, les fruits, l'amélioration du sol, le fourrage, le bois de chauffage et les plantes médicinales ; à un grand espacement (> 10 m), dans les zones utilisées principalement pour cultures annuelles.

■ Second type : Système Sylvo-pastoral = Arbres + Animaux



Pâturage dans les forêts secondaires et les plantations forestières.
Ce système est plus courant dans de jeunes plantations (2-6 ans).



Pâturage dans les plantations d'arbres fruitiers
Cocotier, palmier africain ou agrumes



Les arbres isolés dans les pâturages.
Les responsables d'élevage peuvent laisser des arbres, pour le bois d'œuvre, l'ombre, le fourrage ou les fruits dans les pâturages

Arbres de fourrage.

Cette catégorie comprend les banques de fourrage aussi que n'importe qu'elle utilisation d'arbres d'arbustes, avec ou sans herbacées, pour fournir du fourrage aux animaux domestiques tels le bétail ou les poules.



■ Troisième type : Système agro-sylvo-pastoral = Cultures + Arbres + Animaux



Jardin de cases. Ces zones généralement un mélange complexe, avec plusieurs couches d'arbres, d'arbustes, de plantes grimpantes, de cultures annuelles et de cultures pérennes, et d'animaux, en particulier de porcs et de poules, qui produisent une multitude de produits par l'usage de la famille et pour la vente.



Pâturage dans les systèmes

agrosylvicoles : Généralement pendant la saison sèche, après la récolte, les animaux sont mis en pâturage sur les résidus de cultures et les arbres, qui sont souvent la seule végétation verte disponible à ce moment.

1.9. L'agroécologie

1.9.1. Qu'est-ce que l'agroécologie ?

L'agro-écologie, terme désignant les pratiques agricoles qui lient l'agronomie et l'écologie emprunte cette voie. L'agro-écologie est une façon de concevoir des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes. Elle les amplifie tout en visant à diminuer les pressions sur l'environnement (ex: réduire les émissions de gaz à effet de serre, limiter au maximum le recours aux engrais de synthèse et aux produits phytosanitaires...) et à préserver les ressources naturelles (eau, énergie, éléments minéraux...).

Il s'agit **d'utiliser au maximum la nature comme facteur de production** en maintenant ses capacités de renouvellement. Ayant donc pour objet la relation harmonieuse entre l'humain et la nature, l'agroécologie est un concept liant éthique de vie et **pratiques agricoles basées sur ces quelques principes.**

1.9.2. Quels sont les principes de l'agroécologie ?

- Réduire la dépendance aux intrants chimiques qui nuisent à l'environnement, renforcer les interactions biologiques et promouvoir des processus et des services écologiques.
- Ceux-ci sont non seulement nocifs pour les terres, mais ils sont également chers ou rares et donc difficilement accessibles aux petits agriculteurs, notamment les plus pauvres au Sud. L'agroécologie incite donc à utiliser davantage d'intrants locaux naturels afin de renforcer les interactions biologiques. Elle promeut les processus et les services écologiques comme l'usage d'engrais verts ou la rotation des cultures. On utilise la connaissance de la biodiversité locale pour lutter naturellement contre les nuisibles et les maladies afin de réduire voire se passer totalement de pesticides chimiques.
- Maintenir une grande diversité d'espèces dans le temps et dans l'espace, en s'appuyant par exemple sur les rotations des cultures, les cultures relais, les cultures intercalaires, en incorporant des arbres multifonctionnels, de l'agroforesterie et des combinaisons de cultures et d'élevage.
- Promouvoir une activité biologique des sols pour maintenir et accroître la fertilité des sols.
- Minimiser l'érosion des sols, ainsi que la perte d'humidité et de substances nutritionnelles, en augmentant la couverture du sol et en réduisant l'importance du désherbage.

1.10. L'agriculture climato-intelligente

1.10.1. Qu'est-ce qu'une agriculture climato-intelligente ?

L'agriculture intelligente face au climat (ACI) est une approche conçue pour développer les conditions techniques, politiques et d'investissement nécessaires pour atteindre une agriculture durable répondant aux enjeux de la sécurité alimentaire dans un contexte de changement climatique. L'ACI doit être pensée comme un processus continu et itératif pour associer sécurité alimentaire, développement agricole et changement climatique.

1.10.2. Principes de l'agriculture climato-intelligente

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) définit l'Agriculture Climato-Intelligente selon **trois grands principes** :

1. Augmenter de façon durable la productivité agricole et les revenus des agriculteurs afin d'atteindre les objectifs nationaux de sécurité alimentaire et de développement.
2. Renforcer la résilience et l'adaptation des systèmes agricoles et alimentaires au changement climatique.
3. Atténuer les émissions de gaz à effet de serre et augmenter l'absorption du carbone.

C'est la réunion de ces trois principes qui distingue l'Agriculture Climato-Intelligente des autres démarches.

Cette approche d'agriculture consiste à :

- **identifier des options ou des pratiques endogènes qui intègrent à la fois la sécurité alimentaire, le développement et le changement climatique** spécifique à chaque pays;
- donner la **priorité au renforcement des moyens de subsistance**, en améliorant l'accès aux services, à la connaissance, aux ressources (y compris les ressources génétiques), aux produits financiers et aux marchés;
- chercher à identifier des opportunités pour l'accès aux financements sur le climat et les intégrer aux sources traditionnelles de financement de l'investissement agricole;
- chercher à créer des conditions favorables à travers une meilleure harmonisation des politiques, des investissements financiers et des dispositifs institutionnels;
- cadrer l'adaptation et renforce la résilience aux chocs, en particulier ceux liés au changement climatique.

Plusieurs actes sur le terrain prouvent **la promotion de l'agriculture climato-intelligente** comme une principale alternative au changement climatique. Grâce au Programme de productivité agricole en Afrique de l'Ouest (WAAPP) de la Banque mondiale, près de six millions d'agriculteurs, convaincus par cette approche « climato-intelligente », utilisent désormais 160 variétés résistantes au changement climatique et développées dans le cadre du programme, une initiative qui a accru d'au moins 30 % leur productivité.

L'Asie n'est pas en reste. Au Vietnam, 33 000 riziculteurs ayant adopté la méthode d'arrosage et d'assèchement en alternance du riz ont vu leur production augmenter à hauteur de 10 %. Cette technique a l'avantage de diminuer les engrais, ce qui réduit également les émissions de méthane et de protoxyde d'azote issues des rizières. Aussi, la Conférence scientifique mondiale sur l'agriculture climato-intelligente (ACI), organisée tous les deux ans, réunit des scientifiques, décideurs politiques et autres acteurs clés des quatre coins du monde en vue de discuter de la façon dont l'ACI peut offrir des solutions au problème de plus en plus important du changement climatique et à ses impacts sur la sécurité alimentaire. La conférence a cinq objectifs majeurs, dont : promouvoir les connaissances et initiatives émergentes en matière d'ACI ; présenter des expériences et enseignements issus des interactions science-politique qui stimulent l'accélération de

l'adoption de l'ACI ; et stimuler et faciliter les discussions et le dialogue entre les acteurs de l'ACI afin de permettre la mise en réseau et d'offrir des opportunités de collaboration et d'alliances dans le domaine de l'ACI. Au Kenya et en Tanzanie, le travail avec les agriculteurs dans des écoles de terrain, a permis d'identifier et de mettre au point des systèmes agricoles résilients, intelligents face au climat, adaptés aux conditions locales. En Inde, un projet a exploité le potentiel des femmes en tant qu'agents de changement social pour promouvoir les pratiques agricoles intelligentes face au climat. En Afrique de l'Ouest, les chercheurs ont mis au point de variétés de cultures vivrières résilients au climat : le riz (Mali), la banane et le plantain (Côte d'Ivoire) ou le maïs (Bénin) et facilité l'accès à des systèmes plus efficaces de récupération de l'eau.



Figure 11 - Serre intelligente, dans le village de Xiazhong, en Chine.

Source : <https://www.alternatives-economiques.fr/une-agriculture-climato-intelligente-oui-mais-comment>

1.10.3. La technique du zai

Cette technique consiste à creuser de petites cuvettes, peu profondes, pour capter les eaux de ruissellement, piéger des sables, des limons et des matières organiques emportés par les vents. Le paysan y dépose de la matière organique et la recouvre d'une fine couche de terre. La technique permet ainsi de concentrer l'eau enrichie par les nutriments et la matière organique transformée par les termites attirés dans ces cuvettes.



Figure 12 - Exemples de préparation de cuvettes pour le zai (Source : CGIAR)

Le zaï est une technique culturale traditionnelle originaire d'Afrique de l'Ouest (Dogons du Mali, Niger, Burkina Faso), aujourd'hui principalement pratiquée par la population du Nord du Burkina Faso (Yatenga). Elle donne de bons résultats même quand la pluie est en retard, et même quand la pluie manque. Quand la pluie est bonne, les récoltes sont très bonnes.

Cette pratique consiste à **préparer la terre très tôt dans la saison sèche**, de novembre à juin, **en creusant manuellement** à l'aide de daba (houe à manche court) tous les 70-100 cm, **des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre, de 15 à 20 cm de profondeur** en rejetant la terre en croissant vers l'aval, en vue de capter les eaux de ruissellement. De manière pratique plus les cuvettes sont grandes plus l'espacement entre celles-ci est grand. Il est cependant conseillé d'utiliser la densité de semis de la culture pour réaliser les trous de zaï. Ces micro-bassins piègent des sables, des limons et des matières organiques emportés par les vents. L'ensemble du champ est entouré d'un cordon de pierres ou à défaut de diguettes antiérosives pour maîtriser le ruissellement très violent sur ces terres encroûtées. Le zaï exige 200 à 300 heures (selon le type de sol) de travail très dur à la houe traditionnelle pour aménager un ha. Au bout de 3 années d'exploitation, le sol dégradé devient moins compact et plus perméable.

Dès les premières pluies, **le paysan y dépose de la matière organique** (300 à 600 g/trou c'est-à-dire une à deux poignées de fumier/compost par trou de semis) **que l'on recouvre la matière d'une fine couche de terre (5 cm)**. Les **termites**, attirés par les matières organiques, creusent des galeries au fond des cuvettes qu'elles transforment en entonnoirs. Après les premières pluies, environ deux semaines après l'apport de matière organique, la famille y sème en poquets, une douzaine de graines du mil dans les terres sableuses et gravillonneuses. Les eaux de ruissellement s'y engouffrent et créent des poches d'humidité en profondeur à l'abri de l'évaporation rapide.



Figure 13- Préparation des cuvettes (Source : Solibam)

La technique du zaï permet de :

- **concentrer localement l'eau** de ruissellement et les nutriments transformés par les termites ; L'augmentation de la rugosité de la surface du champ permet de ralentir le ruissellement et le vent au ras du sol, de capturer au fond des cuvettes les débris organiques et les particules fines et de protéger les jeunes plantules.

- **maîtriser le ruissellement et l'érosion**, pour éviter que les fertilisants soient entraînés par les eaux; L'apport localisé des engrais et l'accroissement du stock d'eau dans le sol induit un **meilleur fonctionnement du système racinaire des plantes**. L'alimentation hydrique et minérale des plantes est ainsi améliorée.
- **restaurer la macroporosité** et l'enracinement profond des cultures (travail profond). Le zaï permet de stabiliser les macropores en enfouissant des matières organiques, de la chaux ou du gypse;
- revitaliser la couche superficielle du sol par l'apport de 3 à 10 t/ha de fumier ou compost fermenté;
- rétablir un pH supérieur à 5 pour supprimer les toxicités aluminiques, manganiques, etc. ;
- corriger les carences du sol, ou plutôt, fournir aux cultures les compléments minéraux indispensables pour une production optimale de biomasse.
- améliorer l'activité biologique du sol, notamment **une reprise de l'activité des micro-organismes** : croissance des plantules qui profitent de la minéralisation du compost apporté à la fin de saison sèche, galeries creusées dans le sol par les termites et régénération de la végétation ligneuse. Le zaï crée donc des conditions biologiques dans le sol favorables à la croissance et au développement des plantes.

La mécanisation de l'opération est possible avec la Kassine, un porte-outil à traction animale, **pour faciliter le travail, faire plus de zaï et restaurer les sols non cultivés**. Le passage de l'outil a lieu pendant la longue saison sèche, la kassine peut donc servir à plusieurs cultivateurs.



Figure 14 - Représentation d'une kassine

Il faut réaliser des passages croisés de la dent de travail du sol en sec en traction animale. Le premier passage est fait dans le sens de la pente : l'écartement entre passage correspond à l'écartement entre poquets. Le second est perpendiculaire à la pente et croise le premier. Les écartements entre passage correspondent aux écartements entre lignes de semis. L'écartement entre les trous varie selon la culture envisagée. Pour le petit mil qui talle beaucoup, il peut être de 80 cm x 80 cm. Pour le sorgho qui talle moins que le mil, il peut être de 70 cm x 70 cm. A l'intersection des 2 passages se trouve la cuvette de zaï : on excave la terre des points d'intersection et on a déposée en aval de chaque cuvette.

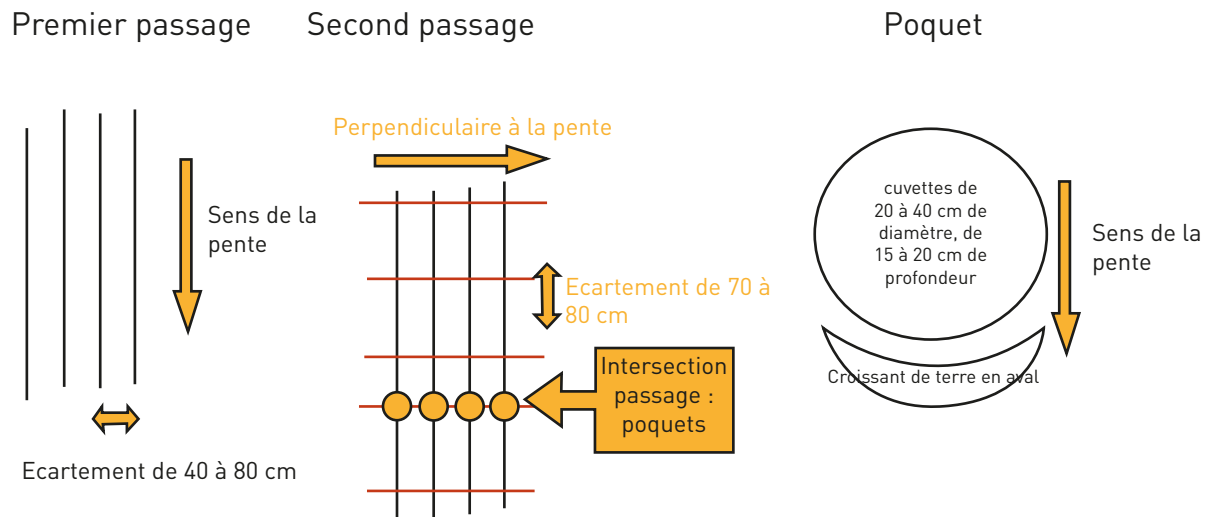


Figure 15 - A quelle distance placer les poquets

Le passage croisé de la dent de travail du sol en sec donne une possibilité d'infiltration de l'eau plus importante que l'opération manuelle. L'outil de travail du sol en sec pendant son passage engendre dans le sol des fissures qui descendent au-delà de la profondeur de travail ce qui est aussi favorable au développement des racines. Le passage de la dent éclate le sol en continu sur une bande de 20 à 30 cm de largeur, alors que le trou de zaï manuel est localisé en un point de la parcelle. Le micro-relief obtenu en zaï manuel, par le déblai de terre déposé en aval du trou, n'est donc pas continu comme c'est le cas du zaï mécanique. Cette technique est 2 à 3 fois plus rapide que l'opération manuelle et ses effets sur le sol et la production de la culture sont considérables (sur des sols improductifs + 40% de paille et +34% de grain comparé au zaï manuel). Il est aussi possible d'apporter un complément minéral, notamment en phosphates naturels, ce qui permet d'améliorer la production de biomasse.

Des études (Bayen *et al.*, 2011) sur la productivité du sorgho en zone sahélienne par la technique zaï ont montré que la capacité de germination des semences du sorgho varie significativement en fonction des dimensions des poquets et de l'amendement. Le zaï + compost donne les meilleures capacités de germination. En effet, le compost améliore la capacité de rétention en eau des poquets et **la capacité de germination augmente en fonction de l'accroissement de l'humidité du sol...** mais attention, lorsque l'humidité est prolongée, elle peut provoquer la pourriture de certains grains.

Le rendement en grains du sorgho varie significativement en fonction de l'amendement et des dimensions des poquets. Cela s'explique par la minéralisation du compost introduit dans les poquets qui augmente la disponibilité des éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante. L'apport de compost à forte dose induit à toutes les dates de mesure une croissance caulinaire supérieure aux aménagements à faible dose de compost et ceux sans apport de compost ce qui signifie qu'en plus de l'amélioration de la structure et du régime hydrique du sol, **la présence des éléments nutritifs est aussi un facteur important pour la croissance des cultures.**

La cuvette de zaï seule permet de collecter l'eau, mais ne dispose pas suffisamment d'éléments indispensables au bon développement du sorgho. **L'apport de matières organiques dans les cuvettes** entraîne un regain des activités biologiques du sol : croissance des plantules qui profitent de la minéralisation de la fumure organique apportée, perforation de la croûte par les termites, et partant, une amélioration de la structure du sol.

La pratique du zaï est utilisée aussi pour les cultures maraîchères

Témoignage de Mme Wambui, une agricultrice du Kenya qui tire profit de la culture de légumes indigènes au moyen de la technique du zaï (extrait d'un article de *AfricaScienceNews*)

Pendant plusieurs années, il a été impossible pour les agriculteurs du comté de Kirinyaga, au Kenya de produire suffisamment de nourriture. La région est fortement tributaire de la production rizicole. Toutefois, Elizabeth Wambui, 38 ans, gagne sa vie en cultivant des légumes traditionnels au moyen de techniques telles que les trous *zaï* et l'arrosage à intervalles réguliers. Elle cultive des légumes comme le *terere* (amarante), le *managu* (aubergine africaine), le *kunde* (niébé) et le *sukuma wiki* (un légume-feuille vert) sur son lopin d'une demi-acre.

Avant de se lancer dans le maraîchage, Mme Wambui cultivait le maïs. Cependant, elle ne pouvait pas compter sur les récoltes de maïs en raison des conditions climatiques imprévisibles auxquelles la région est soumise. Mme Wambui affirme que les bénéfices que lui rapporte le maraîchage sont meilleurs à ceux que lui rapportait le maïs. De plus, elle peut aller vendre son produit régulièrement au marché, ce qui lui permet d'avoir une source de revenus fiable. Elle explique : « *[Le] marché des légumes est excellent. Il faut environ huit mois au maïs pour parvenir à maturité, mais on peut récolter l'amarante seulement après six semaines, et à partir de ce moment vous pouvez continuer à cueillir les feuilles.* »

Toutefois, le chemin parcouru par Mme Wambui pour devenir une maraîchère prospère n'a pas été de tout repos. Elle a commencé avec une cuillère à café de graines d'amarante fournies par une organisation non gouvernementale locale surnommée Farm Input Promotions Africa. Elle explique : « *Lorsque j'ai choisi ces semences, je ne savais pas que c'est la chance que je décrochais. L'amarante est devenue ma banque.* » Mme Wambui utilise du fumier organique produit par son bétail pour cultiver les légumes. Elle explique : « *J'économise sur les coûts de production. Mes clients achètent généralement en gros. Par conséquent, il n'y a pas de gaspillage.* ». Mme Wambui a également appris les techniques de conservation de l'eau et de remise en état des terres érodées à l'aide des trous *zaï*.

...

Elle explique : « *J'utilise cette technique pour réduire les pertes en eau lorsque j'arrose mon potager.* » Elle conseille aux maraîchers d'avoir une source d'eau près de leurs champs pour assurer une production permanente, et ce, même en saison sèche. « *J'achète du gazole à environ 200 shillings [1,90 \$US], pour pomper l'eau du canal afin d'arroser les légumes. J'arrose le potager une fois par semaine. [En outre], les mauvaises herbes font concurrence aux légumes pour avoir l'eau et les nutriments et pourraient abriter des organismes. Par conséquent, il est important de limiter leur présence au strict minimum.* »

Pour lire l'intégralité de l'article, se reporter à :

<http://africasciencenews.org/picking-profits-from-indigenous-vegetables-in-kirinyaga-county>



Ainsi, il est démontré que **la pratique du zaï permet de restaurer le potentiel de production d'un sol dégradé**. Cette restauration des sols dégradés nécessite en premier lieu d'améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et en second lieu d'améliorer la disponibilité en éléments fertilisants d'origine organique (compost). La levée de la contrainte hydrique en **brisant la croûte imperméable du sol favorise la germination des semences**, mais n'est pas une condition suffisante pour une bonne croissance et une bonne production. Cette contrainte est levée avec l'apport de matières organiques. Pour une meilleure valorisation de la technique du zaï, il est nécessaire de **creuser des poquets plus larges et profonds et de disposer de compost** en quantité et de bonne qualité.

La pratique du zaï homogénéise les sols et sécuriserait la production par son efficacité sur la gestion de l'eau, en limitant l'effet néfaste de la sécheresse sur des secteurs localisés du champ. La gestion de l'eau a aussi un effet positif sur le patrimoine foncier en le préservant de l'érosion et, par une meilleure gestion des eaux de surface, **améliore l'alimentation des nappes phréatiques**.

1.10.4. La technique de la culture en demi-lunes

Cette technique est avant tout une méthode qui vise à collecter l'eau de ruissellement nécessaire à la croissance des cultures dans les zones arides et semi-arides réhabilitation des terres dégradées. Mais, grâce à la localisation de la fertilisation dans ces demi-lunes, elle s'apparente aux principes du « zaï » et elle a montré qu'elle pouvait localement améliorer la fertilité du sol cultivé dans ces demi-lunes.



Figure 16 – Exemple d'une zone de culture aménagée en demi-lunes au Burkina Faso (Photo : B.Schiffers)

La technique de culture en demi-lunes est une **méthode de réhabilitation des terres dégradées** qui vise à **collecter l'eau de ruissellement** nécessaire à la croissance des cultures dans les zones arides et semi-arides. La culture en demi-lunes utilise le même principe que le zaï, mais ces demi-lunes sont plus adaptées aux terrains inclinés fortement. Grandes de 2 à 3 mètres d'envergure, elles ont une forme de croissant et sont installées perpendiculairement à la pente du terrain.

Pratiquée sur des terres encroûtées et dénudées (ex : au Burkina Faso, où cette technique initialement réservée aux cultures vivrières sert aussi aux cultures maraîchères aujourd'hui), comme pour le zaï, cette pratique vise essentiellement à :

- augmenter l'infiltration et le stock d'eau du sol ;
- améliorer la fertilité du sol ;
- récupérer les terres encroûtées à des fins d'usage agronomique ou agroforestier ;
- réhabiliter la productivité des terres encroûtées ;
- augmenter les superficies cultivées.

Les demi-lunes sont des cuvettes en forme de demi-cercle réalisées sur des terrains encroûtés ou bien à l'intérieur de champs en zone aride, généralement sur les terrains de faible pente (inférieure à 3%). Ces cuvettes sont disposées selon les courbes de niveau, en quinconce, pour récupérer le maximum d'eau en la concentrant au pied des plantations et diminuer les effets d'érosion (environ 300 demi-lunes par hectare). À l'intérieur de chaque cuvette, on dépose de la fumure organique pour assurer une croissance optimale des plants et un rendement plus élevé. On plante dans la cuvette en moyenne 20 à 30 poquets.

Les techniques de demi-lunes sont adaptées pour la restauration de terrains en zone agricole comme pastorale en région sahélienne et soudano-sahélienne (pluviométrie inférieure à 600 mm ; au-delà, risques d'inondations). Leur coût d'aménagement est de 75 euros/ha, hors main d'œuvre (acquisition de petits matériels : pic, pioche, pelle, brouette).



Figure 17 - Travaux communautaires: réalisation de demi-lunes

La demi-lune est une technique agricole visant à déblayer la terre de bassins de quelques mètres, pour former des cuvettes (ou monticules) d'un demi-cercle en formes de demi-lunes ouvertes. Elle est surtout employée dans les terrains ayant une inclinaison et ayant un climat aride ou semi-aride pour concentrer les eaux de pluie, réduire le ruissellement et pour cultiver sur des terres encroûtées.

Les études menées par Zougmore *et al.*, 1999 sur la récupération agronomique des terres encroûtées ont montré que les demi-lunes permettent une amélioration des réserves hydriques du sol, ainsi qu'une augmentation de la profondeur d'humectation de 20 à 40 cm. Elles accroissent la production agricole et cela d'autant plus qu'on y ajoute un complément minéral ou organique. La combinaison demi-lune et compost obtient un rendement de 15 à 24 fois supérieur à celui de la demi-lune sans apport de fertilisant.

En effet, la combinaison demi-lune/fumier donne une production variant entre 1,2 à 1,6 t/ha de grains de sorgho local. La combinaison demi-lune/compost entraîne un accroissement de rendement par rapport à la demi-lune sans apport de fertilisant (Zougmore *et al.* 2000).



Figure 18 - Sorgho dans un champ de demi-lunes

2. L'ANALYSE DES RISQUES LIÉS AUX PRATIQUES AGRICOLES POUR L'ENVIRONNEMENT

2.1. Intérêt d'une analyse des risques

En tant que chefs d'exploitation, les producteurs doivent savoir **comment se situent leurs pratiques** vis-à-vis de la problématique environnementale, afin de mieux gérer les intrants et leur utilisation, de mettre en œuvre de meilleures pratiques agricoles vis-à-vis de l'environnement, d'aménager et de gérer l'espace agricole, de maintenir la fertilité des sols, de préserver la qualité des eaux et de respecter et d'améliorer la biodiversité.

Une « **analyse de risque** » est souhaitable pour aider le producteur à identifier précisément :

- les **risques de dégradation** du milieu (érosion des sols, dégradation des terres, perte de biodiversité)
- les **risques de pollution du milieu** (ex. : contamination des eaux par ses traitements phytosanitaires ; pollution par les nitrates de la nappe phréatique ; accumulation de pesticides périmés ; pollution des sols par les métaux lourds ; présence de dioxines dans les sols...).

L'analyse des risques permet **d'identifier**, de façon méthodique, **les pratiques agricoles néfastes à l'environnement** et les **sources de pollution**, de **les classer par ordre de priorité** en termes de contribution (quantités polluantes) et d'urgence (toxicité pour l'homme et l'environnement, atteinte à la qualité des produits récoltés) et de proposer des mesures correctives ou de remédiation efficaces.



2.2. Méthodologie à appliquer

La méthode d'analyse à développer pour évaluer les risques pour l'environnement comporte 4 étapes :

■ Étape 1 : Identifier les dangers de dégradation et de pollution du milieu

L'identification de ces dangers consiste à :

1. réaliser l'inventaire des pratiques culturales et des agents biologiques, chimiques ou physiques, ayant potentiellement un effet néfaste sur l'environnement (sources : observations personnelles, résultats d'audits, de consultations, littérature existante, recherches sur Internet...).
2. identifier les conséquences des pratiques culturales adoptées (labours, brûlis, enfouissement des résidus de culture...) et identifier les facteurs à l'origine de la présence de chacun des agents reconnus comme potentiellement dangereux pour l'environnement (ex. : application d'engrais, traitement phytosanitaire, boues de station d'épuration...).

■ Étape 2 : Caractériser les dangers ou en déterminer l'effet

Le producteur doit évaluer la **gravité** des effets néfastes de ses pratiques pour l'environnement (ex. : érosion rapide du sol, pollution des eaux par les nitrates,...) sur base de ses connaissances et de la littérature scientifique et attribuer à chaque danger une « cotation » de 1 (effet minime, sans durée) à 4 (effet important, qui perdure ou même irréversible).

En Europe, les producteurs qui souhaitent travailler dans le cadre de la production intégrée se voient proposer des itinéraires techniques repris dans des cahiers de charge contraignants (spécialement en ce qui concerne la production fruitière intégrée ou celle de la pomme de terre, par exemple).

Exemples

Vidange des fonds de cuve et des eaux de rinçage d'un pulvérisateur sur une surface imperméable proche d'un point d'eau : ce point d'eau pourrait être contaminé de manière durable. Selon la concentration en produit dans la bouillie, selon les propriétés physico-chimiques (stabilité, adsorption) et en fonction de la toxicité du produit pour les organismes aquatiques, l'effet pourra aller de « 2 » (effet limité, car produit non toxique), à « 3 » (effet toxique, mais modéré, car de courte durée), ou à « 4 » (effet important pour un produit toxique qui pollue l'eau d'un puits de manière durable).

Arrachage d'une haie en bordure d'un cours d'eau : la gravité sera de « 4 », car il s'agit d'une modification irréversible du milieu (même après plantation, il faut plus de 10 ans pour reconstituer l'écosystème) entraînant une pollution accrue des eaux, une augmentation du transfert des particules de sol, une perte de biodiversité, un effet sur le microclimat, la destruction d'insectes auxiliaires...

■ Étape 3 : Estimer la probabilité d'apparition du danger

Sur base de l'analyse de ses pratiques, de ses intrants et de son processus de production, le producteur doit estimer la **probabilité** (ou occurrence) qu'un effet néfaste pour l'environnement ne survienne et il doit attribuer à ce « danger » une cotation allant de 1 (impact plutôt théorique, voire exceptionnel) à 4 (accident fréquent ou mauvaise pratique récurrente).

Exemple

Destruction d'auxiliaires suite à l'application de pesticides sur les cultures : la probabilité d'un tel effet néfaste survienne peut aller de « 1 » (théorique, car le producteur travaille en bio, mais pas ses voisins), à « 2 » (peu probable, car il n'emploie que des fongicides, mais certains sont peu sélectifs), à « 3 » (cet effet se produit seulement quand il traite avec un insecticide non sélectif ce qui est rare) et jusque « 4 » (le producteur utilise seulement des insecticides à large spectre tels que des organo-phosphorés).



■ Étape 4 : Caractériser les risques sur la filière

La caractérisation des risques tiendra compte des étapes antérieures et visera à quantifier la probabilité de la survenue d'un danger, combinée à l'importance de ses conséquences indésirables (matrice décisionnelle). Le résultat ou « score » de l'analyse s'exprimera finalement en « Priorités » d'action :

Gravité x Probabilité = Score Priorités du Plan d'Action

Interprétation du « score » (ou criticité) :

Score < 3: **pas de mesures de maîtrise particulière à mettre en place**, mais strict respect des « Bonnes Pratiques Agricoles et Phytosanitaires ».

Score 4 à 8: **points d'attention**. Les risques potentiels identifiés doivent être maîtrisés (mais la perte accidentelle de contrôle ne conduirait pas automatiquement à des risques inacceptables pour l'environnement).

Score >9: **points critiques**. Les risques potentiels identifiés **doivent être éliminés, prévenus ou réduits** jusqu'à un niveau acceptable (ex. : changement de pratiques, retraits de certains produits de l'itinéraire technique, abandon de certaines opérations culturales...).

| Gravité | | | | | Types d'effet sur le milieu | Contamination chimique du sol ou des eaux |
|-------------|--------------------------------|---|------------------------------------|---|---|---|
| Importante | 4 | 8 | 12 | 16 | Dommages irréversibles | La norme admissible est dépassée par l'utilisation du produit |
| Modéré | 3 | 6 | 9 | 12 | Dégradation ou pollution grave, mais réversible | La norme admissible peut à terme être dépassée par l'utilisation du produit |
| Faible | 2 | 4 | 6 | 8 | Effets limités (de courte durée) | Risque de contamination sans que la norme admissible ne soit dépassée |
| Minime | 1 | 2 | 3 | 4 | Aucun effet, aucun changement du milieu | Pas de risque d'augmentation des concentrations dans le milieu |
| Probabilité | Minime | Faible | Modéré | Important | | |
| | Théorique et peu vraisemblable | S'est déjà produit par le passé, ce risque peut se re-présenter | Le risque se produit régulièrement | Le risque se produit régulièrement à systématiquement | | Normes pour les contaminants chimiques |

2.3. Plan d'action

Après l'identification des dangers, des risques et des seuils critiques d'intervention (scores atteints), il sera nécessaire d'identifier les méthodes de prévention et de mettre en place les mesures correctrices et correctives suffisantes pour **garantir une maîtrise des dangers** de dégradation et/ou de pollution du milieu.

■ Élaboration d'un plan d'action

Élaboré à la suite de l'analyse de risques, le « plan d'action » est généralement composé d'un **ensemble cohérent** d'actions qui contribueront toutes, de façon directe ou indirecte, à réduire au maximum le risque de pollution ponctuelle et diffuse, préserver la qualité du milieu (eau, sol, air) et garantir la qualité sanitaire et phytosanitaire des produits récoltés.

Le producteur intégrera cet ensemble d'actions dans la démarche de mise en conformité de son système de production. Il lui permettra d'afficher une « **Politique Qualité** » pour son entreprise, avec des objectifs précis et cohérents par rapport à ses capacités réelles (ressources humaines, ressources financières et disponibilité de la technologie localement).

Il est donc indispensable que le **producteur réalise, ou au moins participe lui-même** à, l'ensemble des étapes du diagnostic et de l'élaboration du plan d'action puisqu'il sera responsable de son suivi et de l'évaluation des résultats.

i

Parmi les **mesures de maîtrise des risques environnementaux, on retrouvera :**

- **Le « raisonnement » de l'emploi des pesticides et des engrais :** fonder leur utilisation sur la nécessité objectivement mesurée d'en employer dans un contexte précis ; décision prise par le producteur avant ou après la mise en place du peuplement végétal. Le raisonnement peut intervenir à différents niveaux :
 - réduction des quantités appliquées par unité de surface par un meilleur ciblage de l'application (timing en fonction du stade de croissance) ;
 - respect des conditions d'efficacité des traitements et des fertilisants ;
 - choix de l'intrant (forme) pour réduire les risques environnementaux.
- **Les conditions et contraintes de mise en œuvre des traitements :** information (abonnement à un journal et à un service de conseil technique indépendant de la commercialisation) et formation, réalisation d'observations sur des parcelles représentatives et enregistrement des pratiques. Une interprétation « raisonnée » des observations et des conditions est effectivement susceptible de réduire sensiblement les traitements phytosanitaires, mais nécessite une formation préalable des agriculteurs et exige une surveillance des parcelles d'autant plus assidue que le système de culture est intensif (variétés sensibles, monoculture) et induit des risques phytosanitaires élevés.
- **Réduire la dispersion des pesticides dans l'environnement :** le transfert des pesticides est le résultat d'une très forte interaction entre les propriétés des substances actives, les caractéristiques du milieu, les conditions climatiques et les pratiques agricoles :

- adapter les usages de produits phytosanitaires aux conditions de milieu ;
 - réduire les pertes à l'application (améliorer les techniques d'épandage et respecter les conditions d'application limitant les pertes) ;
 - réduire les transferts dans et hors de la parcelle (dispositifs enherbés, haies) ;
 - intercepter les flux polluants (zones tampons ou autres aménagements comme les bandes boisées, haies, etc.).
- **Réduire le recours aux pesticides** : diversification des méthodes de lutte contre les bioagresseurs et conception de systèmes de culture qui réduisent les risques phytosanitaires :
 - utiliser la résistance des cultures aux bioagresseurs ;
 - privilégier les techniques de lutte non chimiques (lutte biologique, lutte intégrée).

2.4. ANALYSE DES RISQUES DE POLLUTION SUR UNE EXPLOITATION

2.4.1. Intérêt d'une analyse de risque au niveau de l'exploitation

Dans sa Directive-cadre sur l'eau (Dir. 2000/60/CE) la Commission européenne a donné comme définition de la pollution : « *l'introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques...* ».

En tant que chefs d'exploitation, **les producteurs doivent savoir comment se situent leurs pratiques** vis-à-vis de la problématique environnementale, afin de mieux gérer les intrants et leur utilisation, de mettre en œuvre de meilleures pratiques agricoles vis-à-vis de l'environnement, d'aménager et de gérer l'espace agricole.

Une analyse de risque est souhaitable pour identifier précisément les risques de pollution accidentelle et de transfert ou pour détecter la présence de sources de contaminations diffuses, et afin de préciser, sur cette base, les lignes d'un « plan d'action », avec des aménagements adaptés à l'échelle et au contexte de l'exploitation.

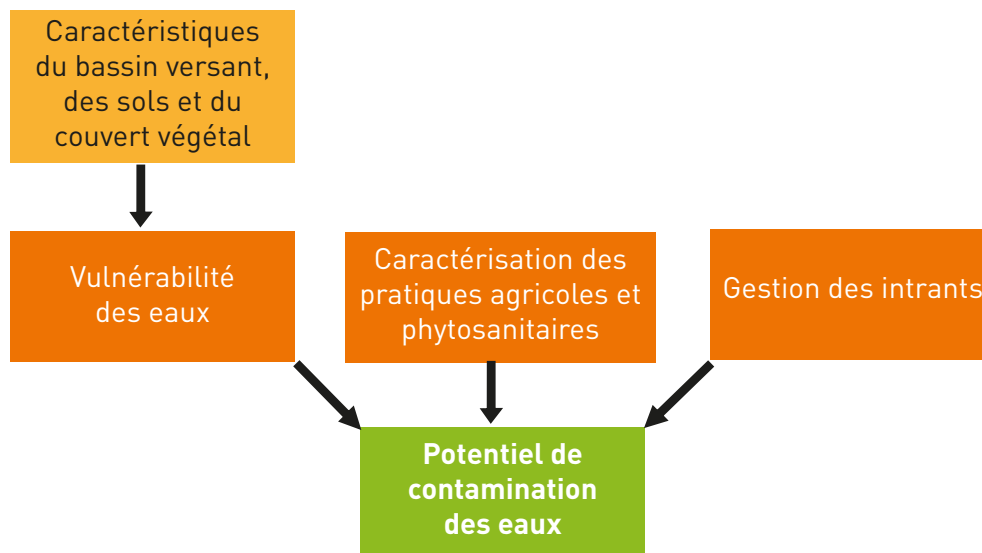
La finalité de l'analyse de risque est de **guider le producteur** pour réduire au maximum le risque de pollution (ex. : contamination des eaux par ses traitements phytosanitaires ; pollution par les nitrates de la nappe phréatique ; accumulation de pesticides périmés ; pollution des sols par les métaux lourds ; présence de dioxines dans les sols...). L'analyse de risque permet d'identifier les **sources de pollution** et de **les classer par ordre de priorité** en termes de contribution (quantités polluantes) et d'urgence (toxicité pour l'homme et l'environnement ; atteinte à la qualité des produits récoltés).

2.4.2. Approche méthodologique du risque

L'objectif de cette analyse est triple :

- évaluer pour chaque exploitation les risques de **pollution ponctuelle liés aux pratiques** de gestion, d'emploi et d'élimination des engrais, des amendements et surtout des produits phytosanitaires ;

- évaluer pour chaque parcelle ou groupe de parcelles les risques de **pollution diffuse** liés, au milieu (sol : nature, état et fonctionnement hydraulique), au terrain (situation paysagère), au climat, aux pratiques agricoles (assolement, rotations, itinéraires techniques...) ;
- en déduire des **propositions d'aménagement** (aires de mélange, de rinçage, de lavage, de collecte des déchets) et de pratiques permettant la maîtrise du risque de pollution.



Exemple relatif au risque de pollution des eaux de surface

■ Importance du diagnostic initial



Il est nécessaire de **commencer par un diagnostic initial**, afin de pouvoir élaborer un plan d'action, de préparer son suivi, puis son évaluation. Enfin des actions correctrices pourront être éventuellement décidées si les mesures préconisées dans le plan d'action ne se sont pas montrées assez efficaces.

Il répond à la nécessité de connaître la situation de départ et constitue la première étape de l'action à mener. Dans la mesure où la phase de diagnostic doit également servir à établir le point zéro à partir duquel les progrès seront évalués (ex. : dans le cadre d'une démarche de type ISO 14001), il est aussi l'occasion de tester la faisabilité des **indicateurs** identifiés comme pertinents par le producteur, d'inventorier les données déjà facilement disponibles (ex. : quantités d'intrants achetées durant la saison culturale ; surfaces traitées ; calendrier des opérations...) et d'évaluer l'effort d'acquisition nécessaire pour les **données** plus difficiles d'accès (ex. : quantités de déchets et d'effluents générés) voire manquantes (ex. : caractérisation des sols, hauteur de la nappe aquifère...). Les moyens (humains et financiers) nécessaires à l'acquisition des données manquantes (enquêtes, analyses...) ou à l'actualisation des données disponibles doivent être clairement évalués et intégrés dans le plan d'action. En intégrant l'ensemble des données, on pourra déterminer le « **Potentiel de contamination des eaux** » sur l'exploitation.

■ Facteurs à considérer dans l'analyse au niveau d'une exploitation

De nombreux facteurs doivent être considérés qui interfèrent entre eux pour expliquer une plus ou moins grande « *pression de pollution* » sur les eaux de surface ou souterraines. Citons entre autres :

Les facteurs du milieu, qui expliquent la vulnérabilité des eaux

Les temps de transfert (dont l'importance est plus ou moins grande selon la nature des intrants et leurs modalités de transfert) varient en fonction des différents paramètres suivants et surtout de leur combinaison :

- Facteurs du milieu (topographie, pédologie, géologie) et de son aménagement (drainage, fossés, haies, boisements...) : le relief, les sols battants, les sols peu épais, à faible teneur en matière organique, les sous-sols fracturés, le drainage, les sols nus, par exemple, favorisent des temps de transfert courts ; à l'inverse, les faibles pentes, les sols profonds, la présence de haies, pairies, boisements augmentent les temps de transfert.
- Les conditions climatiques et les extrêmes pluviométriques (installer une station météorologique) : une pluie importante qui survient juste après l'application d'un produit phytosanitaire favorise un ruissellement rapide du produit vers la rivière.

L'occupation des sols

- L'assolement d'un territoire peut être sensiblement différent d'une année sur l'autre. Le contexte économique (prix), les contraintes de rotation, ou les caractéristiques de l'année climatique (conditions d'implantation des cultures) peuvent être à l'origine des différences observées. Dans les bassins versants de petite taille, le simple fait de la rotation des cultures peut donc être suffisant pour modifier sensiblement l'assolement annuel du bassin versant.
- Il est donc important de recueillir la donnée « assolement annuel » en ha par culture. Cette donnée servira à l'interprétation des indicateurs de pression polluante, que ce soit pour les fertilisants ou pour les phytosanitaires.

Le type de pollution (sources ponctuelles ou diffuses) et de polluant (caractéristiques physico-chimiques du polluant)

La vidange directe d'un fond de cuve de pulvérisateur dans un fossé en eau contamine quasi immédiatement la rivière ; les produits phytosanitaires très hydrosolubles et donc peu retenus par les particules du sol ont des temps de transfert plus courts que les autres. Pour le phosphore, il faut prendre aussi en compte les phénomènes de stockage et de déstockage du phosphore dans les sols, mais aussi dans les plans d'eau soumis à eutrophisation. De plus, une très faible quantité de phosphore dans les eaux stagnantes suffit pour entretenir le phénomène d'eutrophisation.

Les pratiques culturales

Il faut couvrir l'éventail des pratiques culturales en fonction du calendrier et des itinéraires techniques en vigueur. Par exemple, la pratique du fractionnement des apports d'azote est étroitement liée à l'organisation du travail et à la disponibilité de l'exploitant.

La gestion des intrants (achat, intensité d'emploi, conditions de stockage)

■ Élaboration d'un plan d'action

Élaboré à la suite d'un diagnostic initial, le plan d'action est généralement composé d'un ensemble cohérent d'actions qui contribueront toutes, de façon directe ou indirecte, à atteindre l'objectif recherché : réduire au maximum le risque de pollution ponctuelle et diffuse. **Le producteur intégrera ce plan d'action dans la démarche de mise en conformité de son système de production.** Il lui permettra d'afficher une « Politique Qualité », avec des objectifs précis et cohérents par rapport à ses capacités réelles.

■ Suivi et évaluation du plan d'action

Les « indicateurs » sont des outils nécessaires au suivi des actions. L'élaboration d'un « tableau de bord » offrira une image, à un instant donné, de l'avancement de chaque action par rapport aux objectifs fixés, et surtout de l'écart par rapport aux objectifs fixés (ex. : réduction de 10 %/an des emballages vides ; recyclage de 50 % des matières organiques...). En effet les démarches qualité en matière environnementale, à l'instar des autres, sont basées sur un « Principe d'amélioration continue » (ISO 14001). On n'exige pas du producteur qu'il satisfasse d'un coup à toutes les exigences réglementaires, mais qu'il s'engage à atteindre le plus efficacement possible (et au moindre coût) cet objectif. Ceci est très différent de ce qui est généralement exigé par certains référentiels commerciaux, comme GLOBALG.A.P., par exemple, où l'évaluation se fait sur base d'une *check-list* conforme/non conforme. L'évaluation a pour but de comprendre, d'interpréter et de juger. Elle doit déterminer pourquoi et comment l'action s'est déroulée ou se déroule. L'évaluation s'appuie sur les informations issues du système de suivi, mais aussi sur des informations relatives au contexte et à son évolution permettant d'interpréter les résultats.

Il est indispensable que le producteur réalise, ou au moins participe à, l'ensemble des étapes du diagnostic et de l'élaboration du plan d'action puisqu'il sera responsable du suivi et de l'évaluation des résultats.

2.4.3. Les « indicateurs de risque »

■ Qu'est-ce qu'un indicateur ?

Les indicateurs de risque sont des **outils d'aide à la prise de décision**. Ils représentent toujours un « modèle » de la réalité, dans le but de **faciliter la compréhension de systèmes complexes** par les opérateurs, de sorte qu'ils puissent prendre des décisions appropriées. Élaborés pour évaluer un risque environnemental, un risque sanitaire, une politique, des pratiques agricoles ou un programme d'action, ces indicateurs peuvent être utilisés pour effectuer un diagnostic, faciliter une prise de décision, réaliser une animation de groupe ou tout simplement communiquer. Certains s'emploient au niveau de la parcelle ou de l'exploitation agricole alors que d'autres concernent une région, un bassin versant ou même un pays.

Les indicateurs de risques liés à l'emploi des produits phytosanitaires sont des outils décisionnels élaborés sur base d'algorithmes mathématiques pour analyser les informations ou les données liées aux propriétés des produits, à celles du milieu et à leur utilisation afin de limiter le risque de contamination de l'environnement. C'est en 2003 que l'Union européenne a lancé le premier appel officiel pour l'élaboration d'indicateurs relatifs à l'utilisation des intrants et plus spécialement des pesticides. À l'heure actuelle, plusieurs indicateurs ont été mis au point.

Le recours aux indicateurs permet aux opérateurs de se questionner valablement sur le choix des substances actives, des produits commerciaux, des modalités d'application et des schémas de traitement, en évaluant les risques sanitaire et écologique. Dans ce sens, leur utilisation fait partie des mesures de développement durable.

■ Types d'indicateurs

À l'heure actuelle, la classification des indicateurs en type semble encore être assez complexe dans la mesure où le type d'un indicateur est défini différemment, selon le besoin, les critères évalués, le résultat, les utilisateurs potentiels, ce qu'évalue l'indicateur (risque, pratiques agricoles, exposition...), le mode de conception, etc. Certains indicateurs combinent deux ou trois aspects de classification et modes d'agrégation des variables qui ont été pris en compte dans la conception du modèle ou par le paramètre de leur utilisation, ce qui ne facilite pas leur classement.

Les indicateurs simples ou « d'utilisation »⁹

Ils rendent directement disponible une **valeur chiffrée**. Ils évaluent le risque sur base de la quantité de produit phytosanitaire utilisée sur une surface déterminée ou sur base de nombre de traitement par saison. Par exemple, la quantité de substance active par hectare (kg/ha ou kg/an) ou pourcentage de surface traitée. Pour ce type d'indicateurs, à côté des chiffres classiques d'utilisation on met également en exergue **la fréquence de traitement** (*Frequency of application*). Celle-ci représente une mesure de l'intensité des applications basée sur une dose standard. Le gros inconvénient de ce type d'indicateurs provient du fait que l'on suppose qu'un traitement correspond à une application d'un produit bioactif dans un champ. En effet, la fréquence d'application pénalise, d'une part, les traitements améliorés qui font appel à des doses réduites, et privilégie, par ailleurs, les applications qui requièrent des substances actives plus persistantes, nécessitant moins d'applications en comparaison avec leurs alternatives moins biodégradables d'autre part.

Ce type d'indicateurs simples est dit « d'utilisation », car ils permettent d'évaluer l'intensité d'utilisation des pesticides. Ils sont d'une grande simplicité et ne nécessitent que peu de données d'entrée. Mais, ce type d'indicateurs ne permet pas de mettre en évidence des tendances en termes d'impacts des produits phytosanitaires sur l'homme ou sur l'environnement.

⁹ Ils regroupent les indicateurs construits par un mode d'agrégation de type déterministe qui intègre directement dans le calcul les variables retenues par un ou plusieurs modèles mathématiques ou systèmes d'équation plus au moins complexe.

Les indicateurs « à scores » ou « d'exposition »

Ils regroupent les indicateurs construits par un mode d'agrégation de **type à notation** qui intègre les valeurs des variables considérées dans le calcul **après une transformation en scores ou notes** répartis en classes. Dans ce type d'indicateur, les valeurs des variables sont indiquées sous forme d'une **note attribuée sur base de seuils**. Ils représentent le type d'indicateur facilement compréhensible pour les utilisateurs, mais il y a l'existence d'un effet de seuil qui peut entraîner une forte variation du résultat final.

Par exemple :

*Indicateur de pression polluante =
(dose appliquée /dose homologuée) x (surface traitée/surface totale de la parcelle)*

Ces indicateurs sont destinés à fournir des informations quantitatives sur la présence de produits phytosanitaires dans différents compartiments de l'environnement. Par exemple, l'indicateur d'exposition *SEPTWA* (*System for the Estimation of Pesticide Transfer to Waters*)¹⁰ basé sur des données géographiques d'utilisation des produits phytosanitaires (usages agricoles et non agricoles), des données agronomiques (cultures, protection phytosanitaire) et hydro-pédo-climatiques (types de sols, précipitations, bassins versants). L'indicateur *SEPTWA* fournit des **données quantitatives à l'échelle du bassin versant** sur les produits phytosanitaires susceptibles de se retrouver dans les eaux superficielles et souterraines. Cet indicateur d'exposition peut être utilisé par les autorités en vue de soutenir leur politique d'autorisation des produits et pour la mise en place de programmes de surveillance.

Les indicateurs hybrides

Ils regroupent les indicateurs construits par un mode d'agrégation qui combine deux modes d'agrégation, déterministe et à notation, dans lequel une partie des valeurs des variables est transformée en notes, tandis que l'autre est intégrée dans le calcul. Ce type d'indicateur permet d'éviter certains inconvénients.

Les indicateurs des systèmes experts

Ces indicateurs emploient simplement des **règles de décision**. Cette approche évite la perte d'informations lors de l'agrégation par la prise en compte des interactions possibles entre les variables. Ces règles de décision rendent compréhensible la construction de l'indicateur et permettent d'agréger des variables de nature très différentes.

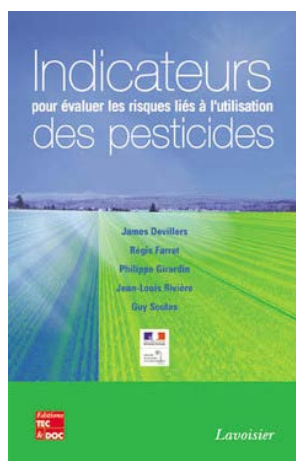
Les indicateurs multicritères

Il s'agit des indicateurs qui ne représentent pas le résultat sous forme d'un critère unique de synthèse (une valeur chiffrée ou une note). Ils permettent de comparer, classer ou ordonner des substances actives en fonction de différents critères préalablement définis. Cette méthode permet de comparer les substances phytosanitaires entre elles et d'obtenir des classements que l'on peut qualifier de sûrs (par exemple, la substance *A* surclasse la substance *B* car elle est meilleure pour tous les critères).

¹⁰ Indicateur développé par le CERVA (*Centre d'Étude et de Recherches vétérinaires et agronomiques, Belgique*) en vue de prévoir l'exposition du milieu aquatique aux produits phytosanitaires (Pussemier & Beernaerts, 1999).

Les indicateurs d'impact

La grande différence avec les indicateurs d'utilisation provient du fait que les indicateurs d'impact tentent de mesurer **non seulement l'intensité d'usage, mais aussi certaines influences et effets imputables aux traitements phytosanitaires**. Cet impact peut se situer au niveau de l'environnement, mais aussi au niveau des risques toxicologiques qui pourraient récemment être cernés lors du traitement ainsi que des risques pour le consommateur des denrées alimentaires traitées. Suivant que l'évaluation porte sur un seul aspect ou sur une combinaison d'aspects, on fera respectivement appel à des indicateurs d'impact de type simple ou de type multiple. Ce dernier type est également souvent désigné par le vocable *Pesticide Impact Assessment Systems* (PIAS) du fait qu'il s'agit d'une intégration de plusieurs indicateurs simples dans un système d'évaluation basé sur une approche d'estimation du risque. Pour ce faire, le poids des différents indicateurs simples est évalué par jugement d'expert en vue de pouvoir prendre en compte leur importance relative. Malgré cette composante subjective, il est clair que de tels systèmes peuvent fournir une contribution importante dans les stratégies de maîtrise des risques liés aux produits phytosanitaires.



DEVILLERS James, FARRET Régis, GIRARDIN Philippe, RIVIÈRE Jean-Louis, SOULAS Guy (2005).

Cet ouvrage s'inscrit dans le cadre général de l'évaluation des risques environnementaux liés à l'utilisation des pesticides. Il a pour objectif de faire le bilan des nombreux indicateurs existant dans le domaine.

Chapitre 3

La gestion durable des sols agricoles

| | |
|--|-----|
| La gestion durable des sols | 84 |
| La dégradation et la contamination des sols | 88 |
| L'érosion des sols (mécanismes et conséquences) | 99 |
| La protection des sols (techniques de prévention) | 105 |
| La fertilisation raisonnée des sols (analyse des sols et gestion des apports) | 114 |
| Exigences relatives au sol dans le cadre des démarches qualité | 119 |
| Annexes : Techniques de lutte contre l'érosion | 120 |

1. LA GESTION DURABLE DES SOLS

1.1. Le sol

Le sol représente la couche superficielle, meuble, de la croûte terrestre, résultant de la transformation de la roche mère enrichie par des apports organiques. Le sol est une ressource naturelle des plus précieuses. C'est un milieu extrêmement complexe et variable. Le sol est l'interface entre la terre, l'air et l'eau et **abrite la majeure partie de la biosphère**. Il est constitué par des roches de fond dégradées et décomposées, de l'eau et de l'air, des matières organiques provenant de substances végétales et animales putréfiées et des milliers de formes biologiques, essentiellement des micro-organismes et des insectes. Ils jouent tous un rôle dans le maintien de l'écologie complexe d'un sol sain.

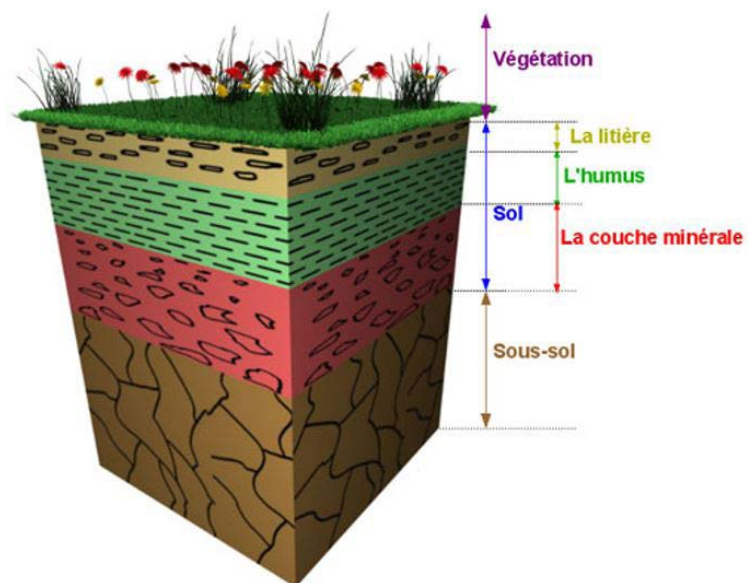


Schéma d'une coupe de sol

Dans le compartiment de la biosphère qu'est le sol, l'humus en est la partie biologiquement la plus active. L'**humus**, parfois nommé terre végétale, désigne la couche supérieure du sol créée et entretenue par la décomposition de la matière organique, essentiellement par l'action combinée des animaux, des bactéries et des champignons du sol. L'humus est une matière souple et aérée, qui absorbe et **retient bien l'eau**.

La décomposition lente et naturelle d'un humus libère directement aux racines des plantes de l'azote, du phosphore et tous les éléments nutritifs indispensables à la croissance des végétaux. La matière première de l'humus est la **litière**, à laquelle s'ajoutent des composants d'origine animale déposés sur l'horizon superficiel ou remontés par les animaux fouisseurs, dont les vers de terre. On distingue de nombreuses composantes de l'humus et en particulier des **colloïdes**, les acides fulviques et les acides humiques.

En climat chaud, l'humus peut évoluer très rapidement, voire se minéraliser et disparaître quand il est exposé au soleil et que l'eau manque. Il est utile pour l'agriculteur de connaître la quantité totale d'humus et sa qualité. Un des indices est le **rapport C/N** du sol.

Les **complexes argilo-humiques** sont constitués par l'association d'argile et d'humus, à l'état floculé suite au travail des micro-organismes du sol, et en particulier des vers de terre, qui grâce à un organe spécial de leur tube digestif peuvent lier ces molécules qui

sont négativement polarisées par le **calcium** (Ca⁺⁺). Les mucus de certains organismes peuvent aussi jouer un rôle dans la constitution de ces complexes qui sont stables et insolubles, ce qui explique la résistance de l'humus à l'eau et à l'érosion et le maintien de sa structure et de son exceptionnelle capillarité. Ces complexes peuvent fixer des métaux lourds et limiter leur transfert aux plantes, à l'eau et donc à la chaîne alimentaire.

Les apports de pesticides et d'engrais peuvent **dégrader l'humus**. Le labour cause une **minéralisation rapide** de la matière organique et des pertes de sol qui atteignent jusqu'à plusieurs centaines de tonnes/ha en zone tropicale. La disparition de l'humus diminue fortement la capacité des sols labourés à absorber l'eau.



Dans les zones tropicales humides, un sol peut s'édifier, à partir d'une base sablonneuse, au bout de 200 ans. Néanmoins, ce processus prend normalement beaucoup plus de temps. Dans la plupart des conditions, le sol se construit au rythme de 1 cm seulement tous les 100 à 400 ans, et il faut de 3000 à 12000 ans pour qu'il se forme une couche suffisante pour donner une terre productive. La formation des sols étant un processus extrêmement lent, on peut en conclure qu'il s'agit essentiellement d'une **ressource non renouvelable**.

Le sol est une source de denrées alimentaires, de biomasse et de matières premières. Il assure des fonctions de **stockage**, de **filtration** et de **transformation** de nombreuses substances, y compris l'eau, les nutriments et le carbone. Il représente le puits de carbone le plus important au monde (1 500 gigatonnes). Ces fonctions doivent être protégées en raison de leur importance socio-économique et environnementale. La dégradation des sols représente donc un grave problème. Elle est provoquée ou aggravée par des activités humaines telles que des pratiques agricoles et sylvicoles inadéquates, les activités industrielles, le tourisme, l'expansion urbaine et industrielle et les grands travaux.

La **structure du sol** est déterminante pour sa capacité de remplir ses fonctions. Toute dégradation de sa structure détériore également les autres milieux naturels et écosystèmes. La dégradation des sols influence directement la qualité de l'eau et de l'air, la biodiversité et le changement climatique. La Commission européenne a ainsi estimé qu'il est indispensable de disposer d'une stratégie globale de l'UE pour la **protection des sols**.



1.2. La fertilité des sols

La fertilité d'un sol est souvent définie comme son « aptitude à produire des récoltes ». Cette vision de la fertilité, fondée sur les composantes physiques du milieu (climat, topographie et nature du sol), est très réductrice, car le sol n'est pas uniquement un assemblage d'éléments organiques et minéraux, mais **il est préférable de le considérer comme un « être vivant »** qui naît puis évolue sous l'influence de divers facteurs, dont le climat, la faune, la flore, et surtout les pratiques et son usage par l'homme. De cette « évolution du sol » dépend essentiellement le maintien ou non du potentiel de production.

La fertilité est donc le produit des interactions qui s'établissent entre le milieu naturel et les pratiques culturales. Un sol avec une fertilité initiale suffisante, mais exploité sans apport régulier de fumure pour compenser les pertes, s'épuisera rapidement au bout de quelques années.

La **perte de fertilité est une des nombreuses formes de dégradation des sols**, provoquées notamment par :

- **L'érosion** des sols : transport et dépôt des éléments solubles et solides du sol sous l'effet de l'eau (érosion hydrique), du vent (érosion éolienne) ou des travaux culturaux. Ce phénomène, très important sera développé ci-après.
- **La diminution des teneurs en matières organiques** : les matières organiques du sol jouent un rôle déterminant dans le cycle du carbone dans le sol. En effet, le sol est à la fois une source d'émission de gaz à effet de serre et un important réservoir de carbone, mais la plupart des sols ont une teneur faible, voire très faible, en matières organiques (0 à 2 % de carbone organique).
- **L'acidification** des sols : abaissement du pH par la mobilisation ou l'augmentation des composés acides dans ce sol et par la perte de cations basiques. Elle est causée par plusieurs facteurs dont les principaux sont l'application excessive des engrais acidifiants, la mise en culture de certaines plantes acidifiantes, les apports de CO₂ liés à la pollution atmosphérique, le lessivage des cations basiques par les eaux de pluie. Les effets de cette acidification croissante sont multiples : complexe absorbant insaturé, carencé en calcium, magnésium, voire en potassium ; accroissement de solubilité de certains ions tels que l'aluminium, le manganèse, le fer toxiques pour les plantes à fortes concentrations ; diminution de l'assimilabilité du molybdène et du phosphore ; enfin, **perturbation de l'activité microbienne des sols**, en particulier de la nitrification et de la fixation symbiotique de l'azote !
- **L'encroûtement** : obstruction des pores du sol par des particules fines ou par le développement d'une mince couche imperméable à la surface qui empêche l'infiltration des eaux de pluie et favorise un ruissellement important (lui-même cause d'érosion). L'encroûtement de la couche superficielle des sols peut être causé par la faible couverture du sol, l'effet *splash* des gouttes de pluie, la destruction de la structure initiale du sol et sa faible teneur en matière organique. Les sols qui ont une structure instable favorisent ainsi l'encroûtement de la couche arable.
- **La salinisation** : accumulation dans les sols de sels solubles, généralement de sodium, de magnésium et de calcium. Si la couche arable du sol devient trop saline ou trop alcaline, sa productivité diminue. C'est ce qui peut arriver quand on irrigue une terre mal drainée en climat chaud. Sous le soleil, l'eau de surface s'évapore, ne laissant que le sel. Comme le drainage est mauvais, la nappe aquifère monte, amenant l'eau salée au contact des racines.
- **Le tassement** : le sol subit parfois des dégâts physiques quand il est travaillé fréquemment avec du matériel lourd par temps humide, ou compacté autour des points d'eau dans des terres de pâturage. Il est difficile de rendre toute sa fertilité à un sol compacté, et à cette fin on peut être obligé de planter sélectivement des végétaux à racines profondes pour briser la croûte. Il y a des dommages biologiques lorsque le sol est privé de ses fertilisants essentiels ainsi que de sa matière organique ou de son humus. Les premiers peuvent être remplacés par une fumure artificielle, mais les seconds n'ont pas de substitut. Les seules solutions sont la rotation des cultures et de bonnes pratiques culturales.
- **Les glissements de terrain** : la fréquence des glissements de terrain est plus grande dans les sols facilement érodables, les sous-sols argileux, les terrains escarpés, et en cas de précipitations intenses et abondantes.



Dans les conditions climatiques prédominantes de l'Afrique sub-saharienne, le **degré élevé de minéralisation naturelle de la matière organique représente un danger constant** pour la fertilité des sols. Une perte supplémentaire d'éléments

organiques et nutritifs a lieu lorsque les premières pluies emportent d'importantes quantités de résidus des récoltes et de déjections animales.

Le **retrait d'éléments nutritifs par les cultures** réduit la fertilité si l'on n'y remédie pas par un apport d'engrais ou de compost. De nombreuses études ont montré que le bilan minéral est négatif pour la plupart des éléments nutritifs notamment l'azote, le potassium et le magnésium. Le **déficit minéral chronique** aboutit inévitablement à l'épuisement des sols par une diminution progressive de la teneur en éléments nutritifs et en matière organique. La perte de fertilité est due **au bilan négatif** en nutriments et matière organique entre les exportations (récoltes, lessivages...) et les apports (fumures organo-minérales, résidus de récoltes enfouis...).

La perte de fertilité des sols sous culture a comme corollaires :

- l'augmentation des superficies défrichées (là où la disponibilité en terre le permet), la mise en culture de terres à vocations agricoles marginales et sensibles à l'érosion ;
- une partie importante des fertilisants et des particules de sol contaminé est emportée vers les cours d'eau (rivières, marigots, fleuves, barrages...) ;
- le transport et le dépôt progressif des sédiments finissent par combler les fonds des barrages et des cours d'eau ;
- les produits chimiques (engrais chimiques et pesticides) contribuent à dégrader fortement la qualité des eaux de surface et, par infiltration, les nappes souterraines ;
- la pollution des eaux de surface se traduit par une augmentation de leur turbidité et de leurs teneurs en nitrates et phosphates (eutrophisation et développement anarchique d'algues et de plantes nuisibles comme la jacinthe d'eau) ;
- l'appauvrissement de la biodiversité par la réduction de la biomasse animale et végétale.

La dégradation de la fertilité des sols a finalement non seulement des répercussions sur l'économie et les conditions socio-économiques des populations actuelles, mais aussi et surtout sur les générations futures.

Les stratégies développées pour une **agriculture durable** ont évolué vers le concept intégré de « *gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols* ».



2. LA DÉGRADATION ET LA CONTAMINATION DES SOLS

La **dégradation des sols** est généralement le résultat d'une combinaison de facteurs climatiques sévères et de mauvaises pratiques culturales, elles-mêmes le plus souvent liées à une pression démographique sur les sols.

La **contamination des sols** a pour origine :

i

- les retombées des productions industrielles environnantes (pollution diffuse, retombées atmosphériques) ;
- l'utilisation d'amendements ou d'engrais contaminés (métaux lourds) ;
- l'utilisation et à la présence de substances dangereuses (engrais et pesticides) dans les procédés de production.

2.1. La dégradation des sols

On peut voir la dégradation des sols comme étant « la **réduction du potentiel des ressources en terres cultivables** découlant de la perte de fertilité des sols du fait de son exploitation, de la désertification et/ou du processus de déboisement ». Cette définition met l'accent sur la responsabilité des activités de l'homme dans le phénomène de détérioration des sols. Mais les pratiques culturales adoptées localement sont largement tributaires des conditions socio-économiques, dont la prise en compte est une condition sine qua non pour l'adoption d'une **gestion durable** des sols.

La dégradation des sols est un phénomène **très complexe** qui se manifeste sous plusieurs formes et à des degrés différents selon les zones, et il est donc primordial d'identifier les principaux types de dégradation qui affectent les sols des zones cultivées afin d'en identifier au cas par cas la ou les cause(s).

La dégradation des sols peut être due à un ou plusieurs des processus suivants :

- dégradation physique due à l'érosion, au tassement et à la formation d'une croûte ;
- dégradation chimique liée à la perte de nutriments et à l'acidification ;
- dégradation biologique associée à la perte de matière organique ;
- dégradation des conditions de drainage entraînant engorgement hydrique ou salinisation.

La plupart des types de dégradation des sols aboutissent à la **perte de capacité de stockage de l'eau** facilement disponible pour les plantes (facteur le plus important affectant la productivité des sols) et à un déséquilibre des **activités microbiologiques** et biologiques du sol (diminution de sa teneur en matière organique, de sa densité floristique et faunique ou d'autres espèces vivantes utiles comme les micro-organismes, les vers de terre, les termites). On tient, par exemple, rarement compte du rôle positif des termites qui transforment et entèrent les éléments organiques, les protégeant ainsi des feux de brousse. Les galeries creusées par les termites contribuent à la porosité du sol. Le processus de dégradation diminue l'activité des termites par suite de la quantité réduite d'éléments organiques.

Le résultat général de ces transformations est une diminution du potentiel pour une production soutenue. Le sol devient « fatigué », perd sa capacité d'emmagasiner l'eau et les éléments nutritifs et réagit mal aux engrais.

Soumis à l'action combinée des facteurs climatiques sévères : pluies intenses, et hautes températures (avec des écarts considérables entre le jour et la nuit), les sols sont sujets à **une altération rapide et profonde** (latérisation).

Il importe de retenir que les sols sont capables de s'altérer rapidement et **irréremédiablement** si quelques influences extérieures, en occurrence d'origine humaine, viennent dérégler l'équilibre préétabli des facteurs naturels en présence.

Le résultat de la dégradation des terres pour les producteurs de l'Afrique sub-saharienne est une réduction générale de la productivité de terres. Les rendements des cultures deviennent irréguliers et ont tendance à diminuer.



Profil de sol latéritique (Nord de Madagascar)

(Photo : Université de Picardie)

Les pressions économiques peuvent conduire à une surexploitation des terres. Ainsi, le déboisement détruit les arbres qui maintiennent la terre sur le sol, la surexploitation épuise les sols, les mauvaises pratiques en matière d'irrigation entraînent une augmentation de la salinité, et assèchent parfois les cours d'eau qui alimentent les grands lacs. Finalement, la dégradation des sols dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches conduira, lorsque les sols sont fragiles, le couvert végétal amenuisé et le climat particulièrement impitoyable, à la **désertification**.

La pauvreté oblige les populations dont la subsistance dépend de la terre à surexploiter celle-ci pour s'alimenter, se loger et disposer de sources d'énergie et de revenus, la désertification est en même temps la cause et la conséquence de la pauvreté.

2.2. La contamination des sols par les métaux lourds

L'apport d'amendements ou d'engrais contaminés par des **métaux lourds** (Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn) est à l'origine de contamination secondaire des produits récoltés. D'autres éléments traces, tels que l'arsenic, le molybdène, le sélénium et le fluor, devraient être considérés comme dangers potentiels pertinents (aucune teneur maximale n'est à l'heure actuelle imposée par la législation).

Les cas du **cadmium** dans les engrais phosphatés et dans les engrais composés à base ou contenant des engrais phosphatés, ou du **biuret** dans l'urée sont bien connus. En cas d'erreur de composition ou de surdosage d'un élément dans les engrais, il se pourrait que le produit végétal récolté, issu d'une culture sur laquelle on aurait appliqué cet engrais de composition erronée ou présentant un surdosage, soit devenu impropre à la consommation humaine. Des épinards pourraient ainsi présenter une teneur trop élevée en nitrates à la suite de l'utilisation d'un engrais qui n'était pas censé contenir de l'azote ou qui présentait un surdosage en azote.

Le 13 octobre 2006, des **boîtes d'ananas sont retirées** des rayons des magasins en raison d'un taux en cadmium supérieur à la valeur limite légale. Des boîtes vendues par MIGROS en Suisse, « *Pineapple dessert Bits* » de Del Monte élaboré au Kenya, contenaient des traces de cadmium équivalentes à 0,02 mg par kg.

Les exploitants ont utilisé un engrais en provenance de Chine dont on retrouve les traces dans les fruits !

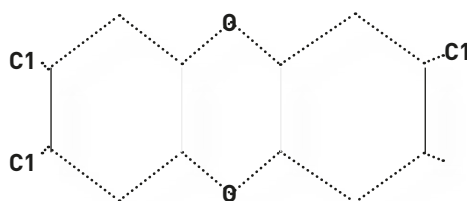


D'autres matériaux (tels que fumiers, lisiers, etc.), également épandus sur les terres agricoles, peuvent enrichir le sol en éléments toxiques à trop forte concentration (ex. : cuivre dans certains lisiers). L'utilisation des **boues** produites par les stations d'épuration des eaux usées urbaines et des boues produites par les stations d'épuration d'eaux d'industries agro-alimentaires (traitements des fruits, légumes, produits laitiers, abattoirs...), ou de sous-produits des industries agro-alimentaires (pulpes, coques, rafles, épiluchures, écorces diverses) peut également entraîner la contamination des sols, notamment par les métaux lourds. C'est pourquoi il convient d'être très vigilant (analyse de composition détaillée de ces amendements) et prudent (analyse de risque) avant leur emploi sur des parcelles où seront cultivés des légumes. À noter que certaines plantes ont aussi une propension à extraire du sol et à accumuler certains métaux lourds. Pour rappel, en aucun cas les gadoues de fosses septiques ne sont à utiliser en agriculture.

2.3. La contamination par les retombées atmosphériques

La « **pollution diffuse** », par la dérive des pesticides et les retombées atmosphériques, entraîne la contamination des sols. Hormis les accidents en principe maîtrisables, provoqués par de mauvaises pratiques (ex. : retombées de gouttelettes de pesticides à cause de la dérive d'embruns de pulvérisation), la pollution des terres cultivées est due en général aux rejets des activités industrielles et aux combustions non maîtrisées.

La combustion de la matière organique et l'incinération de matières plastiques génèrent, par exemple, la présence de « **dioxines** » (dioxines – hydrocarbures polyaromatiques portant de 1 à 8 atomes de chlore – et furanes) dans les fumées qui sont émises. Retombées au sol et sur les végétaux, elles peuvent contaminer les plantes cultivées.



Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (ou **HAP** dont le plus connu est le benzopyrène) sont des substances toxiques qui se forment au cours de processus de pyrolyse ou de combustion incomplète de matières organiques : incendies, volcans, gaz d'échappement, rejets d'hydrocarbures pétroliers dans les eaux... La principale voie d'exposition chez l'homme est l'ingestion alimentaire de produits végétaux contaminés par dépôt atmosphérique.

Selon des experts, les légumes et le manioc cultivés le long de très nombreuses avenues de Kinshasa (RDC) contiennent du plomb, dégagé par la circulation automobile, qui les rend impropres à la consommation.

Les contaminants présents dans le sol **se retrouvent donc dans les cultures de denrées** alimentaires et d'aliments pour animaux et certains animaux destinés à la production alimentaire. Ils peuvent affecter la sécurité des aliments pour la consommation humaine ou animale mis sur le marché en augmentant le niveau de substances dangereuses dans ces produits, posant donc un risque pour la santé humaine et animale. Agir à la source, **en prévenant la contamination** des sols ou **réduisant son niveau**, est un complément nécessaire aux contrôles réalisés (analyses) pour assurer la sécurité sanitaire des denrées alimentaires et d'aliments pour animaux.

2.4. La contamination du milieu et des sols par les pesticides

Chaque personne manipulant des pesticides est responsable des conséquences de leur utilisation pour l'environnement. Chaque fois qu'un produit phytosanitaire est utilisé, il y a un risque soit par accident, soit par négligence, ou par manque de connaissances, qu'une partie du produit contamine une zone en dehors de la surface traitée. Les zones particulièrement exposées sont :

- les puits, les marigots et les cours d'eau ;
- les surfaces cultivées où les cultures existantes ou suivantes risquent d'être contaminées ;
- les terres non cultivées abritant une faune et une flore sauvage.



Des traces de pesticides ont été détectées jusque dans la glace de la banquise !

Cette contamination de l'environnement présente un danger tant pour la vie sauvage (effets écologiques non intentionnels) que pour l'homme et les animaux domestiques.



De manière générale, les référentiels privés (tels que GLOBALG.A.P.) imposent aux producteurs d'analyser les risques de contamination par les pesticides et de prendre toutes les mesures adéquates en vue de réduire ceux-ci.

Les risques de contamination de l'environnement ont notamment pour origine :

- l'emploi de **produits phytosanitaires persistants** (c'est pourquoi la majorité d'entre eux, comme les insecticides organochlorés, par exemple, a été progressivement interdite), car ils ont en outre une propension à s'accumuler dans les organismes vivants et à polluer ainsi l'ensemble de la chaîne alimentaire ;
- l'emploi de **pesticides non sélectifs** à l'égard des pollinisateurs, de la faune sauvage (reptiles, oiseaux, gibier), des poissons, des organismes utiles et notamment des insectes auxiliaires qui ont pour effet de limiter naturellement l'impact des ravageurs sur les cultures (effet de régulation) ;
- de **mauvaises conditions d'emploi des pesticides** : surdosage ; technique d'application mal maîtrisée et notamment dérive de gouttelettes de produits loin des cibles ; vidange des fonds de réservoir dans les fossés ou à proximité des points d'eau ; préparation sans soin des bouillies, contaminant les sols ; mauvais enfouissement des microgranulés ou des semences traitées dans les lignes de semis ;

- de **mauvaises conditions de stockage** (écoulements, déversements accidentels) et de transports des produits phytosanitaires ;
- des **techniques inappropriées d'élimination** des emballages vides et/ou des produits non utilisés, périmés ou obsolètes.



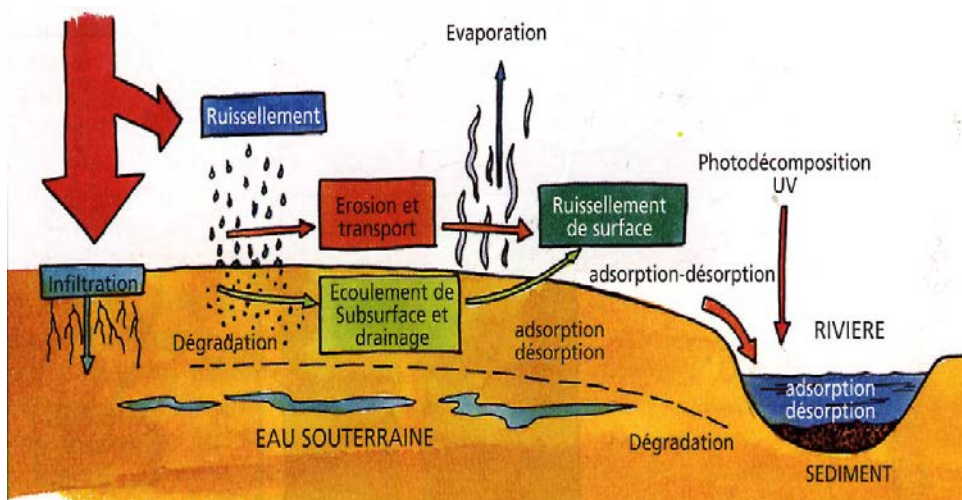
Emballages vides abandonnés dans les champs : ils peuvent contaminer les sols !
(Photo : B. Schiffers)

Lorsque l'on évalue le risque de pollution de l'environnement par les pesticides et les conséquences sur la santé humaine et sur l'écosystème, deux types de paramètres doivent être pris en considération :

- les paramètres relatifs à la mobilité du pesticide dans l'environnement, et
- ceux relatifs à sa persistance.

Dès l'émission (= pulvérisation) du pesticide, le dépôt réel obtenu est de loin inférieur au dépôt théorique à cause des phénomènes de dérive, d'interception par les plantes et de volatilisation. De plus, la **concentration du sol** en pesticide (ex. : herbicide) ne restera pas constante. En effet, au cours du temps, le pesticide peut :

- se fixer aux matières organiques (**adsorption** plus ou moins irréversible) ;
- se transformer (**dégradation** et/ou métabolisation par les plantes et les microbes du sol) ;
- se déplacer (**lessivage en profondeur**, transport latéral le long de la semelle de labour) ;
- **se volatiliser** progressivement dans l'atmosphère.



Diffusion, accumulation, fixation, transport et dégradation des pesticides dans l'air, le sol et l'eau. Le risque le plus important est celui de la contamination des eaux (eaux de surface et eaux souterraines).

Après l'application, on distingue :

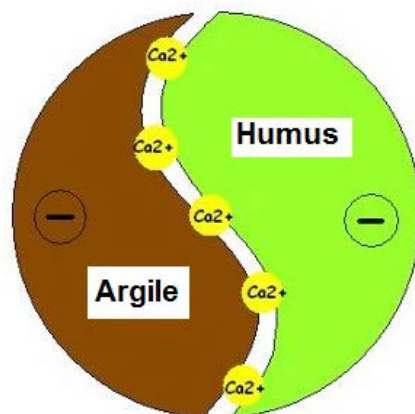
- **Des phénomènes d'adsorption et de désorption** (fixation et libération) : l'origine de ces phénomènes est l'attraction moléculaire exercée par les surfaces organiques et minérales du sol. Quand une substance est attachée à une surface, cela s'appelle l'adsorption. Dans le cas des pesticides, cette « attraction » est influencée par les **propriétés du pesticide** (solubilité, pKa, coefficient de partage octanol-eau Kow) et par la **composition du sol** (% matière organique, CEC ou capacité d'échange cationique, capacité d'adsorption du sol), le pH de celui-ci, sa concentration et sa disponibilité en eau. La température jouerait aussi un rôle important dans l'adsorption. Les phénomènes d'adsorption/désorption influencent beaucoup le devenir des pesticides dans l'environnement. À cause de l'adsorption, ils ne sont plus bio-disponibles, sont moins actifs et moins dégradés par les microorganismes, et sont plus lentement entraînés dans le sol vers les nappes d'eau. La concentration résiduelle dans la phase aqueuse du sol conditionnera l'efficacité ou non (biodisponibilité), déterminera sa persistance d'action et expliquera les effets éventuels sur les cultures suivantes (phytotoxicité).

L'**adsorption aux constituants du sol** joue, par son impact sur la concentration du pesticide dans la solution du sol au cours des heures qui suivent l'application, un rôle important sur sa **biodisponibilité**. Pour un certain nombre de pesticides à action systémique, l'adsorption du pesticide au sol **peut concurrencer l'absorption par la plante**. Par ailleurs, si un produit possède une trop grande solubilité dans l'eau, il peut être facilement entraîné hors de la zone d'adsorption radiculaire et donc devenir indisponible pour la plante. L'efficacité d'un pesticide à action systémique relève donc d'un compromis entre adsorption et solubilité.

i

Les **adsorbants du sol** sont constitués d'une part, des argiles minéralogiques (silicates 1/1 ou 2/1) et d'autre part, de la matière organique (la matière humique), qui forment des « complexes » sur lesquels les pesticides viendront se fixer de façon plus ou moins intense, et dont ils seront libérés plus ou moins rapidement.

Les micelles d'humus et d'argiles, toutes deux électronégatives, ne peuvent, en théorie, se fixer les unes aux autres. Pourtant, les argiles et les humus forment des complexes appelés **complexes argilo-humiques**.



Cette « complexation » est rendue possible par l'intermédiaire de ponts calciques (des hydroxydes de fer et d'alumine ou des ponts aluminium peuvent aussi jouer ce rôle) : ce mode de fixation est particulièrement solide. Dans les sols calcaires, l'humus en vient à n'être pratiquement plus disponible par minéralisation et **les agrégats du sol sont particulièrement résistants à la dispersion par les précipitations**.

i

L'adsorption et la désorption d'un pesticide devront être déterminées pour chaque sol à considérer. On établit **expérimentalement** des « isothermes d'adsorption » (isothermes de Freundlich), dont on tire les valeurs des « **Coefficients d'adsorption** » (**Kd**) dont la valeur est représentative de **l'intensité d'adsorption** d'un pesticide donné sur un sol donné. Plus la valeur de « Kd » est élevée, plus forte est l'adsorption et moins le pesticide sera mobile. Les isothermes d'adsorption sont le plus souvent décrites par la fonction de Freundlich, qui est la suivante :

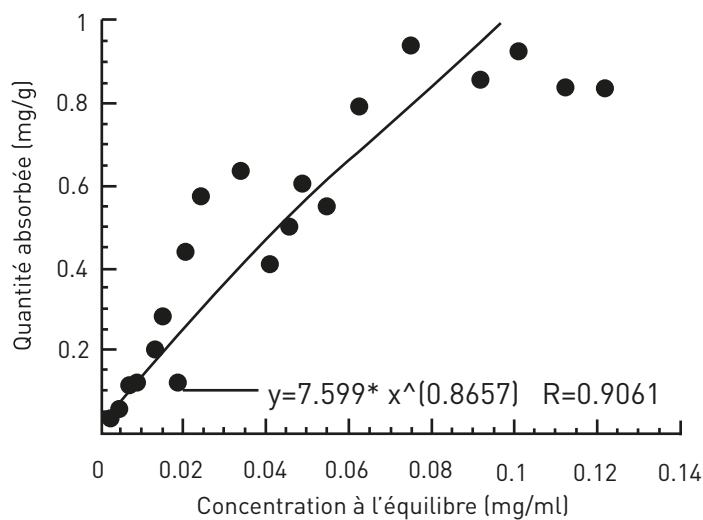
$$(x / m) = Kd \cdot Ce^n$$

avec :

x/m : quantité de pesticide adsorbée par gramme de sol (en µg/g)

Ce : concentration du pesticide (en µg/ml) dans la solution à l'équilibre

Kd et n : constantes, paramètres empiriques



Pour la plupart des pesticides, les isothermes étant proches de la linéarité (n= 1), on peut en tirer que l'adsorption peut être décrite comme suit :

$$Kd = (x/m) / Ce$$

On peut considérer que **Kd** est un « coefficient de partage ou de distribution » entre la phase solide et liquide. Ce coefficient de partage est couramment rapporté à la teneur en carbone organique du sol (C exprimé en %) : **Koc** = Kd .100/C

- **des phénomènes de dissolution et de transport** (mobilité) : la solubilité conditionne aussi, en partie, la concentration en pesticide dans le sol (effet sur l'efficacité, le lessivage (ou la lixiviation), la sélectivité de position) ; la solubilité du pesticide dans l'eau dépend en partie de l'acidité (pH) du milieu. La migration en phase soluble des pesticides est le processus manifestement le plus important dans la contamination des nappes phréatiques, mais également des eaux de surface.

En persistant, le pesticide prélevé par les racines peut **contaminer les plantes** qui seront cultivées sur la parcelle. Ce risque est insidieux, car il est ainsi possible de détecter pour cette raison un **résidu non admissible** dans une denrée quand bien même le produit n'a pas été utilisé sur la culture !

En ruisselant, le pesticide peut **contaminer les eaux** superficielles. Par le lessivage, il peut contaminer les eaux souterraines !

Le couteau indique le niveau de la semelle de labour (Photo B. Schiffers).

Les pesticides ne peuvent plus s'infiltrer plus bas et ruissellent le long de celle-ci, jusqu'à une s'écouler dans une eau de surface.



i

Le transport dépend des propriétés physico-chimiques du pesticide, de la texture du sol (micropores), de sa structure (macropores), des propriétés biologiques du sol (biomasse microbienne, nature de la microflore) et des **conditions climatiques** (intensité et fréquence des précipitations).

La mobilité dans le sol peut aussi être mesurée en utilisant les « couches minces de sol » et en calculant les valeurs de « RF » pour chaque pesticide appliqué sur un sol donné.

| Migration sur couches minces de sol (valeurs du RF) | Interprétation relative à la mobilité du pesticide |
|---|--|
| 0,00 – 0,09 | Immobile |
| 0,10 – 0,34 | Légèrement mobile |
| 0,35 – 0,64 | Modérément mobile |
| 0,65 – 0,89 | Mobile |
| 0,90 – 1,00 | Fortement mobile |

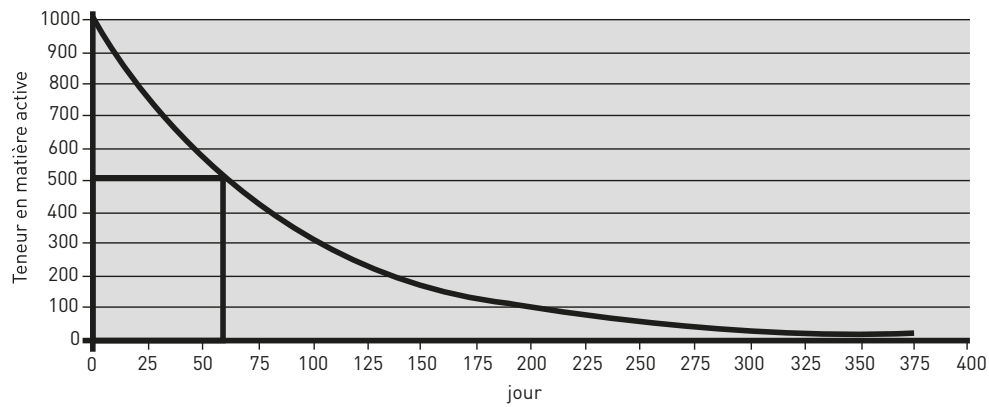


Évolution et déplacements du pesticide dans un profil de sol (Photo B. Schiffers).

Des phénomènes de dégradation : le sol est un écosystème qui possède une capacité de détoxification très élevée. Les processus de dégradation des matières actives aboutissent finalement à l'obtention de molécules minérales telles que H_2O , CO_2 , NH_3 . La dégradation est assurée principalement par les **organismes biologiques de la microflore du sol** (bactéries, actinomycètes, champignons, algues, levures) dont l'action s'exerce surtout dans les premiers centimètres du sol. Il existe également des processus physiques ou chimiques de dégradation, telle que la photodécomposition. Ces actions contribuent à diminuer la quantité de matière active dans le sol et donc à réduire les risques de pollution.

De nombreux facteurs influencent la dégradation des pesticides : en premier lieu la nature chimique du composé, puis les facteurs du milieu tels que la température du sol, l'activité biologique, l'humidité du sol, etc.

Selon les propriétés du pesticide et celles du sol, une fraction peut persister plus ou moins longtemps dans le sol. La **cinétique de dégradation** d'une molécule donnée est déterminée en estimant la persistance du produit. Pour cela, on détermine sa **demi-vie ou DT_{50}** qui est la durée à l'issue de laquelle sa concentration initiale dans le sol a été réduite de moitié. Cette demi-vie peut varier avec la température, le type de sol, l'ensoleillement, etc. : ainsi, celle du DDT est d'environ 30 mois en région tempérée et de 3 à 9 mois sous climat tropical.

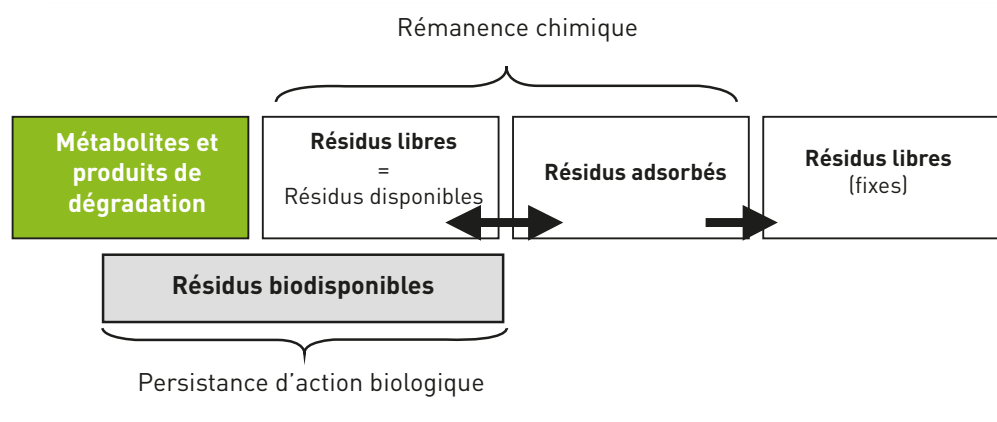


Exemple de détermination de la DT50 dans le cas de l'atrazine.

Sa demi-vie moyenne est aux alentours de 60 jours, ce qui est une demi-vie relativement longue. De plus, les deux principaux métabolites de l'atrazine : la DEA (Déséthylatrazine) et la DIA (Déisopropylatrazine) sont elles-mêmes des molécules toxiques à propriétés herbicides.

La **spécialisation de la microflore du sol** (sélection et multiplication d'une souche efficace) dans la dégradation d'une molécule utilisée répétitivement sur la même parcelle semble également constituer un facteur important dans la dégradation de la matière active : ainsi, en cas d'applications répétées du même produit sur la même parcelle, on observe une dégradation beaucoup plus rapide qu'initialement (ex. : l'insecticide carbofuran dégradé en 15 jours). La phase de latence peut être réduite à quelques jours ou n'existe plus.

Dans le sol, **les résidus** sont composés à la fois du produit de départ (ce qu'il en reste) et des métabolites et produits de dégradation actifs. Ces « résidus » peuvent être fixés (adsorbés), voire même liés, à la matrice du sol de façon plus ou moins irréversible. Une partie des résidus peut rester dans la solution du sol (fraction bio-disponible). Tout ce qui est « extractible » (par une technique analytique) et dosable représente le « résidu chimique » (= rémanence chimique). Si le pesticide a encore une activité biologique, on parle de « rémanence » (cas des herbicides, où la **rémanence** peut être souhaitable, pour avoir une efficacité prolongée, ou nuisible, quand un effet de phytotoxicité se produit sur la culture suivante).



3. L'ÉROSION DES SOLS (MÉCANISMES ET CONSÉQUENCES)

3.1. L'érosion des sols

L'érosion est originaire du mot latin *erodere* qui signifie « ronger ». C'est le décapage – processus au cours duquel des particules de sol sont détachées –, le transport et le dépôt des éléments solubles et solides du sol sous l'effet de l'eau (érosion hydrique) ou du vent (érosion éolienne). Elle peut être d'origine naturelle ou humaine (érosion anthropique engendrée par le travail du sol).



L'érosion est un **phénomène naturel** qui peut avoir des effets bénéfiques – comme le dépôt d'alluvions fertiles – et des effets nuisibles. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable, tolérable. Elle a souvent été présentée comme un danger majeur pour les sols, soit qu'elle appauvrisse sélectivement l'horizon superficiel de sa substance vitale (matières organiques vivantes ou mortes, argiles, limons et nutriments), soit qu'elle décape les horizons superficiels parfois jusqu'à la roche. Mais l'érosion est aussi à l'origine du rajeunissement des sols de montagne et de la formation des plaines les plus fertiles. L'érosion ne devient un problème lorsque la perte de sol affecte considérablement la productivité. C'est malheureusement le cas dans une grande partie de l'Afrique sub-saharienne.

L'érosion des sols est généralement la composante la plus visible de la **dégradation des terres** et c'est certainement le processus physique qui a été le plus largement étudié, particulièrement sa forme hydrique. En effet, beaucoup de sols tropicaux, naturellement pauvres et à faible capacité d'échange cationique, sont par nature susceptibles à l'érosion et au ruissellement **même si les pentes sont généralement faibles**. L'érosion hydrique est donc prédominante en Afrique sub-saharienne, sauf dans les zones arides, où l'érosion éolienne est plus importante.

Le sol affecté par l'érosion perd sa stabilité structurelle et ses agrégats se désagrègent. La surface forme une **croûte compacte** recouverte d'une pellicule imperméable qui réduit considérablement le taux d'infiltration et cause un ruissellement accru des eaux. Il y a une diminution de la capacité hydrique disponible causée en partie par la perte de matériaux organiques et en partie par la réduction de la profondeur d'enracinement. Cela inhibe le développement des plantes et le potentiel de production de biomasse, ce qui est particulièrement important dans les secteurs marginaux et semi-arides.

On ne connaît pas suffisamment la **perte de productivité** des différents sols par l'érosion. Différents sols ont des schémas différents de déclin de productivité, mais la perte de

rendement causée par l'érosion semble être plus importante dans les sols moins fertiles. Les cultures dans la région du Sahel épuisent souvent les éléments nutritifs parce que les périodes de jachère ont été réduites ou supprimées et que les apports d'engrais et de fumier sont insuffisants. L'érosion accentue encore ces pertes.

3.2. L'érosion hydrique

Le premier processus, le plus important dans l'érosion par les eaux, est **l'effet de l'impact des gouttes d'eau sur le sol**. Une goutte de pluie est en elle-même un agent d'érosion : les particules de sol sont détachées sous l'impact des gouttes et déplacées par le ruissellement de surface qui détruit la structure d'une surface de sol découverte. Plusieurs facteurs affectent le taux réel de l'érosion des sols par les eaux : l'érosivité de la pluie, l'érodibilité d'un sol donné, la topographie, la couverture végétale, le système de production et les pratiques de conservation des sols.

- **L'érosivité de la pluie** est la capacité de la pluie de causer l'érosion. Elle est fonction des caractéristiques physiques de la pluie : énergie, intensité et durée. L'érosion due à l'impact – battance des gouttes sur le sol et éclaboussement – est directement liée à l'énergie de la pluie. Sous les tropiques, l'érosivité est plus ou moins reliée à la moyenne annuelle de précipitations d'un site donné. Lorsque les précipitations moyennes annuelles doublent, l'érosivité double approximativement.
- **L'érodibilité du sol** est une mesure de la vulnérabilité du sol à l'érosion. Certains sols s'érodent plus facilement que d'autres dans des situations semblables. L'argile est plus résistante que le sable, et le niveau de matière organique dans un sol accroît sa résistance à l'érosion.
- **La topographie** est importante : en général, plus la pente est abrupte et longue, plus le degré d'érosion est élevé. Cependant, une érosion considérable se produit dans de nombreuses régions de l'Afrique sub-saharienne où les pentes sont inférieures à 1 %. D'autre part, dans les zones de population dense des régions de hautes terres plus humides, la culture sur les pentes abruptes est l'une des raisons de l'érosion accélérée.
- **La couverture est généralement le facteur le plus important de tous.** Lorsque le sol est complètement recouvert de végétation, l'érosion est pratiquement nulle, parce que la pluie ne frappe pas directement la surface du sol – ce qui est la première cause d'érosion par les eaux. En Afrique de l'Ouest, l'érosion annuelle sous couvert forestier naturel est inférieure à 0,5 tonne par hectare, même pour des pentes atteignant 65 %. Les degrés d'érosion sur sol nu avec des pentes équivalentes sont jusqu'à 1 000 fois plus importants. Il faut cependant distinguer la « canopée », qui domine le sol de quelques décimètres ou mètres, des litières qui traînent à la surface du sol et absorbent non seulement l'énergie des gouttes de pluie et les restituent sans énergie, mais interceptent aussi l'énergie du ruissellement. Alors qu'il n'est pas toujours facile d'augmenter la densité de plantation, on s'oriente aujourd'hui vers le semis direct et la gestion des adventices, des légumineuses de couverture ou des résidus de culture à la surface du sol. Pour réduire l'érosion de 50 %, il suffit d'une couverture de 30 % de litière ou de 60 % de canopée haute de 50 cm ! Les taux de ruissellement et d'érosion peuvent être particulièrement sévères dans les régions semi-arides à cause de la faible couverture végétale, surtout au début de la saison des pluies.

- **Les systèmes de production et les pratiques de conservation** ont aussi des effets très marqués sur les taux d'érosion. Les nombreux systèmes de production ont des effets différents sur les pertes de sol. L'érosion dépend à la fois de la culture et de la façon dont elle est pratiquée. Le désherbage sous une culture de café dans des champs en pente aggrave les pertes de sol tandis qu'un paillage bien entretenu empêche l'érosion. Le labour dans le sens de la pente entraîne généralement une érosion plus grande que le système normalement recommandé de labour en courbe de niveau.

De toute l'eau qui arrive à la surface du sol sous forme de pluies intenses, une partie s'infiltré et le reste forme l'écoulement, en se concentrant dans les dépressions naturelles du terrain, et en s'écoulant jusqu'à ce qu'elle rencontre des aires de dépôt naturelles (plaines et réseaux de drainage). Au fur et à mesure que l'écoulement s'accroît, sa vitesse et son volume augmentent ainsi que sa capacité de créer de l'érosion. La vitesse critique de l'écoulement à laquelle commence l'entraînement de particules désagrégées est de 5 m/s sur les sols sablonneux et de 8 m/s sur les sols argileux. À l'échelle du paysage, l'érosion hydrique se traduit par la formation de rigoles ou de ravines.



Formation de ravines par érosion

Les ravines peuvent atteindre une profondeur de plusieurs mètres si les sols ne contiennent pas d'éléments structurants (faible teneur en argile, très faible teneur en matière organique). L'érosion hydrique génère alors une quantité importante de sédiments dans le paysage. L'ensemble du matériau érodé n'atteint cependant pas les cours d'eau : environ 80 à 90 % des sédiments se redéposent avant d'y arriver.

L'érosion hydrique est causée par les **mauvaises pratiques agricoles** qui aboutissent au ruissellement excessif et au transport de sédiments. Si les résidus de récolte sont enlevés et si les apports organiques sont insuffisants pour compenser les exportations, la matière organique existante se minéralise rapidement sous l'effet des températures élevées et sa teneur tombe en dessous de 0,6 %, qui est le seuil de stabilité structurale. Ainsi, **la structure du sol se désagrège**, le sol s'encroûte, et les pores se colmatent réduisant considérablement l'infiltration.

3.3. L'érosion éolienne

i

Les pluies intenses, associées à des sols encroûtés, génèrent un ruissellement et une érosion qui peuvent s'accélérer rapidement. L'**érosion hydrique** a comme conséquences : une perte d'éléments de la partie supérieure du sol ; la formation de rigoles et de ravins ; la sédimentation ou le dépôt d'éléments fins, la pollution des eaux (charge solide en suspension fine ou produits toxiques rejetés par l'agriculture ou l'industrie) ; le comblement des lits des cours d'eau dans les zones situées en aval.

Elle attire moins l'attention, car ses effets sont généralement limités aux régions sèches moins peuplées. Mais il ne faut pas sous-estimer son importance. Bien qu'on ne leur attribue généralement de gravité que dans les régions arides ou semi-arides, les phénomènes d'érosion éolienne **peuvent se produire n'importe où** dès lors que les conditions de sol, de climat et de végétation leur offrent un terrain favorable, c'est-à-dire :

- que le sol est meuble, sec, et assez finement émiétté ;
- que la surface du sol est relativement égale et la couverture végétale absente ou clairsemée ;
- que le champ est suffisamment étendu ;
- que le vent est suffisamment fort pour amorcer un mouvement des particules.



Paysage propice à l'érosion éolienne

Si cet ensemble de conditions se trouve le plus souvent réuni dans les régions arides ou semi-arides, on peut également le rencontrer dans les zones sub-humides ou même humides. Ainsi, dans certains sols sableux des États-Unis recevant 750 mm de pluie ou davantage, les terrains maraîchers et même les cultures de plein champ sont fréquemment endommagés par l'érosion éolienne. Les terrains tourbeux, même convenablement arrosés, requièrent parfois une protection particulière. Enfin, la défense des bandes littorales pose des problèmes difficiles, même dans les régions très pluvieuses.

Les endroits les plus vulnérables ont en commun **trois caractères** : un déficit récurrent d'humidité qui limite la croissance végétale, des vents modérés à forts aux époques où le sol reste nu ou demeure mal protégé par de trop jeunes plantes, enfin une prédominance – ou à tout le moins des périmètres étendus – de sols sableux ou de terrains contenant d'importantes fractions sableuses.

Les dommages causés par l'érosion éolienne sont multiples (troubles, maladies graves (parfois mortelles) chez les citadins, les ruraux, animaux domestiques ou sauvages ; dégâts causés aux cultures, surtout aux tout premiers stades de la croissance ; clôtures,

fossés et canaux comblés ou ensablés ; herbe, arbres, buissons et haies étouffés ou ensevelis ; insectes et les graines de mauvaises herbes transportés par le vent jusque dans les champs sains). Il arrive souvent que le sol soit entraîné au point de dénuder les racines des plantules ou les graines non germées, et qu'ainsi la récolte soit compromise.

Le plus grave, de très loin, est le **changement apporté à la texture du sol**. Les fractions les plus fines (limon, argile et matière organique) sont en effet entraînées et emportées par le vent, ne laissant derrière elles que les éléments plus grossiers. Cette séparation dépouille le sol de ses constituants les plus utiles du point de vue de la productivité et de la rétention de l'eau, pour le rendre finalement encore plus sensible à ce type d'érosion. Les prélèvements successifs opérés par le vent finissent par créer des conditions édaphiques telles que la croissance végétale est réduite à un minimum, et la sensibilité à l'érosion fortement accrue. La lutte anti-érosive devient alors de plus en plus difficile. Dans les cas extrêmes, les sables se mettent à dériver et à former des dunes instables qui envahissent les terres avoisinantes.

Le transport des particules mises en mouvement par le vent varie suivant la dimension des matériaux, la vitesse du vent et son degré de turbulence. Dans les terrains qui présentent un mélange d'agrégats de dimensions diverses, le minimum de vitesse éolienne requis pour amorcer le mouvement des particules se situe aux alentours de 20 km/h à la hauteur de 30 cm au-dessus du sol. Lorsque les grains de terre ont été libérés et que le mouvement du sol s'est amorcé, l'impact des particules exerce sur la surface une forte action abrasive. Cette abrasion désagrège les mottes, détruit les croûtes stables, use les résidus végétaux et abîme les plantes vivantes. Ainsi, les grains en mouvement fragmentent les mottes en particules vulnérables et affaiblissent le pouvoir protecteur du couvert végétal. Plus le terrain est étendu, plus les impacts des particules déplacées par le vent sont nombreux.

De ce qui précède, il ressort que la texture du sol, l'état des particules et la stabilité des agrégats sont les principaux facteurs qui régissent la sensibilité des sols à l'érosion éolienne. Ce sont les sols à texture grossière – limons sableux, sables limoneux et sables ordinaires – qui sont les plus vulnérables : la sensibilité à l'érosion éolienne sera d'autant plus grande que le pourcentage de sable est plus élevé.



Parmi les nombreux facteurs qui influent la stabilité des agrégats de particules, on peut citer l'humidité, la teneur en matière organique, la proportion d'argile, la teneur en calcium, l'activité des micro-organismes dans le sol.

3.4. Érosion par le travail du sol et les mauvaises pratiques

Au cours du travail du sol sur les champs se produisent d'une part un **déplacement** net du sol vers l'aval de la pente et, d'autre part, des **nuages de poussière**. Ces deux processus, dont l'intensité dépend de l'outil utilisé, de la vitesse d'avancement de l'outil et de la profondeur de travail, sont repris sous le vocable d'érosion par le travail du sol ou « érosion aratoire ».

Les façons culturales peuvent favoriser la consistance motteuse de la couche superficielle ou, au contraire, ameublir cette couche. En zones arides (et en terrain sec), **les façons culturales répétées aggravent généralement les risques d'érosion**, surtout lorsqu'on utilise des instruments à action mécanique intensive comme le pulvériseur à disques à un

ou deux rangs et la herse. Le désherbage et le broutage excessif dépouillent la terre des plantes ou des résidus végétaux qui la protégeaient ce qui aggrave les risques d'érosion considérablement. L'érosion par le travail du sol est un phénomène plutôt localisé, limité à l'intérieur des limites de parcelles, et ses conséquences sont principalement une redistribution de substances nutritives comme l'azote, le phosphore et le carbone organique au sein des parcelles. Pour les terrains en pente, le labour dans le sens de la pente augmente le risque d'érosion hydrique.

Par ailleurs, il est certain que la **disparition du couvert végétal**, en particulier des arbres, contribue à l'érosion au lessivage des sols et à l'apparition de latérites. Les causes principales identifiées de déforestation sont :

1. le brûlis forestier pour défricher les parcelles,
2. les feux de brousse divers,
3. les feux de renouvellement de pâturage non contrôlés,
4. l'exploitation illicite de bois (charbon de bois, bois d'œuvre...),
5. le prélèvement de bois de chauffe.



Le brûlis forestier pour défricher les parcelles.



L'abattage des arbres renforce les risques d'érosion des sols.

4. LA PROTECTION DES SOLS (TECHNIQUES DE PRÉVENTION)

D'ordinaire, ce n'est pas l'adoption d'une seule méthode, mais la combinaison de plusieurs, qui offre les meilleures garanties de protection des terres cultivées. Plus un agriculteur utilise intensivement son sol, plus il doit être circonspect dans la pratique des façons culturales. Quel que soit le système utilisé, il est nécessaire de **lutter préventivement contre l'érosion**, afin de maintenir la productivité des terres ainsi que leur état physique.

4.1. Lutte contre l'érosion hydrique

La lutte contre l'érosion sur les terres productives doit être étroitement **liée aux pratiques courantes d'une agriculture rationnelle**, dont les principales sont : l'utilisation judicieuse des terres (rotation des cultures), les systèmes de culture, le maintien si possible de cultures de couverture, l'application raisonnée d'engrais, de compost et de fumier ainsi que l'amélioration des façons culturales.

Fréquemment, des **méthodes spéciales** de lutte contre l'érosion viennent compléter ou accroître l'efficacité des méthodes ordinaires d'une agriculture bien comprise, telles que : les labours suivant les courbes de niveau, la culture en bandes ou en billons, les cordons pierreux, l'établissement de terrasses et d'ouvrages particuliers.

■ L'utilisation des terres cultivables (rotation des cultures)

Le mode d'exploitation des terres a des répercussions importantes sur la productivité et l'érosion du sol. Il s'agit donc pour le producteur d'évaluer la meilleure façon d'utiliser chaque parcelle de terre et de déterminer le degré de risques que comporte son utilisation par rapport à l'érosion. Les **cultures influencent la structure du sol** grâce à l'activité de leur système racinaire et à la quantité de résidus organiques provenant des racines et des fanes qui peuvent être enfouies dans le sol. Le système racinaire des graminées contribue beaucoup à créer la structure du sol et à lier ensemble les agrégats. Les racines pivotantes pénètrent très profondément dans le sol. Lorsqu'elles meurent et se décomposent, elles laissent des passages à travers lesquels l'eau peut pénétrer dans les couches plus profondes et par où les racines des autres plantes peuvent pousser facilement. Les cultures intercalaires, y compris celles de légumes et de céréales, n'ont généralement pas un système racinaire qui améliore effectivement la structure du sol.

Un grand nombre d'expériences ont été effectuées pour comparer l'importance de l'érosion et du ruissellement dans les différentes cultures, les prairies et les systèmes de rotation. Le ruissellement et la perte de terre ont toujours été plus élevés dans les **cultures en ligne**, qui nécessitent des façons culturales fréquentes et ne laissent que peu de résidus après la récolte. Elles sont donc, selon toute vraisemblance, celles qui favorisent une grave érosion.

Une réduction de l'érosion peut être assurée par la mise en place de jachères, de plantes fourragères, de mélanges graminées et légumineuses, etc. La rotation des cultures permet une **amélioration de la structure du sol produite par le système racinaire** des plantes fourragères, et par l'apport relativement important de matières organiques qui peuvent être rendues au sol. Le type de culture utilisée dans la rotation dépendra de la région dans laquelle elle est pratiquée, du climat, des ressources en eau, de la nature du sol, de la topographie, des avantages économiques, des coutumes, et d'autres facteurs.

■ L'apport de matières organiques

Les sols bien entretenus ont une structure granulaire (« état grumeleux »). Ces sols sont poreux et ont tendance à absorber les pluies. D'une manière générale, la meilleure façon d'obtenir des agrégats stables et un état grumeleux consiste à fournir des apports de matières organiques. La plupart des céréales peuvent restituer une quantité très importante de matières organiques au sol à condition que les résidus soient enfouis après la récolte. Par contre, la majorité des cultures de légumes ne restituent qu'une très petite quantité de matières organiques au sol et des apports supplémentaires sont nécessaires, car les engrais et le fumier contribuent à lutter contre l'érosion.

■ Le semis direct

Cette méthode consiste à ne pas labourer sa terre, à semer une plante couvre-sol qui va fixer l'azote de l'air, stabiliser le sol, garder l'humidité des pluies et protéger le sol des rayonnements durs du soleil vertical (pas de formation de latérite). Les mauvaises herbes ne poussent pas sur le sol recouvert d'un vrai tapis dense. On tue ensuite ce couvert végétal (ex. : par un herbicide total) et on sème sur cette couche de paille humide. La culture va germer et s'élever au-dessus de cette pellicule protectrice qui va céder au sol ses substances minérales et organiques en pourrissant. Cette méthode est déjà employée à Madagascar et le semis direct existe depuis 20 ans au Brésil, où il est désormais exploité à grande échelle. Les rendements sont excellents, durables, et avec plutôt moins d'investissements par rapport à une culture classique (pas de labourage).

■ Le maintien de la végétation

La végétation ou la couverture végétale protège contre l'érosion de plusieurs manières :

- elle amortit le choc des gouttes de pluie ;
- elle offre une résistance au mouvement de l'eau et ralentit son taux de ruissellement ;
- les racines des plantes aident à maintenir le sol en place ;
- les racines des plantes et les résidus des récoltes contribuent à améliorer la structure du sol en le rendant plus poreux, ce qui lui permet de mieux absorber la pluie.

La mesure dans laquelle les plantes et les couvertures végétales peuvent protéger le sol contre l'érosion dépend non seulement de leur densité ou de leur épaisseur, mais aussi de leur développement total. Les cultures denses ou très rapprochées sont celles qui offrent la meilleure protection. Quel que soit le type de culture, la protection n'atteint son effet maximal que lorsque la culture est vigoureuse et que les plantes poussent vite.

■ Le paillage avant ou après plantation (*mulching*)



L'idée de cette méthode est de préparer le sol 6, 8 à 12 mois avant la plantation, non par l'action de machines, mais par l'ameublissement et l'enrichissement qu'assurent **les vers de terre** sous une couche de paille très épaisse. La condition est que le sol ait été préalablement débarrassé des mauvaises herbes vivaces que favorise le paillage.

Une destruction qui peut se faire soit par griffages répétés en périodes sèches, soit au moyen d'herbicides. Le fait de laisser les résidus végétaux à la surface tend à abaisser la température du sol et à augmenter sa teneur en eau. Les litières de résidus végétaux empêchent l'échauffement du sol pendant la journée et les pertes de chaleur pendant la nuit. Les litières de couleur claire réfléchissent aussi une partie des radiations du soleil. Elles augmentent l'humidité du sol, car elles améliorent l'infiltration des gouttes de pluie et ralentissent l'évaporation à la surface du sol. Cependant, l'humidité qui se maintient sous la litière tend à favoriser aussi la germination et la croissance des graines de plantes adventices.

■ La culture d'engrais vert

Les cultures d'engrais vert sont faites pour améliorer le sol après enfouissement. La principale amélioration apportée au sol est due à la fixation de l'azote par les légumineuses et à l'apport de matières organiques facilement décomposables lorsque la récolte est enfouie. Comme il s'agit, en grande partie, d'accroître la teneur en azote des sols, les légumineuses servent généralement d'engrais vert.



■ Méthodes connexes de lutte contre l'érosion



La **culture suivant les courbes de niveau** est le système qui consiste à cultiver en lignes et à faire fonctionner les machines agricoles en travers de la pente. Cette méthode facilite la conservation du sol et de l'eau, car chaque rangée constitue une barrière qui s'oppose à l'écoulement de l'eau. Les charrues, cultivateurs et autres machines de labour qui travaillent en travers de la pente creusent un petit réservoir qui retient l'eau et réduit le ruissellement. Des essais ont prouvé que le labour suivant les courbes de niveau réduisait de 50 pour cent les pertes de terre sur les pentes de 4 à 6 pour cent. La perte d'eau par ruissellement est également réduite de moitié. Comme l'humidité est fréquemment un facteur important de production végétale, le labour suivant les courbes de niveau contribue à augmenter les rendements.



Construction de « barrières » en terre pour limiter l'érosion hydrique et éolienne en Tunisie (Photo B. Schiffers)

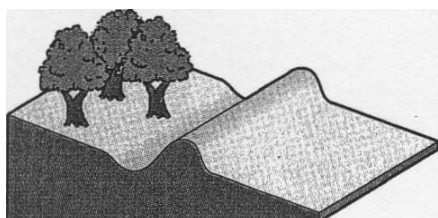


Labour en lignes perpendiculaires à la pente pour retenir l'eau et limiter l'érosion en Tunisie (Photo B. Schiffers)

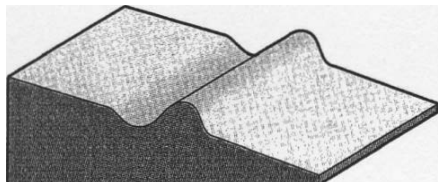
La **terrasse** est un remblai en terre ou la combinaison d'une rigole et d'un remblai, aménagés perpendiculairement à la pente, à intervalles fixes. Il existe plusieurs types de terrasses. La terrasse peut être composée par une digue et un canal, en terre ou en pierre, construite systématiquement sur le terrain, en sens perpendiculaire à la déclivité, de façon à intercepter l'eau qui s'écoule sur le sol, en provoquant son infiltration, son évaporation. Les terrasses défendent les terres contre l'érosion en réduisant la longueur de la pente et en conduisant l'eau de ruissellement vers un exutoire, perpendiculairement à la pente, à une vitesse où elle ne provoque pas d'érosion.

Les terrasses en banquettes réduisent aussi la déclivité. Le fait de couper la pente de moitié, comme le permet la construction de terrasses, a pour effet de réduire les pertes de terre de plus de 20 pour cent. Il est souvent nécessaire de construire quelques canaux divergents (cordons en contour), petits fossés qui interceptent l'eau d'écoulement superficiel provenant d'une aire située en amont. Pour la culture, les rangées de plantes doivent toujours être parallèles aux terrasses. Quand les terrasses sont parallèles, il n'est pas difficile de planter, d'exécuter les façons culturales et de récolter.

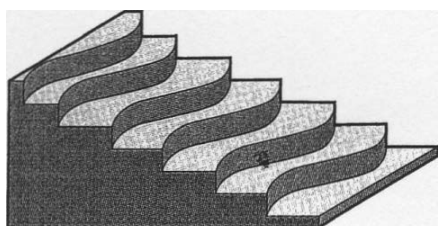
Il existe **plusieurs formes de terrasses** :



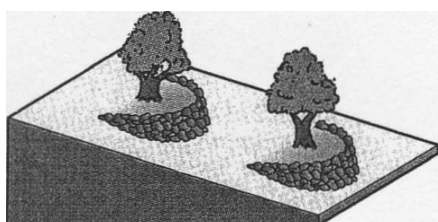
Les **fossés de ceinture** ou de dérivation servent à séparer les terres non arables surélevées des terres cultivées planes. Ils suivent la courbe de niveau et interceptent les eaux descendant des points en amont, lesquelles risqueraient sinon d'éroder gravement les terres arables plus ou moins exposées.



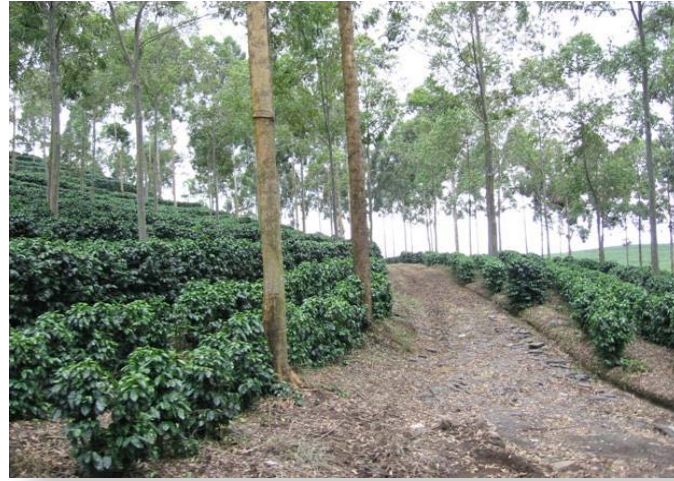
Les **billons et remblais** sont de petites levées de terre construites le long de la courbe de niveau pour freiner le flux d'eau ruisselant des coteaux. Sur les terres arables, on les aménage en dessous des fossés d'interception pour détourner les eaux de ruissellement des terres cultivées. Ils remplissent une fonction analogue plus en amont sur des versants sujets à l'érosion, qui peuvent être boisés ou plantés d'arbres fruitiers.



Les **terrasses en gradins**, dispositif de protection mécanique le plus ancien, sont utilisées depuis des siècles. Leur construction exige un énorme travail parce qu'il faut transformer les terrains en pente en une série de plates-formes, le talus presque vertical étant habituellement fait de pierre ou de terre recouverte d'une végétation qui se fixe bien, par exemple des légumineuses grimpantes.



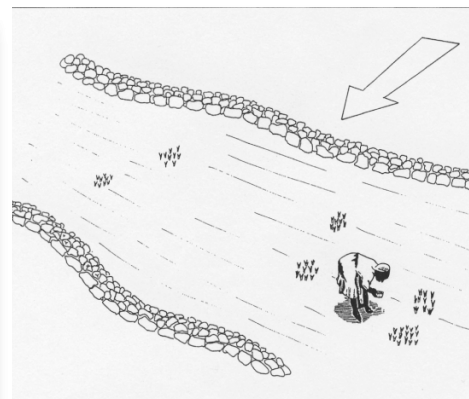
Les **terrasses à plates-formes**, en arcades sont les plus économiques parce qu'elles sont discontinues. Elles sont aménagées à flanc de coteau en petites plates-formes pour recevoir chacune un arbre. Elles suivent les courbes de niveau, et les pentes qui les séparent doivent être recouvertes de végétation.



Les **haies protectrices** sont des haies formées par des arbres ou des arbustes plantés très près les uns des autres, alignées suivant les courbes de niveau (ou du moins en travers de la pente) pour ralentir le ruissellement, récolter les sédiments et aboutir graduellement à la formation de terrasses.

La **culture en bandes** est la méthode qui consiste à planter des bandes alternées de diverses cultures, suivant les courbes de niveau en travers de la pente. Les bandes enherbées sont semblables aux haies protectrices dans leur disposition et leurs effets, mais on utilise des espèces d'herbages au lieu de plantes vivaces ligneuses. Les pertes de terre dans les champs cultivés en pente sont de 25 à 30 % inférieures à ce qu'elles seraient dans une culture disposée dans le sens de la pente. La culture en bandes destinée à lutter contre l'érosion est pratiquée principalement sur les pentes qui sont trop raides pour qu'il soit possible d'y construire des terrasses.

Les **cordons de pierres** sont de petites structures de pierres (généralement de 25 à 30 cm de haut) qui suivent les courbes de niveau et sont construites dans une tranchée d'ancrage peu profonde. Ces structures sont perméables et elles ralentissent et filtrent l'écoulement des eaux de pluie. Au bas des pentes, dans les régions semi-arides, ce sont des structures de collecte des eaux de ruissellement, mais on les utilise également à flanc de coteau dans les régions humides.



Établissement de cordons de pierres



La technique la plus étrange et la plus ingénieuse de gestion des sols et de l'eau est sans doute celle des « **jardins de terre transportée** » pour la culture des légumes. Les jardins potagers irrigués sont depuis longtemps un trait caractéristique du plateau Dogon (Mali).

Les Dogons construisent simplement un réseau de « carrés de pierres » sur la roche nue, puis remplissent ces carrés de limon et de terre, qu'ils apportent en grande partie du lit de la rivière. On ajoute du fumier, établissant ainsi une terre de culture fertile.

4.2. Lutte contre l'érosion éolienne

L'analyse des mécanismes de l'érosion éolienne permet de dégager 4 méthodes de défense :

- Former ou ramener en surface des agrégats ou des mottes de dimension suffisante pour résister à la force du vent.
- Rendre la surface inégale de façon à ralentir le vent et à retenir la terre mise en mouvement.
- Établir et maintenir une végétation ou des résidus végétaux qui, protégeront le sol.
- Établir par intervalles des pare-vent ou des bandes de fixation pour réduire la vitesse du vent (des cultures vulnérables à l'érosion doivent succéder à des cultures plus résistantes, et la culture en bandes dans le cadre d'une rotation céréales/jachère est généralement bénéfique lorsqu'elle est combinée avec le maintien de résidus végétaux en surface).

Les **végétaux vivants ou morts** constituent une protection efficace contre l'action du vent. Non seulement ils réduisent sa vitesse en surface, mais ils absorbent aussi une grande partie de sa force. Outre leur action protectrice des cultures contre le vent et l'abrasion par les sables, les végétaux présentent l'avantage de retenir les particules en mouvement. C'est la seule défense permanente et effective des sols. Toute pratique qui aboutit à réduire le couvert végétal au point de laisser le sol sans protection devrait être rigoureusement bannie. Après la récolte, les résidus végétaux laissés en place continuent

encore à protéger le sol, tout comme le faisaient les plantes sur pied. L'efficacité relative des différentes catégories de résidus végétaux n'a pas été calculée avec précision. Cependant, certaines observations faites aux États-Unis tendraient à prouver que les résidus à texture fine – comme ceux des céréales à petites graines – protègent mieux le sol, à quantités égales, que les tiges grossières comme celles du sorgho ou du maïs. Dans les cultures à petit interligne (30 à 35 cm ou même moins), l'orientation des rangs ne modifie guère l'action protectrice des résidus. En revanche, dans les cultures en lignes espacées (sorgho ou maïs, par exemple), le sol se trouvera mieux protégé si les rangs sont orientés perpendiculairement à la direction des vents dominants.

Les **brise-vent** – rideaux d'arbres, haies vives, etc. –, en exerçant une résistance et en faisant dévier le courant d'air, ralentissent sur une certaine distance la vitesse du vent au voisinage de la surface et constituent ainsi un moyen de défense contre l'érosion. Leur implantation doit précéder la plantation, afin de permettre une protection efficace dès le départ. On prendra soin d'approvisionner les brise-vent en eau et en éléments nutritifs, et on laissera un espace entre le brise-vent et le premier rang de la plantation pour ne pas concurrencer la culture.

L'efficacité d'une barrière dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels la vitesse et l'angle d'attaque du vent, la configuration, l'épaisseur, la hauteur et la « porosité » de l'obstacle. Bien qu'ils ne soient très efficaces que sur des distances relativement courtes, ils peuvent être localement fort utiles pour protéger du vent non seulement les champs, mais aussi les maisons, les points d'eau, les chemins, etc. Pour des rideaux d'arbres moyens orientés face au vent, le pourcentage de ralentissement oscille entre 60 et 80 % à proximité immédiate du rideau, du côté abrité ; à une distance égale à vingt fois la hauteur du rideau, il n'est plus que de 20 %, et il tombe à zéro lorsque la distance atteint de 30 à 40 hauteurs du rideau. Si le vent souffle à 30 km/h, un ralentissement de 50 % fera tomber sa vitesse à 1,5 km/h, et la protection sera donc totale, mais s'il souffle à 80 km/h, sa vitesse sera encore de 40 km/h après ralentissement et la réduction ne sera donc pas suffisante pour empêcher l'entraînement du sol. Par conséquent, la zone totalement protégée par un brise-vent diminue de longueur à mesure que la vitesse du vent augmente, ce qui oblige dans la pratique à **disposer les obstacles à des intervalles assez rapprochés**. Pour assurer une défense efficace contre les vents érosifs, il faudrait donc que les rideaux soient disposés à intervalles ne dépassant pas dix fois leur hauteur. Si cette hauteur est de 6 m, il faudrait donc placer un rideau tous les 60 m.



Types de brise-vent utilisés au Kenya et au Sénégal pour les cultures de haricots (Photos B. Schiffers).

Malheureusement, les brise-vent végétaux présentent le désavantage de soustraire aux cultures adjacentes une certaine quantité d'eau et d'éléments nutritifs. Derrière les arbres adultes ou les haies vives de différents types, le rendement des cultures peut ainsi se trouver déprimé sur une distance de 15 à 30 m ou même davantage. Cet effet dépressif est particulièrement marqué dans les régions sèches, surtout derrière les rideaux composés d'arbres adultes. On peut l'atténuer en creusant une tranchée le long du rideau de manière à interdire l'accès du champ aux racines des arbres.

On peut combattre les effets du vent en construisant des **barrières** et en stabilisant les dunes de sable avec des plantes locales, et par le **reboisement**. Les arbres jouent plusieurs rôles : ils contribuent à fixer les sols, font office de coupe-vent, renforcent la fertilité des sols, et aident les sols à absorber l'eau lorsque les précipitations sont fortes.

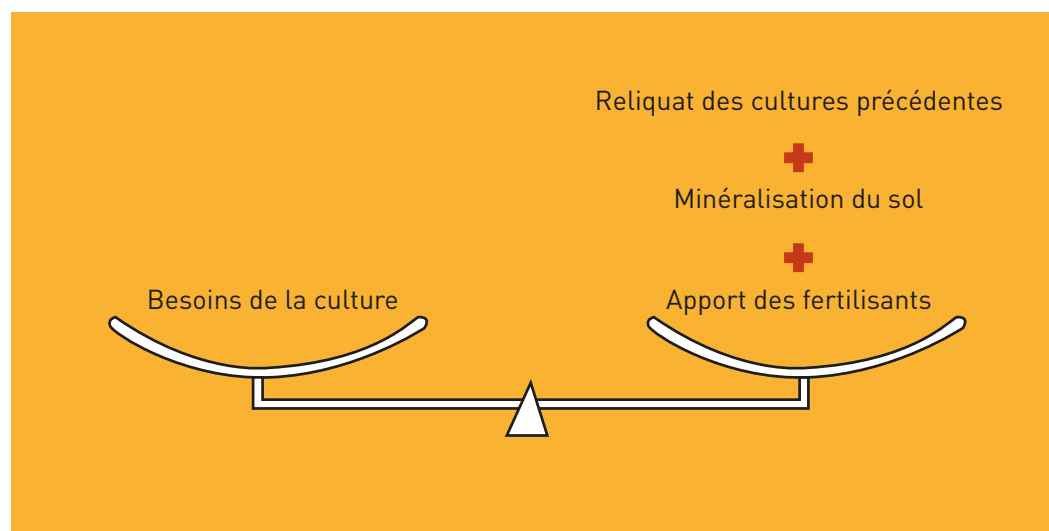


Construction de barrières pour empêcher l'avancée des dunes de sable.
Les palissades sont fabriquées avec des arbustes locaux ou des palmes séchées
(Photo FAO, P.Cenini).

5. LA FERTILISATION RAISONNÉE DES SOLS (ANALYSE DES SOLS ET GESTION DES APPORTS)

5.1. Principes de la fertilisation raisonnée

La fertilisation raisonnée est une des composantes de l'agriculture raisonnée. À partir d'objectifs de production quantitatifs et qualitatifs, l'agriculteur ajuste ses apports de fertilisants qui prennent en compte les caractéristiques du milieu dans lequel il travaille (sol, climat, proximité d'eau de surface ou de zones de captage). C'est une fertilisation qui cherche ainsi à intégrer les contraintes environnementales notamment la **préservation et la restauration de la qualité des eaux et des sols**. Le but est d'apporter à chaque culture une fertilisation suffisante pour sa nutrition, en adaptant la période d'épandage à ses besoins **en évitant tout excès** : « *La bonne dose au bon moment* ». Par exemple, pour les nitrates, cela consiste à déterminer avec soin la quantité et les modalités de leur épandage sur une parcelle en prévision des besoins de culture et afin de limiter les risques de pollution des eaux par migration des excédents. Les nitrates sont en effet peu retenus par le sol, il faut donc les apporter quand la plante est prête à les absorber afin d'éviter **le lessivage vers les nappes phréatiques**.



Les types et les quantités d'engrais à utiliser pour accroître les rendements des cultures et pour mieux lutter contre l'érosion varient considérablement suivant les sols et les cultures. La fertilisation raisonnée passe donc par une expertise de la nutrition des plantes. Le choix des engrais appropriés et du taux optimal de fumure nécessite un soin considérable. Il faut **exploiter les analyses de sol**, les résultats des expériences de fumure, les observations sur la vigueur des cultures, et rechercher en outre les symptômes de déficience des éléments fertilisants.

L'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) sont les **principaux éléments fertilisants (ou engrais)**. Ce sont ces éléments qui manquent le plus dans la plupart des sols. Mais il arrive que les plantes aient aussi besoin, pour une bonne croissance et une bonne résistance aux maladies, d'**oligo-éléments**, comme le soufre, le bore, le manganèse, le cuivre, le zinc, le molybdène.... Quand certains de ces oligo-éléments manquent, des symptômes de **carence** peuvent affecter la culture et diminuer les rendements. Les analyses de sol sont donc utilement complétées par des analyses foliaires régulières sur base desquelles une fertilisation raisonnée peut être envisagée, chaque plante ayant des exigences qui lui sont propres.

i



Symptômes d'une carence en magnésium dans le radis



Symptômes de carences en azote et/ou en phosphore dans le brocoli

La majeure partie de l'azote et du soufre contenus dans le sol et une partie du phosphore assimilable **se trouvent dans les matières organiques** de la couche superficielle. Le remplacement des matières organiques par ces trois importants éléments fertilisants constitue donc le travail essentiel à accomplir pour remettre en état des terres érodées.

Le **fumier organique** est un engrais important, car non seulement il fournit un principe fertilisant, mais de plus il apporte des matières organiques. Son usage peut s'imposer tout particulièrement lorsqu'il s'agit de maintenir la quantité de matières organiques nécessaires au sol, dans le cas de cultures donnant une faible quantité de résidus ou lorsque les résidus sont en grande partie enlevés de la terre. La teneur en principes

fertilisants du fumier varie considérablement suivant son origine et la quantité de paille ou d'autres matières qu'il contient. De même, les pertes de principes fertilisants provenant du fumier, en particulier celles d'azote et de potassium, peuvent être élevées si le fumier est soumis à un fort lessivage en raison d'une mauvaise conservation ou d'une manutention défectueuse.

Les engrais et le lisier sont **acidifiants** : il faut donc compenser cette baisse de pH par le chaulage qui exerce un effet positif sur la structure du sol, en influençant indirectement son acidité et son activité naturelle.



Le chaulage est l'une des pratiques les plus anciennes en matière d'exploitation des sols, et son importance est considérable. **Si un sol est acide, le chaulage doit être la première opération à entreprendre pour rétablir la fertilité.**

La chaux est généralement bon marché, et non seulement elle corrige l'acidité, mais elle fournit du calcium et facilite l'absorption du phosphore. Un grand nombre de plantes réagissent à la chaux, mais les légumineuses en sont particulièrement avides. En conséquence, lorsqu'il est indispensable pour défendre les terres contre l'érosion de faire des cultures de graminées et légumineuses, il faut leur donner la chaux dont elles ont besoin pour assurer la levée et la croissance des légumineuses. Les terres érodées contiennent généralement une plus forte quantité totale de calcium, magnésium et potassium que la couche arable initiale. La gravité de la perte de ces éléments est donc fonction non seulement de l'importance de l'érosion, mais aussi des réserves qui peuvent exister dans le sous-sol et dans les couches plus profondes atteintes par les racines des plantes.

Par ailleurs, des épandages agricoles excessivement riches en engrais (azote et phosphore) ont des conséquences négatives sur l'environnement, particulièrement les eaux de surface

Cours d'eau envahi par les algues à cause d'un excès de fertilisants



L'**eutrophisation** est l'expression du déséquilibre qui résulte d'un apport excessif de nutriments : azote (des nitrates par exemple), carbone (carbonates, hydrogénocarbonates, matières organiques...) et phosphore notamment. Le phosphore étant généralement

le facteur limitant dans les milieux aquatiques naturels, ce sont ses composés, en particulier les **phosphates** qui permettent l'emballement du processus d'eutrophisation. Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau en tant que ressource.

5.2. Les lois de base d'une fertilisation raisonnée

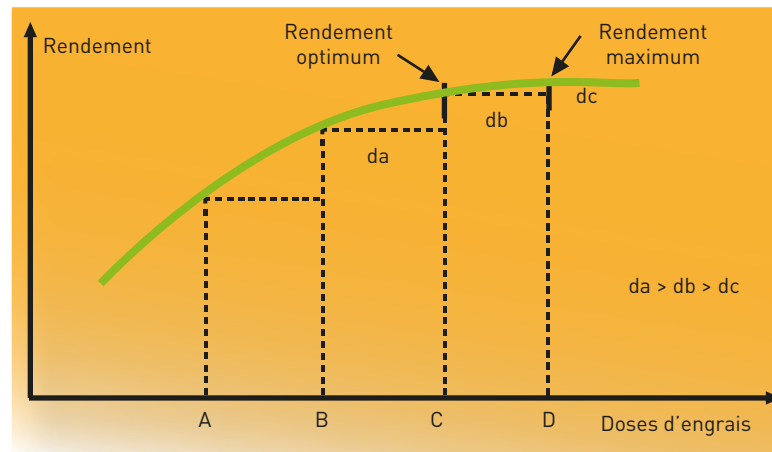
La pratique de la fertilisation raisonnée se base sur l'application de **3 lois générales** :

■ Loi de restitution ou des avances

Cette loi fondamentale intéresse, dans le cadre de la rotation des cultures, l'aspect statique du maintien de la fertilité. Les exportations d'éléments minéraux par les cultures et les pertes hors de la parcelle doivent être compensées par des restitutions pour maintenir la fertilité chimique du sol. Par sécurité, en pratique, à la notion de « restitution », il est préférable de substituer celle d'« avance », en recherchant une alimentation optimale des cultures. Les sols pauvres doivent recevoir une fumure renforcée pour les cultures les plus exigeantes. À l'inverse dans des sols riches, et pour des cultures peu exigeantes, des impasses de fumures PK peuvent être gérées. Cette **règle est insuffisante**, car de nombreux sols souffrent d'une pauvreté naturelle en un ou plusieurs éléments nutritifs, et nécessitent l'apport d'une fumure dite « renforcée », préliminaire indispensable à toute mise en valeur intensive. Il en existe d'autres qui exigent d'être suffisamment enrichis en matière organique ou en calcium pour pouvoir répondre à la définition de sol cultivé. Par ailleurs, le sol est exposé à des **pertes d'éléments fertilisants** par entraînement dans les eaux de drainage et vers la nappe souterraine, par les eaux de ruissellement et par l'érosion. Ces pertes sont très faibles pour P_2O_5 (moins de 1 kg par ha et par an), faible pour K_2O . Mais pour N, SO_3 et MgO , elles peuvent atteindre quelques dizaines de kilos par hectare et par an et même plusieurs centaines pour CaO ! Pour ces raisons, la détermination de la fumure basée uniquement sur la règle des exportations ne saurait convenir. Elle permet toutefois une approche globale qui doit être corrigée en tenant compte de la richesse du sol, des pertes diverses et des besoins « de pointe » au cours du cycle végétatif (exigence des cultures).

■ Loi des accroissements moins que proportionnels (Mitscherlich, 1794-1863)

« Quand on apporte au sol des doses croissantes d'un élément fertilisant, les augmentations de rendement obtenues sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les quantités apportées s'élèvent ». Cette loi se traduit par une courbe dont le sommet représente le rendement maximum possible. Mais, auparavant, on atteint un niveau de rendement où le supplément de récolte obtenu couvre juste la dépense supplémentaire en engrais : le rendement optimum est atteint (voir Figure). Au-delà de la dose d'engrais C, la valeur du supplément de récolte obtenu ne paie pas la **valeur** du supplément d'engrais utilisé (la valeur de « dc » -supplément de récolte- est inférieure à la valeur de la quantité d'engrais supplémentaire « C-D »).



Le **mode d'apport des éléments fertilisants** peut modifier l'allure de la courbe. Ainsi, dans la plupart des cas, l'apport d'azote en deux fois donne de meilleurs résultats que l'apport en une seule fois, à égalité de doses d'emploi, tout en permettant une meilleure protection de l'environnement (moins de lessivage).

■ Loi du minimum ou d'interaction (Liebig, 1803-1873)

« L'importance du rendement d'une récolte est déterminée par l'élément qui se trouve en plus faible quantité par rapport aux besoins de la culture ». Dans un sol déséquilibré en éléments minéraux, le rendement de la culture est donc **limité** au niveau permis par l'élément présent en plus faible quantité, même si tous les autres se trouvent en quantités suffisantes. **L'analyse de sol permet généralement de découvrir ce facteur limitant.** Cette loi met aussi en évidence l'interdépendance entre les différents éléments nutritifs et la nécessité de les positionner à leur optimum au sein du système « sol-plante ». De telles interactions existent entre tous les facteurs de production : N et l'irrigation, N et le désherbage, N et les fongicides, fertilisation et structure du sol. En ce qui concerne les éléments fertilisants, une interaction est également susceptible d'apparaître :

- *dans le sol* : certaines formes d'éléments facilitent la mobilisation d'un autre élément ; ainsi, le sulfate et le nitrate d'ammonium favorisent la solubilisation du P_2O_5 en sols alcalins ;
- *dans la nutrition minérale du végétal* : ainsi, l'absorption d'une partie de l'azote sous forme de NH_4 favorise les prélèvements de P_2O_5 par le végétal.

L'application de ces lois générales et les acquis importants plus récents de la recherche agronomique ont débouché sur l'amélioration des connaissances des cycles biogéochimiques des éléments et sur la mise au point de méthodes opérationnelles de prévisions des fumures.

Ces **prévisions de fertilisation** sont de plus en plus largement appliquées. Obligatoire dans les zones vulnérables dans le cadre de l'application de la directive européenne sur les nitrates, le **calcul prévisionnel des doses d'azote** est un outil indispensable à la bonne gestion de la fertilisation pour concilier au mieux productivité et respect du milieu naturel.

6. EXIGENCES RELATIVES AU SOL DANS LE CADRE DES DÉMARCHES QUALITÉ

Pour toutes les raisons qui ont été évoquées ci-dessus (risques de contamination du sol et des eaux par les intrants, les amendements et les pratiques culturales, risque de pollution des sols...), le producteur a la **responsabilité** d'évaluer au mieux ces risques et s'assurer que les produits récoltés sur ses terres ne peuvent pas porter atteinte à la santé des consommateurs. Il a **l'obligation de vérifier** qu'il pourra, dans les conditions de la culture, respecter les limites de concentrations maximales admises pour chaque contaminant (chimique et biologique).

La réglementation européenne prévoit une **obligation de résultat et non une obligation de moyens**. Il appartient au producteur de procéder selon ses possibilités et ses objectifs de qualité. De plus, la réglementation européenne prévoit le respect de normes de qualité sanitaire et phytosanitaire, mais elle ne s'intéresse pas directement au problème de la conservation des sols et du maintien de leur fertilité. Ces exigences ont été ajoutées dans le cadre des certifications privées.

Pour s'assurer du respect des normes à la récolte, il est **conseillé** que le producteur procède :

- à une **analyse des risques** : identifier les contaminants potentiels, déterminer la probabilité d'une contamination accidentelle, préciser les effets éventuels de cette contamination et, sur cette base, prendre les mesures adéquates pour la maîtriser ;
- à des **(auto)contrôles réguliers** : analyse de sols, analyse des produits récoltés.



Dans le cadre de la certification « Bio » ou « GLOBALG.A.P. », une évaluation des risques sanitaires, mais aussi environnementaux (risque de surexploitation de terres fragiles, risque de dégradation des sols...), devra être effectuée pour tous les nouveaux « sites » agricoles en tenant compte de l'utilisation antérieure des sols (« **historique du site** ») et de toutes les conséquences possibles engendrées par la production sur des cultures limitrophes (« impact des cultures adjacentes », ex. : risque de diffusion des plantes OGM, risque de dérive des produits phytosanitaires...). Des résultats d'analyses du sol, de l'eau et des produits devront être disponibles.

Des exigences environnementales peuvent figurer dans certains référentiels qualité, concernant : la nature et la qualité du sol, la qualité et le niveau des eaux souterraines, l'existence de ressources en eau durables, la qualité des terres pour la production agricole, l'existence de techniques de culture minimisant l'érosion du sol, le semis d'engrais verts, la présence d'arbres et de buissons sur les bords du champ..., toutes les « preuves » que le producteur travaille bien dans le cadre d'une agriculture « durable », respectueuse de l'environnement et de la biodiversité !

7. ANNEXES : TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION (ADAPTÉ D'APRÈS ICRISAT, CENTRE SAHÉLIEN, NIAMEY, NIGER)

A1. Paillage au moyen de tiges de mil

Domaines

Conservation des sols, lutte contre l'érosion, fertilisation organique/cultures pluviales

Objectifs

Protection de la surface du sol contre l'érosion éolienne et/ou hydrique.

Lutte contre l'épuisement des sols par le recyclage des éléments minéraux contenus dans les tiges.

Maintien de la teneur en matière organique du sol.

Description

- L'optimum pour assurer un effet marqué du paillage se situe au niveau de 1,5 à 2 t/ha (c'est-à-dire 2 à 3 tiges/m², ou 150 à 200 g de tige/m²). Ceci correspond à la quantité de paille produite pour un rendement en grains de 400-500 kg/ha (à peu près 25-35 bottes/ha).
- Les tiges doivent être couchées sur le sol le plus tôt possible après la récolte, et les souches de mil laissées en place le plus longtemps possible.
- À la suite de l'égrenage des épis, les rachis peuvent être utilisés pour compléter le paillage.

Performances

- Des accroissements de rendements de 50 % et plus sont fréquemment obtenus en station à l'aide du paillage par rapport à des parcelles non paillées.
- Pour un essai en station, l'accroissement des rendements de mil dû au paillage a été de 90 % en moyenne sur 10 ans à la suite du recyclage de la totalité de la production de paille chaque année.

Domaine d'application

Zone sahélienne, pluviométrie de 300 à 600 mm.

Limites d'application

- L'absence de mécanisme garantissant la propriété des résidus de récolte en saison sèche liée au droit foncier.
- Compétition entre les différents usages des pailles (construction, alimentation du bétail, etc.).
- Pour des doses inférieures à l'optimum (1,5 à 2 t/ha) on doit s'attendre à des effets bénéfiques fortement réduits, surtout du point de vue du contrôle de l'érosion éolienne.

Recommandations

De préférence, le paillage est à combiner avec la fertilisation organique et/ou minérale (3 à 5 t/ha de fumier selon la qualité, ou bien 30 kg/ha d'azote et de phosphore) surtout pour augmenter la production de paille et ainsi satisfaire les besoins alternatifs.

A2. Haies vives défensives

Domaine

Agroforesterie/cultures pluviales ou maraîchères

Objectifs

Protéger les jardins, les vergers ou les champs contre le passage des animaux ou des hommes. Production de sous-produits ligneux et non ligneux.

Description

- Les haies vives sont des formations denses et alignées d'arbustes. Elles sont plantées aux limites des zones cultivées, en bordure de parcelles, de jardins ou de pistes.
- Les haies vives peuvent être mono ou pluri-spécifiques. Pour les haies composées d'une seule espèce d'arbre ou d'arbuste (mono-spécifiques), les espèces suivantes sont recommandées : *Bauhinia rufescens*, *Acacia senegal* ou *Acacia laeta*, *Ziziphus mauritiana*.
- Pour les haies pluri-spécifiques, les combinaisons d'espèces suivantes sont recommandées : *Acacia senegal* et *Acacia laeta*, *Ziziphus mauritiana* et *Bauhinia rufescens*, *Bauhinia rufescens* et *Acacia macrostachya*.
- Les plants sont plantés dans un trou de 0,5 m de profondeur et 0.4 m de diamètre. L'écartement entre les plants est de 0,5 m à 1 m. La plantation est faite lorsque l'hivernage est bien installé.

Performances

- 34 mois après plantation, la hauteur moyenne des plants atteint 165 cm pour *A. senegal*, 230 cm pour *A. nilotica*, 285 cm pour *B. rufescens* et environ 200 cm pour les autres espèces.
- *B. rufescens*, *A. senegal* ou *A. laeta*, et *A. nilotica* ont une bonne production de biomasse. De même, elles forment des haies étanches.

Domaine d'application

Zone sahélienne, pluviométrie moyenne de 400 à 600 mm, sols sablo-limoneux à argileux.

Limites d'application

- Protection durant les deux premières années par une haie morte.
- Utilisation de matériel approprié (sécateur, cisaille) pour la gestion des haies.
- Disponibilité des plants.

Recommandation

Respecter la densité de plantation et entretenir régulièrement la haie.

A3. Billonnage sur sols sableux pour la lutte contre l'érosion éolienne

Domaine

Conservation des sols/cultures pluviales

Objectifs

Diminution du risque d'enfouissement des plants par des dépôts éoliens. Lutte contre la dégradation des sols par érosion éolienne.

Réduction de la compacité du sol pour une meilleure croissance racinaire.

Description

- Doit être effectué le plus rapidement possible après la première pluie supérieure à 15 mm en début d'hivernage.
- La hauteur du billon doit être de 15 à 20 cm, construit de préférence mécaniquement avec une billonneuse, car le billonnage manuel est relativement peu efficace et laborieux.
- Le semis se fait sur le billon.
- Là où l'érosion éolienne domine sur l'érosion hydrique, les billons doivent être orientés nord-sud perpendiculairement aux vents de mousson dominants qui viennent en général de l'est.

Performances

- Pour des années où le semis est suivi de forts vents de sable, la survie des poquets de mil peut être accrue de 15 % en moyenne grâce au billonnage, par rapport au semis traditionnel à plat.
- En présence d'érosion éolienne active, des accroissements de rendement de 60 % ont été obtenus en station (moyenne sur 3 ans).
- Par contre, en l'absence d'érosion éolienne, les rendements en grains de mil en station peuvent être accrus d'environ 10 % en moyenne (moyenne sur 10 ans).

Domaine d'application

Pluviométrie 350-600 mm, sur sols sableux. Au-delà de 600 mm de pluviométrie, l'érosion éolienne devient relativement moins importante par rapport à l'érosion hydrique.

Limites d'application

Il faut disposer d'une unité de culture attelée.

Recommandations

- Si l'érosion éolienne et l'érosion hydrique sont actives sur le même site, l'orientation des billons doit être faite en fonction des courbes de niveau et non pas des vents dominants.
- Fertilisation organique (3-5 t/ha de fumier) et/ou minérale (30 kg de N et de P205 ; voir fiches 1.5, 2.7 ou 2.8) recommandée.

Chapitre 4

Gestion durable de la matière et des déchets organiques

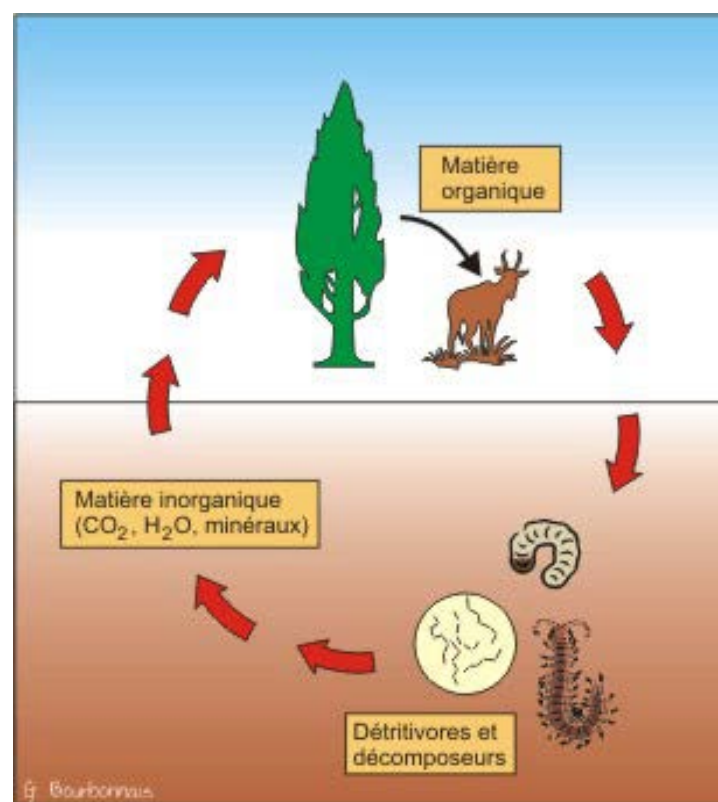
| | |
|--|-----|
| Gestion durable de la matière organique | 124 |
| Les formes de la matière organique et les amendements | 128 |
| La gestion et les risques des fertilisants organiques | 132 |
| Production, utilisation et traitement des déchets organiques | 135 |
| Annexe : Description de la fabrication du compost aérien | 140 |

1. GESTION DURABLE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

1.1. La matière organique du sol

La matière organique (MO) est la **matière carbonée** produite en général par des êtres vivants, végétaux, animaux, ou micro-organismes. Il s'agit par exemple des glucides, protides et lipides.

La **matière organique du sol** provient des substances végétales et animales putréfiées. Elle se forme par l'action de décomposition des micro-organismes (bactéries et champignons), des nématodes, des vers de terre et des insectes. Plus le climat est chaud et sec, plus les termites se substituent aux vers de terre, mais le bilan de leurs activités de creusement de galeries et d'enfouissement des matières organiques est moins bénéfique que celui des vers. La MO est présente dans la couche superficielle du sol et joue un rôle essentiel dans le maintien de sa structure et de l'écologie du milieu.



La matière organique qui retourne au sol est fragmentée par les organismes qui y vivent (on les appelle les détritivores) et finalement minéralisée (transformée en matière inorganique) par les bactéries (qu'on appelle décomposeurs). À la différence de la matière minérale, la matière organique est donc souvent biodégradable (elle peut ainsi être facilement recyclée en compost ou en biogaz).

1.2. Fumures organiques et fertilisants chimiques

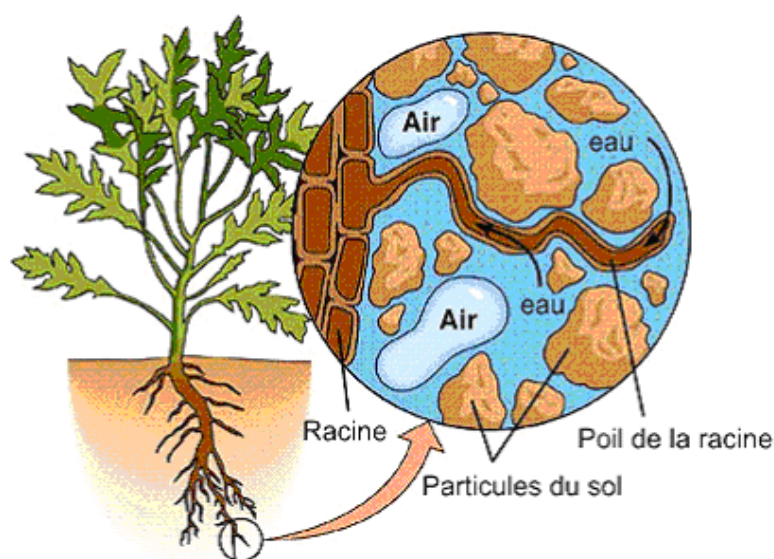
Un sol fertile est constitué d'une partie minérale qui se forme à partir de l'érosion de la roche mère et de la décomposition de la matière organique en minéraux, et d'une partie organique, l'humus du sol, c'est-à-dire la matière organique en décomposition. Un sol fertile peut contenir de **1 à 30 % d'humus**.

Le sol doit contenir des **éléments nutritifs** (minéraux assimilables par les plantes ou **fertilisants**), avoir une texture friable qui facilite la pénétration des racines dans le sol et une structure qui permette des échanges entre l'air, la solution du sol et les radicelles actives (poils absorbants).

Les éléments nutritifs nécessaires à une plante sont répartis en :

- éléments majeurs (besoins élevés) : C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg ;
- éléments mineurs ou oligoéléments (essentiels, mais besoins très faibles; moins de 100 mg par kg de matière végétale sèche) : Fe, Cu, Cl, Mn, Mo, B, Ni, Zn.

En plus d'apporter des éléments nutritifs aux plantes, la matière organique permet au sol d'être **aéré** (et donc de contenir de l'oxygène pour la respiration des parties souterraines des plantes et des organismes vivants du sol).



La matière organique est continuellement recyclée, et la décomposition de la matière organique est la source des principaux éléments fertilisants (N, P, K et autres), même si le sol contient aussi du K et du P provenant de la dissolution par l'eau de composés minéraux de la roche mère. **La fertilité du sol dépend de ce recyclage de la MO.** En agriculture, **le cycle est brisé**, car une partie souvent importante de la MO (végétaux récoltés) est exportée et non restituée au sol.

Comme **le sol s'appauvrit en éléments fertilisants** à chaque récolte, il faut en rajouter au sol pour conserver sa fertilité. Le producteur peut utiliser :

- des fumures organiques
- des engrais chimiques



■ Fumures organiques

Les fumures organiques, ce sont les **déchets végétaux et/ou animaux** que l'on réintègre dans le sol (résidus de culture, pailles, engrais verts, poudre d'os, fumier, compost, écorces d'arbre...). La décomposition de la matière organique fournit des éléments nutritifs aux plantes. Ces éléments sont libérés progressivement au fur et à mesure

que la matière se décompose. Si le fertilisant est riche en matières végétales, ce mode de fertilisation est très bénéfique pour la **qualité des sols** : les fumures organiques servent de nourriture aux organismes animaux du sol et favorisent le maintien des chaînes alimentaires complexes dans le sol. L'humus généré par la transformation de la MO permet au sol de demeurer friable, aéré, de retenir efficacement l'eau entre les pluies, et par conséquent, de limiter le lessivage des engrais et minéraux du sol emportés en profondeur ou vers les cours d'eau par l'eau qui traverse le sol, limitant la pollution des nappes d'eau souterraines et des cours d'eau environnants.

L'humus :

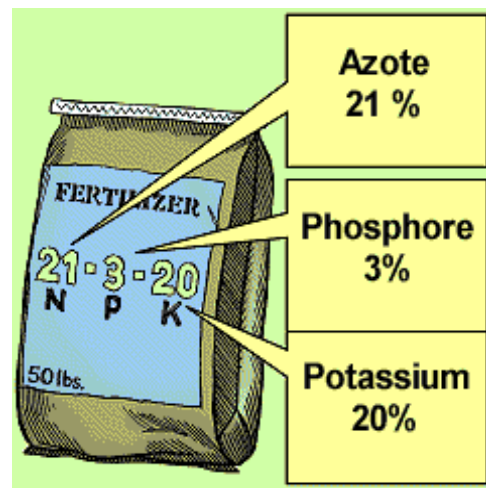
- i
 - permet au sol d'être friable, aéré ;
 - permet au sol de retenir l'eau entre les pluies (100 fois plus que l'argile) sans se compacter ;
 - fournit progressivement des éléments nutritifs aux plantes ;
 - rend le sol favorable aux organismes du sol.

■ Engrais chimiques

Les engrais chimiques sont faits d'éléments minéraux directement assimilables par les plantes. Ils apportent surtout les éléments majeurs essentiels (**azote [N], phosphore [P], potassium [K]**), susceptibles de manquer dans le sol, sous des formes minérales assimilables par les plantes. Mais ils **n'apportent pas d'humus** aux sols, puisqu'ils sont faits de matière inorganique. Ils sont donc peu favorables à la vie des organismes vivants du sol.

Les **engrais chimiques** ont de nombreux avantages pour l'agriculteur :

- i
 - on peut en modifier la composition selon le sol cultivé et les besoins spécifiques des plantes cultivées ;
 - on peut en épandre de grandes quantités. Ils sont appliqués à forte dose quelques fois dans la saison (l'engrais provenant de l'humus est, lui, libéré progressivement) ;
 - ils sont faciles à manipuler et à entreposer.



Leur production est coûteuse en énergie (engrais azotés). Les surplus sont facilement lessivés vers les cours d'eau environnants plutôt que de profiter à la croissance des plantes. **Leur emploi est donc sujet à discussion dans le cadre d'une agriculture durable, et il conviendra d'en prévenir tout usage excédentaire ou non économiquement justifié.**

2. LES FORMES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LES AMENDEMENTS

2.1. Les formes de la matière organique

La forme de la matière organique influence beaucoup sa vitesse de décomposition.

Certaines des molécules, tels les glucides simples, l'amidon, les hémicelluloses, les pectines et les acides aminés, sont aisément dégradables. La cellulose, polymère plus volumineux, est plus résistante. La lignine et les autres polymères aromatiques, extrêmement solides, seront dégradés plus tardivement, plus lentement et incomplètement (conduisant à la formation d'humus). Les éléments N, P et autres, contenus dans la matière organique, sont lentement libérés lors de sa décomposition dans le sol. Les produits organiques sont donc utilisés comme fertilisants.

Les formes de la matière organique les plus utilisées en agriculture sont : le fumier, le compost, le lisier, le purin, les fientes de volailles et le guano, les engrais verts. En plus de ceux-ci, on trouve de très nombreux sous-produits et résidus organiques qui sont produits dans le monde.

Par leur composition, les déchets organiques et sous-produits de la culture constituent un potentiel de matière organique quasi inépuisable pour une valorisation en agriculture.

Ceci est d'autant plus important que les sols des régions intertropicales manquent souvent de matière organique.



Les sous-produits et résidus valorisables sont : d'origine animale (sous-produits de l'industrie laitière, farine de poisson, poudre d'os ou de corne, sang...) ou d'origine végétale (résidus de l'industrie des boissons comme les pulpes, pailles de céréales, fibres textiles naturelles, déchets de fruits et légumes, tourteaux et graines oléagineuses, racines et tubercules, sucres, résidus cellulosiques...) ou encore des déchets municipaux et domestiques. L'état physique (solide, liquide ou pâteux) de ces matériaux ainsi que leur teneur en matière sèche sont importants à connaître. La connaissance de leur **composition chimique** (analyse de la teneur en cendres, carbone, azote et phosphore, ces trois dernières conduisant au calcul des rapports C/N et C/P) et l'assurance de l'**absence de germes pathogènes** sont essentielles avant toute utilisation de ces résidus.

■ Le fumier

Il s'agit d'excréments d'animaux herbivores mélangés avec une litière exclusivement végétale (pailles). Le fumier est utilisé depuis des siècles comme produit pour améliorer la structure et la fertilité du sol. En fait, le fumier ne peut pas être considéré comme un véritable engrais, car il ne contient en moyenne par tonne que 3,5 à 6,5 kg d'azote, 1 à 5,5 kg d'anhydride phosphorique et 5 à 7 kg de potasse. Par contre, il a une valeur irremplaçable comme amendement humique, comme ensemencement microbien et comme générateur d'enzymes. Fumier et engrais ne se remplacent pas, mais se complètent.

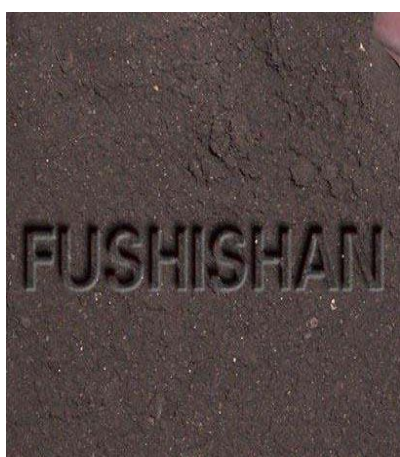
■ Le compost

Le compost est le reste de la décomposition contrôlée de la matière organique. Il peut être utilisé comme engrais. Son usage améliore la structure des sols (apport de matière organique), ainsi que la biodisponibilité en éléments nutritifs (azote). Il augmente également la biodiversité de la pédofaune.

■ Les lisiers et purins

Le lisier est un mélange de déjections d'animaux d'élevage (urines, excrément) et d'eau dans lequel domine l'élément liquide. Il peut également contenir des résidus de litière (paille) en faible quantité. Il est produit principalement par les élevages de porcs, de bovins et de volailles qui n'emploient pas, ou peu, de litière pour l'évacuation des déchets. Le purin est un déchet liquide produit par les élevages d'animaux domestiques. Il est constitué principalement d'urines complétées éventuellement de la phase liquide s'écoulant d'un tas de fumier. C'est un fertilisant azoté à action rapide

■ Les fientes et le guano



Les fientes sont les excréments de volailles. Les fientes de volaille sont riches en sels minéraux.

Le « guano » est le nom donné aux excréments des oiseaux marins et des chauves-souris. Il est récolté sur diverses îles du Pacifique et peut être utilisé en tant qu'engrais, en vertu de sa grande concentration en composés nitrés. Une des qualités de cet engrais provient du mélange entre l'acidité des excréments et le sol calcaire (basique). Cet engrais est accepté dans le cahier des charges de l'agriculture biologique.

■ Les engrais verts

Les engrais verts sont des plants cultivés expressément pour retourner sous terre après le labourage, rendant leurs matières organiques au sol.

2.2. Les amendements du sol

Le rôle des amendements est « d'amender » le sol, c'est-à-dire d'**améliorer sa structure** ainsi que son pH et si possible gommer ses défauts. Le terme « améliorer » est trop restrictif, car l'usage des amendements est aussi d'entretenir le sol et conserver ses qualités. On distingue les différents amendements, organiques et physiques (dont nous donnerons ci-après quelques exemples), des « substrats » organiques (ex. : terreaux) ou minéraux (lave, laine de roche, argile expansée, vermiculite...).

■ Amendements organiques du sol :

| | |
|---|---|
| Fumier séché, avec indication de(s) l'espèce(s) animale(s) dont il provient | Produit obtenu par déshydratation thermique et constitué exclusivement par les excréments solides et liquides d'animaux et éventuellement de la litière |
| Amendement organique mélangé | Produit obtenu par le mélange de deux ou plusieurs produits admis ou tourbe mixte, litière de feuillus et de résineux, fibres végétales (fibres de bois, fibres de lin, dérivés de coco, paille de riz...), copeaux de bois durs, fibres de bois extrudées, écorces, sable, limon, argile, lave et engrais à base de calcium et/ou de magnésium |
| Pulpes de raisins séchées | Produit constitué par les résidus séchés provenant du pressage de raisins |
| Algues organiques séchées | Produit obtenu par la déshydratation et la mouture d'algues |
| Compost d'écorces de bois feuillus | Produit obtenu par le compostage d'écorces de bois feuillus |
| Compost de champignonnières | Produit constitué par le milieu de culture organique qui résulte de la culture de champignons. La dénomination peut être accompagnée par l'indication « séché » lorsque le produit a été déshydraté |
| Terre de tourbières | Produit provenant en majeure partie de matières végétales formées en milieu aquatique. La tourbe est le produit de la fossilisation de débris végétaux dans des milieux humides anaérobies. La tourbe est utilisée pour sa forte rétention en eau, ce qui convient particulièrement bien aux semis. |
| Litière de tourbe | Produit provenant de terre de tourbières de sphaignes peu décomposée et formée dans un milieu pauvre en substances nutritives |
| Tourbe horticole | Produit provenant de tourbières fortement décomposées, formées dans un milieu pauvre en substances nutritives |
| Compost d'écorces d'arbres résineux | Produit obtenu à partir d'écorces d'arbres résineux, enrichies en éléments fertilisants adéquats et compostées dans des conditions telles que les résines phytotoxiques sont décomposées |
| Lombricompost | Le lombricompost est un produit obtenu à partir de déjections de vers de terre par l'action de décomposition de fumier. Il est avant tout utilisé pour sa haute teneur en micro-organismes bénéfiques pour le sol et la plante. |

■ Amendements physiques du sol :

| | |
|---|--|
| Amendement organique de synthèse sous forme de mousse | Produit provenant de la combinaison avec insufflation d'air sous pression d'une résine urée-formol et d'un produit moussant |
| Perlite expansée | Produit minéral provenant de l'expansion à haute température de roches volcaniques broyées |
| Colloïde silicique | Produit provenant de la transformation sous forme de gel ou de sol de la fonte de sable et de soude Lorsqu'il se présente sous forme de gel, il peut être enrichi par maximum 4 % d'azote |

3. LA GESTION ET LES RISQUES DES FERTILISANTS ORGANIQUES

3.1. La gestion de la matière organique

Bien que les rendements des cultures ne soient pas directement liés aux taux de matière organique du sol, en dessous d'un seuil, la structure du sol s'effondre, le ruissellement et l'érosion s'accroissent, l'enracinement est moins efficace, car le sol se tasse et les nutriments sont moins accessibles. Un sol dégradé rentabilise moins bien les engrais, car l'eau est moins disponible dans un sol compact. Même des apports minéraux massifs, ne permettent plus de résoudre tous les problèmes de fertilité du sol et d'augmenter les rendements. Le maintien de la matière organique est donc un enjeu capital pour le producteur.

L'érosion, le drainage, le mauvais travail du sol et l'apport d'engrais azotés (risques d'acidification par l'azote et les autres engrais acides, sulfates et chlorures), **accélèrent la minéralisation** rapide des matières organiques et l'épuisement du stock dans le sol.

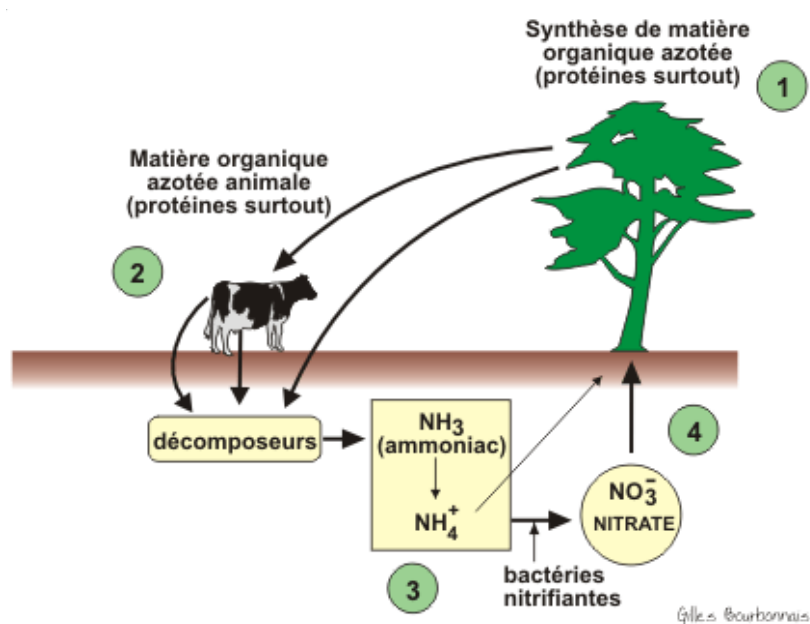
Par contre, la rotation des cultures, la fumure minérale complète, le travail du sol laissant une surface rugueuse, le travail minimum du sol combiné à une litière de résidus sur le champ, la mise en place de jachères, **retardent l'épuisement** des matières organiques du sol. On ignore souvent l'importance de la masse des résidus de culture, de racines et surtout d'adventices que l'on peut enfouir lors des labours et sarclages. C'est pourtant une filière courte (1 à 3 mois) qui permet un recyclage rapide des nutriments contenus dans la biomasse. De même pour le paillage épais (7 à 10 cm, ou 20 à 25 tonnes de paille par hectare) qui est en plus une méthode très efficace pour réduire l'évaporation, la croissance des adventices, maintenir l'humidité du sol en saison sèche et arrêter l'érosion. Ces enfouissements répétés dans l'année de matières organiques fraîches, permettent de maintenir un certain niveau de carbone organique dans le sol, mais leur action sur la fertilité du sol et sur sa résistance à l'érosion, est limitée. Il faut des apports considérables de matières organiques évoluées pour arriver à augmenter de 1 % le taux de carbone sur 10 cm de sol !

3.2. Les risques liés à l'environnement

L'utilisation des fertilisants et des déchets organiques présente aussi des risques pour l'environnement. Le **pouvoir épurateur des sols** varie selon la composition du sol, les conditions climatiques, les cultures, la période de l'année, etc.

Certains fertilisants organiques (lisiers, purins...) peuvent ainsi causer des dommages environnementaux. **Les principales limites à leur épandage tiennent à la charge en azote et en phosphate.** Dans le sol, des bactéries transforment l'ammoniac en nitrite NO_2^- , puis en nitrates NO_3^- , au cours du processus de nitrification. Les végétaux absorbent, grâce à leurs racines, les ions **nitrate** NO_3^- . Sous forme de nitrates ou d'ammoniaque (NH_4OH), l'azote est très soluble dans l'eau et très mobile dans les écosystèmes.

Le ruissellement, l'érosion et les pluies tendent à amener les nitrates non prélevés par la biomasse terrestre (et donc absorbés par les végétaux) vers les lacs, rivières, océans et les nappes souterraines. Dans les régions agricoles, on peut donc trouver de fortes concentrations de nitrates dans l'eau des puits. L'ampleur de la contamination des eaux et sa rapidité dépendent à la fois du type de sol et de la profondeur de la source d'eau. Le lessivage des nitrates se produit plus facilement dans les sols sablonneux légers que dans les sols argileux.



Pour lutter contre la pollution de l'eau (eau non potable à cause des nitrates, marées vertes, etc.), l'objectif est de ne pas dépasser 170 kg d'azote et 80 kg de phosphore par hectare. Les lisiers sont d'excellents fertilisants (très riches en azote), mais ils contiennent peu de matière végétale. Ils ne reconstituent donc pas l'humus du sol. Puisqu'ils sont liquides, on peut en épandre de grandes quantités. Cependant, surtout si le sol est pauvre en humus, **ils peuvent facilement être lessivés vers les nappes phréatiques** (nappes d'eau souterraines) ou **vers les cours d'eau environnants**. Un épandage excessif de lisier peut ainsi polluer les cours d'eau environnants ou les eaux souterraines. Excepté pour le fumier des bovins, **le phosphore limite plus encore que l'azote** les possibilités d'épandage des déchets provenant des élevages. Du fait de la richesse en phosphate des lisiers de porc et des fientes de volailles, la quantité maximum d'azote par hectare ne doit être que de 120 kg et 75 kg respectivement, si l'on ne veut pas dépasser les limites préconisées pour le phosphore.

Les nitrates et surtout les phosphates sont le **principal facteur d'eutrophisation** des eaux douces. Lorsque les phosphates et les nitrates sont introduits en abondance dans l'eau de surface, ils entraînent une prolifération phytoplanctonique si importante, que la lumière ne peut plus passer. Les végétaux aquatiques ne peuvent donc plus se développer correctement, (car il n'y a plus de photosynthèse) au profit d'**algues** microscopiques : les cyanobactéries.



3.3. Les risques liés à la santé

L'utilisation des déchets organiques **présente potentiellement des risques** pour la santé, dont l'importance doit être évaluée au cas par cas. En effet, ils peuvent contenir des produits chimiques (métaux lourds et molécules organiques) et des agents potentiellement pathogènes pour l'homme, les animaux et les plantes. Le lisier est potentiellement plus riche en **agents pathogènes** pour les animaux et les boues d'épuration en agents pathogènes pour l'homme.

Pour cette raison, **certains usages sont interdits** (ex. : utilisation pour l'alimentation animale des produits extraits des boues d'épuration ; épandage de produits d'origine animale sur les prairies pour éviter la transmission des prions d'ESB (agent de la « vache folle ») ; épandage des gadoues de fosses septiques)... ou nécessitent un traitement et un contrôle préalables à leur emploi. En l'absence de traitement spécifique, les boues d'épuration et le lisier peuvent dégager des odeurs nauséabondes.

La présence de nitrates au-dessus des limites admissibles, dans l'eau de boisson (50 mg/l) ou dans les légumes (surtout les « légumes feuilles »), présente également un **risque pour le consommateur**.

En ce qui concerne les problèmes de santé pouvant être associés à l'ingestion de nitrates, les avis sont encore partagés. Dans l'estomac, les nitrates, sous l'action des bactéries, se transforment en nitrites ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$) qui sont plus toxiques : liaison des nitrites avec les amines chez l'adulte pour former les **nitrosamines** (suspectés cancérigènes). Chez les nourrissons, les nitrites oxydent l'hémoglobine du sang qui ne peut plus fixer l'oxygène, ce qui perturbe la respiration cellulaire. Les symptômes du « syndrome du bébé bleu » sont notamment la cyanose (décoloration bleutée de la peau et de la bouche), la difficulté de respirer et la fatigue.

4. PRODUCTION, UTILISATION ET TRAITEMENT DES DÉCHETS ORGANIQUES

4.1. Traitement et valorisation des déchets organiques

Le concept de déchet, lié à l'activité humaine, est largement subjectif. On peut considérer comme déchet « *tout résidu du processus de production (ex. : pailles), de transformation ou d'utilisation (ex. : collets, feuilles, couronnes, écorces...), toute substance, matériau, produit non directement valorisable* ». Les déchets organiques sont, dans le cycle de la matière organique, la part ne présentant pas d'intérêt immédiat pour l'homme.

Les « déchets organiques » vont être dégradés dans le sol, jusqu'à redevenir du gaz carbonique et de l'eau. Les éléments fertilisants qu'ils contiennent reprendront une forme minérale, assimilable par les plantes, et l'énergie solaire stockée dans les molécules organiques sera libérée sous forme de chaleur.



En fonction du contexte économique local, le processus de dégradation peut être orienté afin de privilégier :

- La production d'énergie : **incinération** des déchets, production de biogaz (couplée à la production de compost).
- La libération rapide des éléments fertilisants par **épandage sur les champs** (fumier, lisier, boues d'épuration). Les déchets organiques se substituent alors à l'engrais.
- La **production de compost** à partir de déchets comme succédané de la tourbe ou du fumier pour améliorer la qualité des sols.

La meilleure forme de valorisation de la MO est la **fabrication de substrats** par le producteur pour les besoins de son exploitation. On utilisera des techniques rustiques, bon marché et relativement faciles à mettre en œuvre, comme le compostage par exemple.

Les quantités à produire dépendent essentiellement de la dimension de l'exploitation. En première estimation, on peut évaluer les besoins d'une exploitation à environ 1 m³ de sous-produits organiques à traiter par jour pour 1 ha.

4.2. Le compostage

Le compostage est une opération qui consiste à faire fermenter, dans des conditions contrôlées, des déchets organiques en présence de l'oxygène de l'air. Le compostage peut donc être défini comme un **procédé biologique contrôlé de conversion** et de valorisation des substrats organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique...) en un **produit stabilisé, hygiénique**, semblable à un terreau et riche en composés humiques.

Le compostage est une filière assez longue pour transformer la biomasse (6 à 18 mois) et dont les rendements sont aussi faibles que pour le fumier. C'est pourtant une pratique valable pour ceux qui ne possèdent pas d'élevage ou qui disposent de grandes quantités de déchets à traiter.



Deux phénomènes se succèdent dans un processus de compostage :

- *Première étape* : par une fermentation aérobie intense avec une décomposition de la matière organique fraîche à haute température (50-70 °C) sous l'action de **bactéries**, les résidus organiques sont amenés à l'état de compost frais ;
- *Deuxième étape* : par une fermentation moins soutenue, le compost frais va se transformer en un compost mûr, riche en humus. Ce phénomène de maturation, qui se passe à température plus basse (35-45 °C), conduit à la biosynthèse de composés humiques par des **champignons**.

i

La progression du matériel de départ vers le stade final, l'humus, dépend d'un grand nombre de facteurs externes comme la dimension des particules, la nature des nutriments, leur structure, le taux d'humidité, l'aération, le pH... D'autre part, en se multipliant, les micro-organismes changent constamment leur environnement et le rendent souvent impropre à leur développement.

■ Évolution de la fermentation

L'évolution de la température durant le processus de fermentation s'effectue en **trois phases** :

1. La température monte rapidement à 40-45 °C suite à la respiration des micro-organismes mésophiles aérobies. Les composés les plus fermentescibles, tels les sucres et l'amidon, sont d'abord consommés. **L'aération est essentielle**, puisque le compostage est d'abord un processus aérobie. On estime que l'air devrait occuper au moins 50 % du volume du tas.
2. La respiration élève alors progressivement la température jusqu'à 60-70 °C conduisant au remplacement des micro-organismes mésophiles par des thermophiles et des thermo-tolérants. Grâce à la fermentation à haute température, les pathogènes, parasites et semences de mauvaises herbes sont détruits. Par leur respiration les micro-organismes dégagent une chaleur telle que les températures atteintes (80 °C, voire plus de 90 °C) peuvent devenir létales pour les microbes. On doit veiller à ne pas dépasser une température de 70 °C !

3. Par leur respiration, les micro-organismes vont ensuite épuiser l'oxygène de la masse en compostage et rendre le milieu anaérobie. Des germes anaérobies se développent alors, conduisant à un abaissement de la température, car leur métabolisme est moins thermogène. Ils sont de plus responsables de la libération de composés volatils nauséabonds (méthane, ammoniac, hydrogène sulfuré...).

Dès que la température n'augmente plus après aération du tas, on peut considérer que la fermentation est terminée. À ce moment commence la **maturation du compost** : la quantité de matière facilement utilisable par la microflore se raréfie et la biosynthèse de composés humiques devient prédominante. On assiste au développement de nouvelles espèces de microorganismes au fur et à mesure que la température décroît, pour se stabiliser au niveau de la température ambiante (période de mûrissement). La phase de maturation se déroule habituellement à l'air libre en tas de grande dimension.

■ Conditions de production du compost

Le compostage est réalisé par des micro-organismes. La vitesse et l'efficacité du compostage sont donc liées à la présence d'une population microbienne adéquate et suffisante. Si la présence de ces milliards de bactéries et champignons est indispensable, leur ensemencement (« activateurs » ou « stimulateurs » de compostage) semble peu, voire pas utile. Les spores de ces microorganismes existent en effet en quantités suffisantes dans la nature et il est beaucoup **plus important de veiller à créer un milieu (humidité, aération, pH, C/N, C/P...) favorable à leur développement.**

Comme pour un substrat de culture, l'aération et l'humidité du compost sont liées : un excès d'eau diminue la quantité d'air disponible dans le volume de compost. Un système d'aération plus efficace sera alors nécessaire. Une réduction de la taille des particules (broyage) permet d'augmenter la surface de contact entre les déchets et la microflore et entraîne donc un accroissement du taux de décomposition, mais aussi une circulation d'air plus faible (risque d'anaérobiose).

La chaleur libérée par la fermentation provoque l'évaporation d'une grande quantité d'eau. On **arrosera la masse** en fermentation si nécessaire de manière à **maintenir un taux d'humidité de 50 à 70 %** de la masse fraîche (c'est-à-dire l'équivalent de la capacité au champ pour un sol). D'autre part, on veillera à la protéger des pluies battantes (surtout en régions tropicales) et de l'évaporation excessive par le soleil. Une **toiture** sera alors la bienvenue.

Le pH s'abaisse pendant les premiers jours et remonte ensuite pour devenir neutre ou légèrement alcalin. Certains recommandent cependant l'adjonction de calcaires ou dolomie broyée, marne, craie phosphatée...

4.3. Principales techniques de compostage

Il existe de nombreuses méthodes de compostage (en fonction de la conduite de la phase de fermentation active), qui vont du compostage en fosse, en tas au compostage plus sophistiqué en silos, en tours ou « digesteurs ». Les investissements en matériel sont réduits : achat d'un broyeur si les matériaux bruts le nécessitent, construction d'un abri pour la fermentation, fabrication d'un tamis, une fourche et une brouette...

L'installation de l'aire de compostage se fera à proximité d'un point d'eau, par exemple à côté de la pépinière. La plantation de haies brise-vent sera souvent la bienvenue et pourra également apporter, lors de son entretien, des matériaux à composter (bambous, albizzia, eucalyptus...).

■ Compostage à l'air libre

Il faut construire un auvent au-dessus des composts en fermentation afin de les protéger des pluies excessives ou de la dessiccation par le vent et le soleil.

■ Compostage en fosse

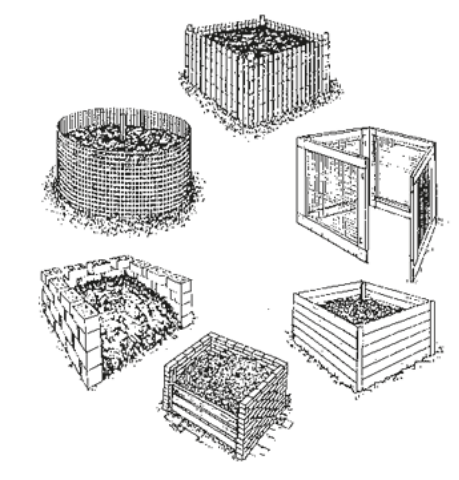
C'est la méthode de compostage la pratique et la plus anciennement employée, mais elle conduit rapidement à des conditions anaérobies. La fosse est creusée dans un endroit abrité et bien isolé. Les déchets organiques y sont disposés en couches d'une vingtaine de cm d'épaisseur, en alternant les produits. Ils sont ensuite recouverts d'une épaisse couche de paille (isolation) puis d'une couche de terre d'environ 10 cm d'épaisseur. Cette méthode est très lente et partiellement anaérobie, car aucun apport ultérieur d'eau ou d'air n'est effectué. Elle est réservée aux climats secs (réduction des pertes en eau).

Pour que le mélange fermente avec moins de perte, on préconise des petites fosses (4 x 2 m) plantées d'arbres qui fournissent l'ombrage, une ambiance fraîche et humide, de la biomasse riche en minéraux et dont les racines récupèrent les solutions lessivées du tas de compost par les eaux de drainage.

■ Compostage en tas

C'est la méthode de compostage la plus commune. Les déchets sont rassemblés en andains de longueur indéfinie et dont la hauteur dépend à la fois de la porosité y à l'air du compost ainsi que de la fréquence et de la méthode d'aération choisie (une fréquence élevée et/ou une aération par ventilation forcée autorisent des tas plus importants). Les andains peuvent être compris entre deux murets latéraux (compostage « en couloir »).

■ Compostage en bacs



Les déchets sont rassemblés en bacs aérés (pour produire de petites quantités de compost).

4.4. Test de maturation du compost avant utilisation

La méthode la plus simple et la plus fiable est de semer des plantes test. Les plus couramment utilisées sont le cresson alénois (*Lepidium sativum*) et la laitue (*Lactuca sativa*). Des graines de la plante test sont semées sur le compost humidifié en bocal hermétiquement fermé. Après 3 jours, la maturité est évaluée d'après le pourcentage de germination et, éventuellement, la quantité de matière verte obtenue.

5. ANNEXE : DESCRIPTION DE LA FABRICATION DU COMPOST AÉRIEN (Adapté d'après ATTIKOU, A., 1998 - Fabrication du compost aérien, Niamey, Institut national de recherche agronomique du Niger)

Domaine

Fertilisation organique/cultures pluviales ou maraîchères

Objectif

Production de fumure organique à faible coût à l'aide de matières d'origine végétale et animale disponibles localement.

Description

Le compost est défini comme un mélange de matière d'origine végétale et animale, mis en fermentation lente. Les micro-organismes sont responsables de la décomposition des substances mises en fermentation. Au bout de 3 mois on obtient un produit noirâtre riche en N, P, K et oligo-éléments. Il existe deux types de compost :

- le compost « anaérobique », où on creuse une fosse (fosse fumièrè). Cette pratique demande plus d'effort physique ;
- le compost « aérien » où le compost est fabriqué directement sur le sol sans fosse. La pratique est simple, elle est la plus conseillée et son mode de fabrication est présenté ci-dessous.

Intrants

Le compost est fabriqué à partir des matériaux organiques disponibles. Par exemple, utiliser la paille ou balles de riz, les tiges et glumes de mil ou sorgho et le fumier de vaches ou ovins. Dans les régions arachidières, les coques d'arachide sont bien indiquées. A chaque région correspond donc une gamme de matériaux organiques (2 à 3) pour fabriquer le compost. Les matériaux organiques (glumes, tiges, paille, fumier, balles de riz, coques d'arachide) doivent être transportés au lieu de la fabrication du compost et mis en tas. Les matériaux tels que les tiges, la paille, doivent être hachés en petits morceaux de 5 à 10 cm. La jacinthe d'eau, lorsqu'elle est utilisée, sera apportée la veille de la fabrication du compost dans le but de l'utiliser à l'état frais.

Lieu et temps de fabrication

Le compost est fabriqué à l'ombre d'un arbre et on le protège au moyen de vieilles nattes. Le compost doit être mûr à la période de semis ou plantation, cela implique que la fabrication doit débuter 3 à 4 mois avant le semis.

Domaine d'application

Le compost est indiqué principalement pour les zones à pluviométrie supérieure à 500 mm, mais le compost est surtout préconisé là où il y a une bonne disponibilité en eau, par exemple de l'eau de surface (fleuve, mare) ou une nappe phréatique, et où d'autres sources de fumure organique ne sont pas disponibles.

Limites d'application

- Disponibilité de l'eau.
- Disponibilité du fumier en quantité suffisante au village.
- Disponibilité d'un moyen de transport des matériaux de compostage vers le lieu de fabrication et du compost aux champs.

Chapitre 5

La gestion durable des eaux

| | |
|--|-----|
| Ressources en eau et préservation des écosystèmes | 144 |
| Les risques de contamination des eaux..... | 150 |
| Prévention des pollutions ponctuelles ou accidentelles | 158 |
| Les zones tampons, les aménagements et la réduction de la dérive | 162 |
| Lavages post-récolte et contamination des eaux | 167 |
| Normes réglementaires et qualité des eaux..... | 168 |
| Économiser l'eau..... | 171 |

1. RESSOURCES EN EAU ET PRÉSERVATION DES ÉCOSYSTÈMES

1.1. La ressource en eau

L'eau est une ressource naturelle unique et limitée. L'eau est constamment purifiée dans le cycle hydrologique, mais la quantité totale d'eau présente sur notre planète est invariable. Des quantités d'eau considérables sont utilisées pour l'agriculture, mais jusqu'à 60 % de l'eau utilisée pour l'irrigation est gaspillée. Par ailleurs, la pollution des cours d'eau et des lacs diminue aussi la valeur des ressources en eau. L'eau est déjà une ressource rare dans de nombreuses régions du monde, en quantité et en qualité (d'après l'OMS, 4 millions d'enfants meurent chaque année de diarrhées causées par des infections d'origine hydrique).

La conservation et la protection des eaux sont des enjeux dans le cadre d'un développement durable. Certains polluants chimiques ont été jugés particulièrement préoccupants pour les eaux de surface, en raison de leur emploi généralisé et de leurs concentrations élevées dans les cours d'eau, les lacs et les eaux côtières. Le Programme Action 21 de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED, Rio 1992) consacre un chapitre spécial à la protection et à la gestion des ressources en eau. En Europe, une directive-cadre sur l'eau (DCE) a été adoptée en 2000 (Dir. 2000/60/CE établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, JOCE, L 327 du 22 décembre 2000).



La **Directive-cadre sur l'eau** (DCE) met en place une réglementation pour la prévention et la réduction de la pollution chimique des eaux de surface et des eaux souterraines. Elle prévoit la mise en place de **mesures de prévention**, de réduction des émissions et de contrôle des processus de production pour limiter l'apport des substances chimiques dans les eaux et le respect des « **normes de qualité environnementale (NQE)** ».

Les ressources en eau disponibles localement pour le producteur dépendent avant tout de la pluie (quantité et répartition) et des apports occultes (rosée, brume : quelques dizaines à 150 mm par an). Les précipitations atmosphériques constituent le principal apport d'eau et le régime climatique détermine donc pour une bonne part les potentialités agricoles qui sont très variables dans l'espace en fonction de l'altitude, de la distance à la mer voire de l'orientation des versants par rapport aux vents humides qui apportent la pluie. Les **quantités** d'eau et leur **qualité** (ex. : **salinité**) sont, pour beaucoup de producteurs, des facteurs limitants.

Le sol intercepte l'eau de pluie et la stocke temporairement, bien que la perméabilité du sol et sa capacité de stockage aient des limites selon sa structure et sa composition. L'eau accumulée dans le sol peut repartir vers l'atmosphère sous forme gazeuse, par évaporation ou par la transpiration des végétaux (évapotranspiration souvent supérieure à 50 % des précipitations, selon les climats).

L'eau liquide excédentaire peut être évacuée par différentes voies :

- Si l'intensité de la pluie excède la capacité d'infiltration de la surface du sol, ou que par saturation du sol l'eau de pluie atteignant une zone saturée ne peut s'infiltrer, l'eau excédentaire ruisselle vers l'aval (**ruissellement**, favorisé sur

sol nu ou peu couvert ou présentant une infiltrabilité limitée). La perméabilité de la surface du sol dépend avant tout de la structure de la couche superficielle et de la stabilité de cette structure sous l'effet agressif des gouttes de pluie. La stabilité structurale dépend de la texture du sol, de l'humus, de certains cations (ex. : calcium) qui ont un effet stabilisant, du travail du sol et du couvert végétal qui protège la surface du sol et améliore la perméabilité grâce aux racines.

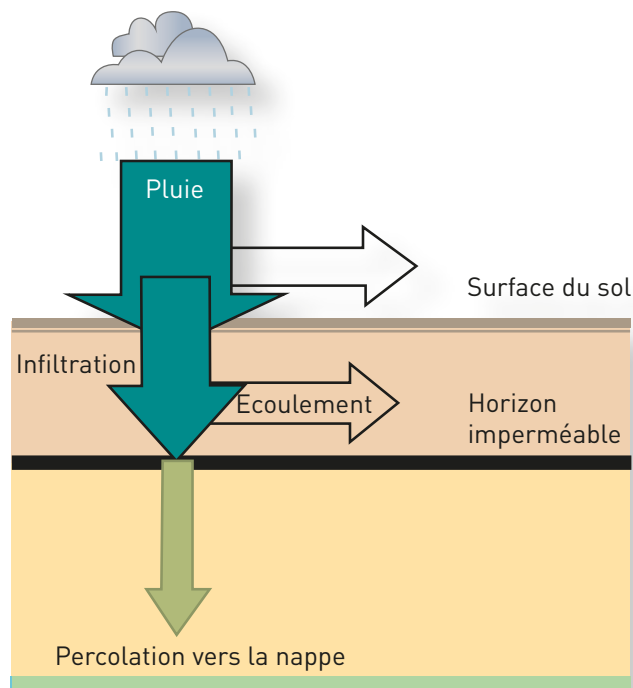


Schéma de la circulation de l'eau en surface et dans le sol (B. Schiffers)

- Si le volume d'eau infiltrée excède les capacités de stockage du sol et que le sous-sol est perméable, cette eau excédentaire s'infiltré verticalement en profondeur (**infiltration**). L'infiltration désigne la pénétration de l'eau dans les couches superficielles du sol et l'écoulement vertical de cette eau dans le sol et le sous-sol. La **percolation** représente le mouvement vertical profond dans le sol, en direction de la **nappe phréatique**. L'infiltration est nécessaire pour renouveler le stock d'eau du sol, alimenter les eaux souterraines et reconstituer les réserves des aquifères.
- Si le sous-sol est imperméable (ex. : semelle de labour), ou insuffisamment perméable à plus ou moins faible profondeur, l'eau s'écoule latéralement (écoulement « hypodermique »).

On distingue donc **trois types d'eaux**, d'origines et de propriétés différentes, **susceptibles d'être polluées** à la suite des pratiques agricoles :

- les **eaux de pluie** susceptibles d'être polluées par la dispersion dans l'air des produits appliqués sur le sol ou sur la végétation ;
- les **eaux superficielles** (ruisseaux, rivières, canaux de drainage, mares, étangs, fossés...) susceptibles d'être polluées accidentellement ou d'une manière diffuse (eaux douces et eaux marines du littoral) ;
- les **eaux profondes** (nappes) susceptibles d'être polluées par infiltration et percolation.

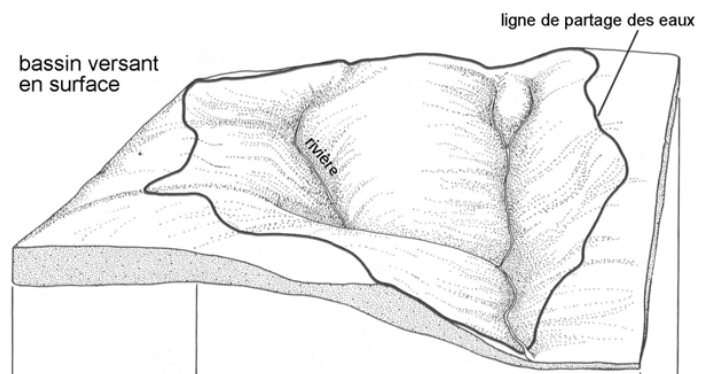
Il faut remarquer que des interrelations et des contaminations sont possibles entre ces « types d'eau », par exemple, entre une rivière et une nappe phréatique.

1.2. L'organisation du ruissellement

L'excès d'eau, qui ne peut s'infiltrer, forme le ruissellement et s'écoule tout d'abord d'une manière diffuse dans la parcelle suivant la pente. Le ruissellement superficiel s'organise progressivement en filets, se concentre en s'organisant en un chevelu plus ou moins dense pour rejoindre plus ou moins rapidement la rivière. Peut s'y ajouter **le ruissellement hypodermique** (sous la surface du sol), plus lent.

La surface du territoire où toute l'eau qui s'écoule se rassemble en un point constitue un **bassin versant**. C'est la topographie qui règle normalement la concentration progressive de la circulation de l'eau, mais les pratiques agricoles peuvent la perturber.

Le bassin versant est défini comme l'étendue drainée par un cours d'eau et ses affluents et limitée par une ligne de partage des eaux (ou ligne de crête). Il correspond donc **au territoire alimentant un cours d'eau** : toute goutte d'eau de pluie qui y tombe est susceptible (à moins qu'elle ne soit utilisée en chemin par les plantes, par exemple) de s'écouler par gravité dans la rivière (en y entraînant éventuellement des substances polluantes).



Les mauvaises pratiques d'**un seul producteur** (ex. : vidange d'un fond de cuve dans un fossé) risquent donc de polluer toute la masse d'eau issue d'un bassin versant ou toute la nappe située sous ce bassin ! L'amélioration et la préservation de la qualité globale des eaux dans une zone de production nécessitent par conséquent une approche intégrée et des efforts concertés de l'ensemble des exploitants présents dans un bassin versant.

Les espaces non cultivés qui entourent les parcelles agricoles et les différents **aménagements** présents dans l'espace rural jouent un rôle direct ou indirect sur le ruissellement émis par les parcelles agricoles :

- en le concentrant ou en le dispersant ;
- en l'accéléralant ou en le ralentissant ;
- en le réduisant, et parfois en favorisant l'infiltration.

Ainsi, les zones enherbées et les haies jouent un rôle de dispersion, d'interception, de ralentissement et de réduction du ruissellement.

1.3. Les écosystèmes aquatiques

Les différents milieux aquatiques (lacs, étangs, marigots, mares, fleuves...) sont caractérisés par un certain nombre de paramètres :

- physiques : lumière, température, profondeur, courant ;
- chimiques : substances minérales (nitrates, phosphates, carbonates...), organiques ou gazeuses (oxygène, gaz carbonique) dissoutes. En particulier, le taux d'oxygène dissous joue un rôle fondamental sur la structure et le fonctionnement de l'écosystème.

L'amplitude des variations de ces paramètres physiques et chimiques du milieu va caractériser ce **biotope** et permettre la présence d'un ensemble d'êtres vivants (la **biocénose**) adaptés à ces conditions écologiques.

C'est l'association à un biotope donné d'une biocénose donnée qui constitue ce que l'on appelle **un écosystème** : unité structurale et fonctionnelle des milieux.



Les systèmes biologiques aquatiques sont constitués de multiples acteurs vivants (bactéries, plantes, micro-crustacés, algues, poissons, batraciens...) qui tissent entre eux de nombreuses relations (prédation, compétition, coopération) et qui apportent au milieu sa « robustesse biologique ». C'est cette complexité qui permet au milieu de **résister**, dans une certaine mesure, aux multiples agressions dont il est la victime. Mais cet équilibre peut être fragile : une modification des conditions physico-chimiques (diminution du taux d'oxygène dissous, augmentation du taux de nitrates, introduction d'agents polluants comme les pesticides...) entraîne des modifications de la structure de la biocénose et une perturbation importante de l'écosystème. Beaucoup de pesticides et de biocides sont toxiques pour la faune aquatique (crustacés et poissons). Les nitrates et les phosphates provoquent le développement incontrôlable d'algues.

1.4. Effets des polluants sur les écosystèmes aquatiques

Bon nombre de polluants sont susceptibles de compromettre la qualité des cours d'eau, lacs, eaux côtières et eaux marines. La **pollution aquatique** peut être causée par les **matières organiques**, les **éléments nutritifs** et toute une série de **substances chimiques** qui sont produites soit de manière intentionnelle aux fins d'être utilisées (comme les pesticides), soit de manière non intentionnelle dans les processus productifs (comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) issus de la combustion).

Plusieurs milliers de substances identifiables sont présentes dans les masses d'eau douce et bon nombre d'entre elles sont, à terme, rejetées dans les eaux marines.

L'introduction de substances chimiques (nitrates, pesticides, hydrocarbures) ou d'organismes vivants (bactéries) dans un écosystème peut entraîner sa transformation, sa déstructuration, voire sa disparition.



Les agents polluants ayant une action biocide comme les pesticides, une fois pénétrés dans l'organisme, vont entraîner soit des modifications biochimiques au niveau cellulaire, soit des modifications comportementales. Les altérations des performances individuelles

- mortalité, succès de reproduction, vitesse de croissance, durée du développement...
- pourront avoir un impact direct sur la population : abondance (jusqu'à sa disparition), structure d'âge (différence de sensibilité entre les jeunes et les adultes), répartition et distribution dans le milieu.

Mais les agents polluants n'agissent pas seulement sur des individus isolés ou la population d'une seule espèce, mais au contraire **sur un ensemble de populations** de diverses espèces, des peuplements et en définitive sur des biocénoses entières. En effet, la modification d'une population aura un effet direct sur les populations des espèces ayant un lien direct avec celle-ci (proie, prédateur, parasite, compétiteur...). Une modification de l'équilibre et de la dynamique des populations concernées s'ensuivra. Les nouveaux équilibres se mettant en place, la structure même et la dynamique des biocénoses en seront affectées : richesse spécifique, dominance, diversité, biomasse... La structure en étant modifiée, il est évident que le fonctionnement de l'écosystème risque d'en être perturbé : production primaire (production de biomasse végétale), production secondaire (production de biomasse animale), cycle de la matière (décomposition de la matière organique morte et vitesse de recyclage des éléments minéraux).

Cas du lac Naivasha et des fermes de roses, au Kenya

La pollution chimique des eaux de surface peut perturber gravement les écosystèmes aquatiques, entraîner la disparition d'habitats et d'espèces, et conduire à l'accumulation de contaminants chimiques dans la chaîne alimentaire.



Le lac Naivasha (au Kenya), d'une superficie de 170 km², abrite une faune très riche (oiseaux, poissons, crustacés...) qui est menacée par la pollution chimique (concentrations excessives de nitrates et de pesticides dans l'eau) et par l'exploitation intensive des ressources en eau. En effet, autour du lac, les serres de fermes industrielles se sont multipliées pour fournir le marché européen en fleurs (roses). Ces exploitations sont non seulement de grandes consommatrices d'eau (qu'elles prélèvent directement dans le lac), mais aussi utilisatrices de pesticides et d'engrais, engendrant une pollution chimique des eaux du lac.

La pollution des eaux est telle qu'il n'est pas rare de découvrir des poissons ou des oiseaux morts, voire même d'enregistrer des mortalités de bétail s'abreuvant dans les eaux.



Le niveau d'eau du lac diminue à un rythme alarmant, alors que la consommation en eau à des fins d'irrigation ne cesse d'augmenter. La source du lac, située dans les collines avoisinantes, ne suffit plus à le régénérer et la région connaît des saisons des pluies de moins en moins abondantes. Le ruissellement des eaux contaminées par les engrais chimiques utilisés dans les fermes, a entraîné une multiplication des algues et celle de la jacinthe d'eau, une plante très envahissante.

Les algues et la jacinthe recouvrant les zones de reproduction des poissons et empêchant l'oxygénation de l'eau, le tilapia et d'autres espèces de poissons ont complètement disparu, entraînant par conséquent la disparition des oiseaux pêcheurs.

Selon la FAO, dans les études consacrées à la présence des pesticides dans l'environnement aquatique du Kenya (lacs de la vallée du Rift), on mesure des concentrations élevées de dieldrine et de DDE dans des muscles de tilapia, d'alestes et de clarias (résidus des pesticides organochlorés utilisés dans les traitements de lutte contre la mouche tsé-tsé et les moustiques, en coton et en maïs). On détecte aussi chez les oiseaux piscivores (martins-pêcheurs et cormorans) et dans la chair des poissons prédateurs, contaminés par le biais de la chaîne alimentaire, des concentrations élevées en dieldrine, DDE, DDD, DDT, HCH, endosulfan et PCB.

La pression grandissante exercée sur ce lac par ces entreprises de floriculture met en péril la survie d'un riche écosystème dont dépendent depuis des générations de nombreux pêcheurs, éleveurs et agriculteurs.



Les polluants (**nitrates, pesticides, hydrocarbures**) peuvent **s'accumuler dans la chaîne alimentaire** et nuire aux prédateurs qui consomment des poissons contaminés (ex. : oiseaux).

L'exposition de l'homme aux polluants présents dans le milieu aquatique est liée à la consommation de poissons et d'eau de boisson. Les polluants peuvent rester présents dans l'environnement longtemps après leur interdiction et peuvent être transportés sur de longues distances. En 2007, des analyses ont mis en évidence en Angleterre un échantillon de pomme de terre contaminé par des résidus de DDT. Après enquête et inspection du PSD sur place, les experts ont pu écarter l'hypothèse d'une utilisation frauduleuse et déterminer que la contamination était bien due à une contamination des tubercules par le DDT toujours présent dans le sol de l'exploitation plusieurs dizaines d'années après l'interdiction de son usage (*Annual Report of the Pesticide Residues Committee 2007*, PSD 2008).

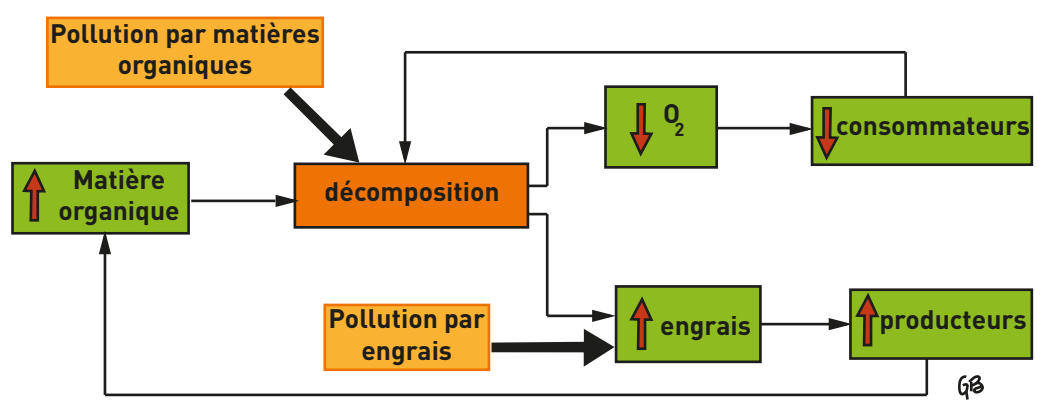


2. LES RISQUES DE CONTAMINATION DES EAUX

2.1. Pollution des eaux par les nitrates, les phosphates et la matière organique

L'eau qui coule à travers le sol emporte avec elle les éléments nutritifs (engrais) solubles vers les nappes d'eau souterraines ou vers les cours d'eau avoisinants. Si le lessivage des rives est important, les engrais du sol sont alors entraînés. Ces engrais, qui s'ajoutent à ceux déjà présents dans le cours d'eau, peuvent avoir des conséquences désastreuses sur les plans d'eau (**eutrophisation**).

Les plans d'eau en zones agricoles sont particulièrement sensibles à ce genre de **pollution organique**. À cause d'une eau anormalement enrichie en éléments nutritifs (surtout les phosphates dans le cas des eaux douces) les plantes aquatiques sur les berges et les organismes planctoniques végétaux en suspension prolifèrent. La végétation se développe et beaucoup de matière organique se dépose sur le fond de l'eau où elle est décomposée par des bactéries aérobies. L'augmentation de la décomposition de la MO provoque une baisse du taux d'oxygène particulièrement au fond du cours d'eau. Les décomposeurs respirent de l'oxygène : plus ils sont nombreux et actifs, plus ils consomment d'oxygène. Une augmentation de la décomposition aura pour effet de faire diminuer le taux d'oxygène de l'eau. Comme la décomposition c'est la transformation de la matière organique en éléments nutritifs pour les plantes, il y aura donc une augmentation des engrais disponibles pour les végétaux du plan d'eau.



Tout **déchets organiques** (lisier, purin, déjections des poissons de pisciculture, humus du sol arraché par l'érosion...) rejeté dans un cours d'eau alimentera la décomposition et donc la baisse d'oxygène (les décomposeurs consomment de l'oxygène). Les engrais résultant de cette décomposition favorisent la prolifération des algues en suspension (plancton végétal) et des plantes aquatiques. L'eau est alors plus ou moins trouble et verdâtre à cause des sédiments en suspension et des nombreux organismes planctoniques (organismes animaux et végétaux microscopiques qui vivent en suspension dans l'eau).

La baisse d'oxygène va affecter la vie animale, particulièrement les organismes consommateurs (animaux qui se nourrissent des végétaux ou des autres animaux). Leur mort viendra encore activer la décomposition. Un genre de cercle vicieux est enclenché, plus la décomposition est active, plus il y a de végétaux (producteurs) et plus il y a de décomposition. Les sédiments à moitié décomposés s'accumulent au fond et l'eau devient de plus en plus trouble.



Les mares et cours d'eau qui jouxtent les zones agricoles sont à protéger !

L'agriculture joue un rôle important dans l'eutrophisation des cours d'eau des régions agricoles.

L'utilisation grandissante d'engrais chimiques plutôt que de fumures organiques favorise le lessivage (les engrais chimiques ne renouvellent pas la matière organique du sol qui retient l'eau). Si de grandes quantités d'engrais sont utilisées, le sol, moins riche en matière organique, retient moins bien l'eau et les engrais que la végétation n'a pas le temps d'absorber sont facilement lessivés.

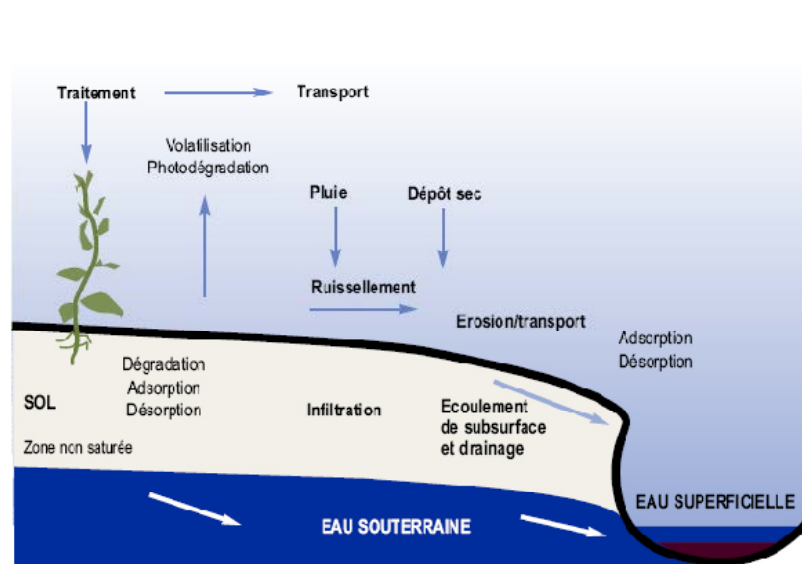
Le déboisement des bassins versants et le long des cours d'eau bordant les terres cultivées ou des fossés d'irrigation favorise le lessivage des engrais et donc l'eutrophisation des cours d'eau environnants. La végétation permet en effet d'absorber les éléments minéraux plutôt que d'être lessivés vers les cours d'eau.

2.2. Contamination des eaux par les produits phytosanitaires

Les **voies majeures** de contamination des eaux de surface suite à l'application de pesticides à usage agricole sont :

1. Les voies de pollution diffuse :

- après l'application des produits, transfert vers les **eaux de surface**, soit par ruissellement et entraînement lors des pluies des particules de sol contaminées, soit par l'écoulement « hypodermique » ou par dépôt des particules présentes dans l'air ; ou vers les **eaux souterraines**, soit par infiltration de produits, soit via les eaux de drainage ou par le lessivage.

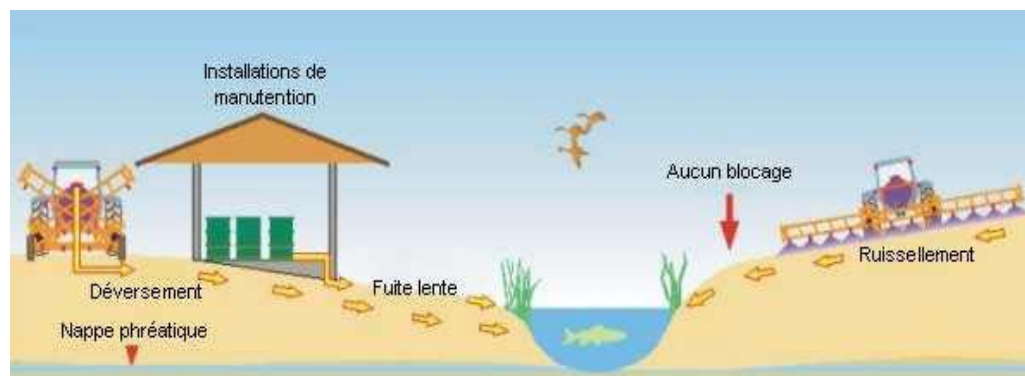


2. Les voies de **pollution accidentelle ou par négligence** :

- **pertes** lors de la manipulation des produits, de la préparation de la bouillie, du remplissage, du rinçage ou lors de l'entretien du pulvérisateur
- **fuites**, déversements accidentels...
- **dérive** des brumes, lors de la pulvérisation ;
- passage d'une rampe sur un cours d'eau, pertes de produit lors du transport.



« **Les pertes ponctuelles** ont une origine localisée et sont de courte durée, mais peuvent être d'une **grande intensité**. **Les pertes diffuses** ont une origine plus étendue et sont de **durée plus longue, la pollution qui en résulte est souvent moins aiguë** »



2.2.1. *Facteurs favorisant les pollutions diffuses*

Elles ont lieu à la parcelle et concernent principalement les herbicides à absorption racinaire. Les pertes par infiltration seraient de l'ordre du 1% des quantités initiales. Pour le ruissellement, les pertes seraient généralement de l'ordre de 0,1 à 5% des quantités appliquées. Lors du ruissellement, les substances actives peuvent être transportées sous forme solubilisée dans les eaux et/ou sous forme fixée sur les particules de terre entraînées (érosion). Des études ont montré que l'on pouvait retrouver des résidus d'atrazine (un herbicide) et de lindane (un insecticide) dans les eaux de ruissellement, trois à quatre ans après l'arrêt de leur utilisation.

Le transfert par ruissellement dépend de nombreux facteurs susceptibles d'amplifier le phénomène, comme :

- la pente,
- la nature de la substance active,
- le type de formulation,
- le type de sol,
- la couverture du sol,
- le travail du sol,
- le délai entre la pluie et le traitement.

2.2.2. Principales sources de pollution accidentelle

Ces pollutions accidentelles ont lieu lors des différentes phases de la mise en œuvre des produits phytosanitaires. La plus grande source de perte ponctuelle est sans doute le fond de cuve. Il faut absolument éviter tout déversement localisé (fond de cuve, débordement lors du remplissage...).

À la préparation des bouillies :

- Débordements de cuve (et mousse excessive !)
- Renversement accidentel du bidon
- Retour dans les circuits d'eau ou au ruisseau



En cas d'un débordement de 20 litres d'une bouillie de 200 litres d'eau contenant 1 kg d'une substance active au remplissage, c'est un **milliard de litres d'eau** qui peut être rendu non potable si l'on se réfère à la norme de concentration maximale admise de $0,1 \mu\text{g/litre}$!

Une fuite de 10 ml d'un produit avec 50 % s.a. = 5 g de substance perdue accidentellement !



Débordement de la cuve due à un excès de mousse.



Il est conseillé d'effectuer les opérations de remplissage et de nettoyage de la cuve sur une aire enherbée, car celle-ci peut neutraliser les « petites pertes ».

Une aire imperméable (béton, pavés...) ne peut pas être raccordée aux égouts ou à un puits perdu (voie d'entrée directe des produits phytosanitaires dans les eaux de surface ou souterraines).

Une tache de 2 ml d'un produit avec 50 % s.a. = 1 g de substance perdue accidentellement !



Éclaboussures d'un produit phytosanitaire sur une surface sensible au ruissellement. (Photos Carl De Vleeschouwer, CERVA).

Au moment du traitement :

- Dérive si le vent > 10 km/h (la dérive peut représenter 4% de la quantité pulvérisée à 1 mètre de distance et 0,5 % à 4 mètres)
- Traitement des bords de routes, des bords de fossés, de berges de rivières...
- Température trop élevée (pollution de l'air par évaporation)

Après le traitement :

- Élimination d'un reliquat de bouillie (si le pulvérisateur est mal étalonné) : vidange sur sol nu, dans les fossés...
- Rinçage du pulvérisateur sur sol nu, dans la cour de l'exploitation...
- Rinçage des bidons : eaux de rinçage à l'égout...
- Brûlage des bidons (souvent non rincés)
- Mauvais stockage des produits (fuites)

2.2.3. Facteurs liés aux propriétés du produit¹¹

Un certain nombre de propriétés physico-chimiques influencent le risque de pollution des eaux par les pesticides, telles que :

- le **Koc** de la substance active, ou *Coefficient de partage carbone organique-eau* : le Koc donne une indication sur l'aptitude de la molécule à être adsorbée ou désorbée de la matière organique. Il représente le **potentiel de rétention** de cette substance active sur la matière organique du sol. Plus le Koc est élevé, plus la substance active est retenue sur/dans la matière organique, moins elle est mobile et présentera de risque notamment pour les eaux profondes.
- le **Kd** de la substance active ou *Coefficient de partage sol-eau* (adsorption) : plus le Kd est élevé, plus la substance active est fixée aux particules de sol et moins elle est mobile, ce qui réduira son transfert vers les eaux souterraines par exemple. De nombreux facteurs influencent la **capacité d'adsorption d'un sol**, liés soit aux caractéristiques de la molécule, soit à celles du sol (composants minéraux et organiques, pH, quantité d'eau). De même, les phénomènes de désorption, qui correspondent à la libération de la molécule dans le sol (phénomène inverse de l'adsorption).
- sa **solubilité** : moins elle est élevée, moins le produit est entraîné par l'eau, du moins en première estimation. En réalité, la solubilité d'un produit n'est qu'un facteur aggravant qui n'intervient que sur la partie non retenue sur le sol. Dans un sol de fertilité normale, cette partie est très faible notamment pour les produits fortement adsorbés ;
- sa **demi-vie** dans le sol : elle est une indication de sa rapidité de dégradation. La cinétique de dégradation d'une molécule donnée est déterminée en estimant la persistance du produit. Pour cela, on détermine sa demi-vie qui est la durée à l'issue de laquelle sa concentration initiale dans le sol a été réduite de moitié.

11 Pour plus de détails sur l'interaction entre les pesticides et le sol (adsorption-désorption), les mouvements et les transferts de produit dans l'écosystème, ainsi que sur les principaux paramètres cités (Kd, Koc), se reporter au Chapitre 2.

Cette demi-vie peut varier avec la température, le type de sol, l'ensoleillement, etc. Les produits **herbicides** étant parmi les plus persistants (une rémanence est en effet souhaitable dans la plupart des cas), cela explique que la majorité des substances qui a été ou est détectée actuellement dans les cours d'eau et les nappes est constituée d'herbicides. La dégradation des substances actives est essentielle pour la préservation du milieu et de la fertilité des sols : en exemple, nous citerons le cas de l'oxychlorure de cuivre (bouillie bordelaise) qui s'est accumulé dans les sols et qui a entraîné la stérilisation de 50.000 ha de sols de bananeraies au Costa Rica ;

- la **formulation** de la spécialité commerciale : l'entraînement par ruissellement des poudres mouillables (WP) est 2 à 5 fois supérieur à l'entraînement des autres formulations. L'huile, présente dans certains herbicides radicaux, réduirait les phénomènes d'entraînement vertical ;
- le **surdosage** et/ou la fréquence excessive des applications.

Le sol se comporte comme un filtre actif en assurant la dégradation chimique et biologique des produits phytosanitaires, et comme un **filtre sélectif**, car il est capable de retenir certains pesticides plus que d'autres.



L'indice « Ground Water Ubiquity Score (GUS) » indique le potentiel de mouvement d'une substance active dans un sol. Il s'appuie sur la demi-vie de la substance (DT_{50}) et sur sa capacité à être adsorbée sur le carbone organique (Koc).

Une substance active fortement retenue par le sol, présentant une solubilité faible et se dégradant rapidement, serait une substance idéale du point de vue de la protection des eaux (profondes notamment).

2.2.4. Facteurs liés au sol

Les sols filtrants, battants, compactés et « fermés », nus, pauvres en matière organique, présentant une semelle de labour ou des traces de roues en surface, sont favorables au ruissellement et/ou aux infiltrations. De bonnes pratiques agronomiques peuvent souvent améliorer ces sols déstructurés et sans activité biologique intense.

2.2.5. Facteurs liés aux conditions climatiques

La pluviométrie (fréquence et surtout intensité) a bien entendu un rôle dans le transfert de produit. En particulier, une pluie importante, survenant peu de temps après le traitement, pourrait entraîner une grande quantité de produit.

2.2.6. Facteurs liés au site

La pente accentue les transports. Les traitements réalisés à proximité de fossés, ruisseaux, captages, sont particulièrement risqués. Par contre, la présence de haies, de talus, de dispositifs enherbés ou boisés, associée à la confection de ruptures de pente, diminue les risques. Des dispositifs (zones tampons) doivent être conçus au sein même des exploitations agricoles et être intégrés dans les systèmes de cultures.

2.2.7. Facteurs liés au comportement de l'agriculteur lors de la mise en œuvre des produits phytopharmaceutiques

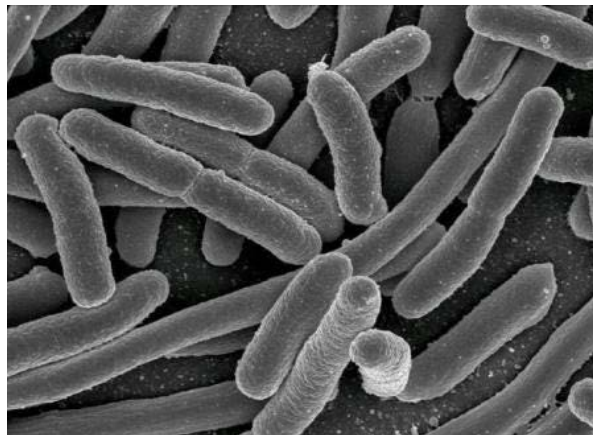
Il s'agit des accidents ou des négligences que l'on peut observer à la préparation de la bouillie, lors de l'application du traitement et lors des opérations d'après traitement. La sensibilisation des opérateurs est un élément essentiel pour la prévention des pollutions accidentelles. Il faut prendre le maximum de précautions pour éviter les pertes et agir correctement afin de limiter l'incidence d'un accident ou d'une erreur commise. Le remplissage du pulvérisateur est une étape critique tant pour la santé de l'utilisateur que pour le risque de fuites vers l'environnement. Les équipements du pulvérisateur et les protections de l'opérateur permettent de limiter ces risques.



Les études ont montré que **50 à 80 % des pertes peuvent être évitées par le respect de la Bonne Pratique Phytosanitaire lors de la manipulation des produits** (remplissage du pulvérisateur, gestion du fond de cuve, etc.).

2.3. Contamination des eaux par les agents pathogènes

Dans l'eau des lacs et des puits, les agents pathogènes à surveiller sont certains types de bactéries, de protozoaires et de virus. Bien que chacun de ces organismes puisse être la cause de diverses maladies plus ou moins graves, beaucoup de ces organismes ont en commun des symptômes très désagréables comme la diarrhée, l'hépatite ou la fièvre typhoïde, la nausée, des crampes abdominales et un état fébrile.



Certaines **bactéries** qui survivent dans l'eau peuvent causer des maladies sérieuses comme la gastro-entérite et la salmonellose.

L'***Escherichia coli* O157:H7 (E. coli)** est la bactérie pathogène la plus nocive et la plus notoire.

Lorsque les laboratoires procèdent à l'analyse d'échantillons d'eau, ils cherchent à détecter deux **organismes indicateurs** particuliers : les coliformes totaux et l'*E. coli*.

Certains protozoaires peuvent vivre dans l'organisme des humains et des animaux et ils sont éliminés dans les selles. Ces minuscules parasites peuvent survivre dans l'eau de surface pendant de longues périodes sous forme de kystes dormants. Certains **protozoaires aquatiques** peuvent être la cause de maladies comme la lambliaose (aussi

appelée giardiase) ou la cryptosporidiose. Les kystes protozoaires présents dans les eaux de surface sont plus résistants que les bactéries et les virus. Lorsque l'eau doit être désinfectée, un dispositif de traitement de l'eau englobant la filtration en plus de la désinfection devrait être utilisé.

Les **virus** se reproduisent en infectant les cellules vivantes. Certains virus aquatiques causent des maladies comme l'hépatite A et le norovirus (semblable au virus de Norwalk).

On trouve habituellement les protozoaires et les virus seulement dans l'eau de surface qui a été contaminée par des selles animales ou humaines. Cependant, **l'eau souterraine peut être contaminée** si elle entre en contact avec l'eau de surface. Les intempéries peuvent aussi favoriser la contamination. En effet, de très fortes pluies ou une inondation peuvent entraîner les agents pathogènes à travers le sol vers la nappe à une vitesse plus rapide que la normale.

Le fumier et d'autres matières organiques peuvent abriter des agents pathogènes, y compris des bactéries, des virus et des parasites.

Dans certaines conditions, l'utilisation de ces M.O. comme engrais peut présenter des risques pour la santé humaine et l'environnement, car les micro-organismes pathogènes présents dans le fumier entreposé ou épandu peuvent être lessivés des terres agricoles pour se retrouver dans l'eau souterraine ou dans l'eau de surface (le purin ou le lisier liquide présentent généralement moins de risque que la fraction solide du fumier).



Le risque de transport des agents pathogènes et de contamination des ressources en eau sera évalué en fonction du ruissellement en surface et de l'écoulement immédiatement sous la surface ainsi que d'autres facteurs qui tiennent compte de la connexion hydrique entre les sources d'eau et les plans d'eau. Des **analyses microbiologiques des eaux** seront effectuées régulièrement, aussi bien pour les eaux d'irrigation que pour les eaux de lavage en station.

3. PRÉVENTION DES POLLUTIONS PONCTUELLES OU ACCIDENTELLES DE L'EAU

i

La réduction des risques de pollution ponctuelle des eaux nécessite le **respect des Bonnes Pratiques Phytosanitaires (BPP)** et agricoles avant, pendant et après l'application du traitement.

Prévenir les risques de pollution des eaux consiste à **intervenir sur chacun des facteurs** favorisant cette pollution.

3.1. Réduction des traitements phytosanitaires

Cette réduction concerne les dosages, chaque fois que cela est possible notamment pour certains herbicides et les fréquences de traitement. La prophylaxie, les techniques de lutte mécaniques, biologiques, les traitements localisés, les traitements généralisés uniquement quand cela est nécessaire, à la bonne dose et à la bonne époque constituent quelques pistes que tout agriculteur pratiquant la lutte intégrée connaît bien.

i

Une étude récente de l'INRA (France), rassemblant 80 chercheurs, a élaboré différents scénarios en fonction des pratiques culturales et a démontré qu'une baisse de 30 % dans l'utilisation des produits phytosanitaires serait possible sans bouleversement profond, en éliminant les traitements inutiles ou en utilisant des méthodes alternatives (désherbage mécanique, lutte biologique contre les ravageurs) ou préventives (densité et dates des semis).

La baisse de rendements serait alors modeste : - 6 % en moyenne. Aller plus loin et atteindre 50 % de réduction serait plus difficile. Selon les scénarios de l'INRA, il faudrait un « panachage » de divers modes de production pour y parvenir, dont environ 13 % des surfaces en agriculture biologique.

3.2. Le choix du produit

L'alternance de famille chimique est souvent devenue une nécessité pour lutter ou pour prévenir l'apparition des phénomènes de résistance des ennemis des cultures, ou plus simplement pour éviter les inversions de flore. Idéalement, on pourrait certainement **affiner le choix de son produit** en fonction de son Koc, de son Kd, de sa solubilité, et de sa demi-vie dans le contexte particulier de l'exploitation, voire de la parcelle. Cependant, ces informations ne sont pas toujours suffisamment précises et adaptées au contexte pour pouvoir être exploitées efficacement.

Sur **l'étiquette** figure souvent des indications utiles (**pictogrammes de danger** et **mentions de danger** sous forme de combinaison de phrases de risque), signalant le danger pour l'environnement et les organismes aquatiques (selon Annexe VII du Règlement (CE) 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges) :

- H400/H410 (*anciennement R 50/53*) : très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
- H411 (*anciennement R 51/53*) : toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

- H412 (anciennement R 52/53) : nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
- H413 (anciennement R53) : peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

H400 = Très toxique pour les organismes aquatiques

(série H4## : dangers pour l'environnement, selon le Règlement (CE) 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges)



N Nuisible pour l'environnement
(Pictogramme : Code SGH 09)



Dangereux pour les organismes aquatiques
(Pictogramme du GIFAP)

3.3. Le rôle des sols

Pour retrouver des sols fertiles possédant une vie microbienne intense capable de dégrader les produits, il faudra remettre à l'honneur quelques bases de l'agronomie, et notamment, la lutte contre l'acidification du sol et la lutte contre l'appauvrissement en matière organique. Sur ces bases, on pourra ensuite envisager de mettre en œuvre des techniques destinées à lutter contre le ruissellement : sol bien structuré, « ouvert », éventuellement partiellement enherbé ou recouvert d'un *mulch*.

3.4. Le réaménagement des sites

S'il s'agit de ne plus désherber les tournières, les fossés, les talus, les accotements de chemins, les choses sont simples, du moins techniquement. Il est simple également de ne plus détruire systématiquement les haies ou d'installer des cultures intermédiaires.

Il est par contre plus lourd de reconstituer les haies en bord de champ, ou d'installer des dispositifs enherbés ou boisés aux bords des rivières par exemple. Ces dispositifs sont pourtant particulièrement efficaces pour réduire l'érosion, le ruissellement, l'exportation des produits phytosanitaires et accélérer la dégradation de ceux-ci. D'autres mesures telles que le réaménagement parcellaire, le reprofilage des pentes, la réduction des longueurs de rangs, le travail du sol perpendiculairement à la pente, les bassins tampons, la restauration des zones humides... ne sont envisageables qu'à long terme, car coûteuses et d'initiative collective.

3.5. La prévention et la prudence de l'agriculteur

Une **aire de préparation** et de nettoyage, étanche et avec récupération des eaux, est souhaitable. Dans la mesure du possible, on évitera également les préparations de bouillie et les traitements à proximité des points d'eau, rivières, captages, fossés...

Au moment de la préparation de la bouillie, il faut **éviter de contaminer la source d'eau** ! Cette contamination est possible par exemple si l'on plonge dans le point d'eau la cuve du pulvérisateur ou tout récipient souillé (ex. : seau qui sert à faire le mélange). Il est donc préférable, pour les petits volumes de remplir un grand bidon (réserve propre de 15 ou 20 l) et de prélever l'eau à partir de ce récipient ; pour les grandes cuves à préparer, de prévoir, soit une cuve intermédiaire de remplissage, soit le montage de dispositifs adaptés, qui éviteront le retour accidentel de la bouillie dans le circuit d'eau potable. Les bidons seront rincés trois fois au moment de la préparation de la bouillie et les eaux de rinçage seront déversées dans la cuve du pulvérisateur. Pendant le traitement, il faut éviter le vent et tous les facteurs à l'origine de la dérive de pulvérisation (pression excessive, vitesse, hauteur de travail...). Le montage de buses anti-dérives peut améliorer la situation. On recherchera des conditions d'application par température moyenne et hygrométrie élevée.

Recommandations pour améliorer la sécurité pour l'environnement :

- Disposer d'une notice d'emploi détaillée du produit (et d'une fiche de sécurité)
- Entretien du pulvérisateur : réparer les fuites, remplacer les buses défectueuses, éventuellement vérifier le fonctionnement du manomètre
- Avoir un volume réel de la cuve supérieur de 5 % à la capacité nominale
- Avoir une jauge visible pendant le remplissage et la vidange
- Disposer d'une réserve d'eau de 15 à 20 L destinée à rincer la cuve au champ
- Préparer le volume exact de bouillie nécessaire à l'application
- Éviter tout débordement des cuves et protéger les points d'eau proches du site de remplissage contre les déversements accidentels de bouillie ou de produit.
- Ne pas prélever/pomper l'eau pour le pulvérisateur directement dans un plan d'eau ou un puits. Avoir un système anti-retour de la bouillie vers la source d'eau.
- Rincer plusieurs fois les emballages à l'eau claire et verser les eaux de rinçage dans le pulvérisateur
- Diluer les reliquats de bouillie, les pulvériser au champ et rincer le pulvérisateur au champ
- Éliminer correctement les emballages et les bouchons bien rincés et propres.

3.6. Les « Bonnes Pratiques Phytosanitaires » (BPP) lors de la réalisation de la pulvérisation

Les facteurs suivants ont un impact défavorable sur la régularité de la pulvérisation entraînant un dosage excessif et une mauvaise efficacité. Ils entraînent également une augmentation de la dérive et de la contamination des eaux superficielles :

- la vitesse d'avancement excessive,
- la hauteur de la rampe,
- les mouvements de balancement de la rampe,
- le mauvais réglage de la pression et des buses inadaptées,

Les pulvérisations doivent être réalisées de préférence par temps calme (vent faible, en matinée ou soirée). Les traitements à basse pression réduisent la dérive des brumes de pulvérisation.

3.7. L'amélioration des techniques de pulvérisation

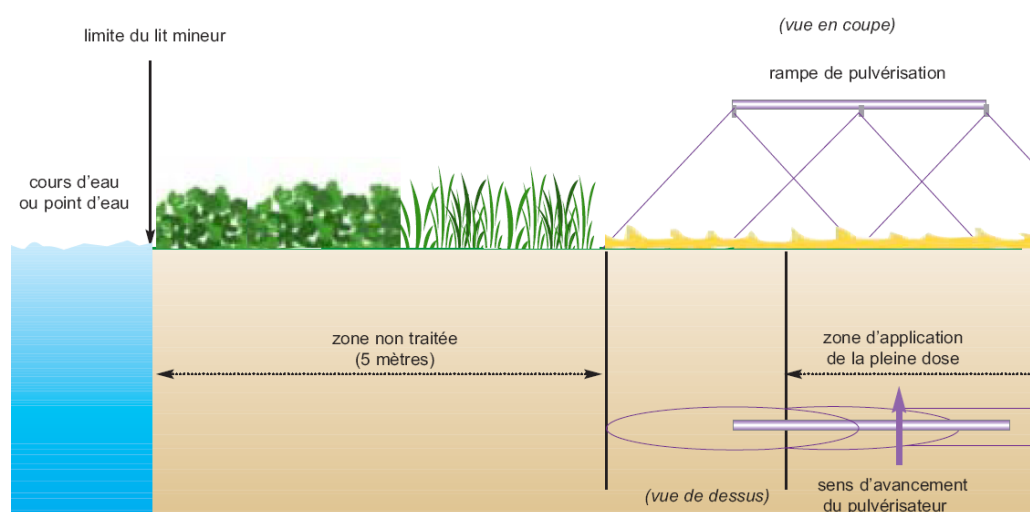
Investir dans du matériel ou des équipements qui contribuent à la protection ou à l'amélioration de l'environnement : buses anti-dérive, pulvérisateurs équipés de dispositifs de nettoyage de la cuve et de rinçage des emballages...

4. LES ZONES TAMPONS, LES AMÉNAGEMENTS ET LA RÉDUCTION DE LA DÉRIVE

4.1. Les zones tampons

Par définition, une « **zone tampon** » ou « **zone non traitée (ZNT)** » est une bande de la parcelle située à proximité des plans d'eau (ruisseau, étang, mare, fossé humide...) qui ne doit recevoir aucune application directe de produit.

L'établissement d'une telle zone a pour but de **protéger l'eau et les organismes aquatiques** (poissons, crustacés d'eau douce, insectes se développant dans le sédiment, algues et plantes aquatiques) des pesticides entraînés par les brumes de pulvérisation (dérive). La végétation de la zone tampon n'a pas d'importance. Elle fait donc souvent partie du champ et elle est cultivée de façon identique au reste du champ.



Le respect d'une zone tampon non traitée est une **mesure de précaution** permettant de limiter :

- le ruissellement sur le bassin versant (une zone tampon ralentit le ruissellement, en diminue le volume et réduit les pics de débit, grâce à sa rugosité et sa perméabilité) ;
- les dégâts de phytotoxicité sur les cultures voisines et sur la flore sauvage ;
- les effets toxiques sur les animaux non cibles (oiseaux, mammifères, insectes utiles...) présents dans les zones refuges (haies, fourrières...) ;
- la contamination des eaux de surface via les avaloirs et les fossés (limitation des transferts du phosphore, des produits phytosanitaires et de l'azote vers les milieux aquatiques) ;
- le transfert des matières en suspension (MES) produites par l'érosion des terres. Les particules les plus grossières vont être facilement piégées, jusqu'à former parfois un dépôt bien visible en limite amont de la zone tampon. Les plus fines se déposent progressivement lors de la traversée de la zone tampon.
- le transfert du phosphore par ralentissement du ruissellement et augmentation de l'infiltration : au contact d'une zone tampon, le phosphore particulaire se dépose et le phosphore dissous est en partie fixé par le sol.



Interception d'un écoulement par une surface enherbée (Photo CORPEN).

La **largeur** de la ZNT est la distance minimale à respecter entre la dernière buse du pulvérisateur (lors de l'application d'un produit phytopharmaceutique donné) et la berge du plan d'eau (en haut du talus). En Europe, les utilisateurs sont légalement tenus de respecter les zones tampons indiquées sur l'emballage des produits phytopharmaceutiques (fixées de 2 à plus de 100 m) selon le risque du produit phytopharmaceutique pour les organismes aquatiques.

Une largeur de 5 m permet l'interception de plus de 90 % de la dérive.

Pour réduire la zone tampon par rapport aux indications de l'étiquette, l'utilisateur **doit respecter simultanément 3 conditions** :

1. Enregistrer toutes les applications de produits effectuées sur la parcelle ;
2. Installer une bande enherbée d'au moins 5 mètres de large en bordure des points d'eau, comportant une haie suffisamment haute et large pour retenir les embruns de pulvérisation (au moins 1,2 m) ;
3. Disposer d'un équipement de pulvérisation réducteur de dérive reconnu (matériel anti-dérive).

4.2. Les dispositifs enherbés

Le terme de « **dispositif enherbé** » recouvre toute surface en herbe (talus, bandes de terrain, friches, jachères...), maintenue ou mise en place expressément, susceptible d'intercepter des écoulements de surface diffus ou concentrés. L'établissement de dispositifs enherbés limitrophes des cultures permet de protéger le milieu de la dispersion des produits phytopharmaceutiques entraînés par drainage ou par lessivage de particules de sol. Ces dispositifs réduisent également le pourcentage de pesticide entraîné par la dérive des brumes de pulvérisation et le lessivage des fertilisants vers les eaux de surface. Ces mesures sont donc souvent introduites dans les cahiers de charge des producteurs.



Exemple d'une bande enherbée en bordure d'un champ (Photo B. Schiffers)

Les bandes enherbées relèvent de deux types d'aménagement :

- les bandes enherbées de bordure (*field border*), qui sont des bandes végétales denses et permanentes (généralement herbage) établies le long d'un ou de plusieurs côtés d'un champ (bandes enherbées proprement dites) ;
- les bandes végétales riveraines (*filter strips* ou encore *buffer strips* ou *riparian zones*), qui sont des bandes de végétation permanentes à couvert d'herbage, de buissons, d'arbustes ou autre, établies aux abords de cours d'eau, plans d'eau, sources ou zones humides.

Le bon fonctionnement d'une bande enherbée sera fonction :

- des conditions de sol (infiltrabilité du versant, mais aussi de la bande enherbée) ;
- de la longueur du versant suivant la pente et de sa pente ;
- de la pente de la largeur de bande elle-même ;
- du type de culture et des façons culturales sur le versant ;
- du type de sol et du bon drainage naturel du versant et de la zone correspondant à la bande enherbée ;
- des intensités de pluies.

L'efficacité des dispositifs enherbés (généralement de 6 mètres de large au minimum) a pu être démontrée :

- **les volumes de ruissellement sont réduits de 65 %** (en situation moyenne, une zone de 10 m de large permettra dans la majorité des cas l'infiltration d'au moins 50 % du ruissellement),
- le transport de sédiments est réduit de 82 %,
- les exportations de produits phytosanitaires sont réduites de 80 %,
- l'accumulation de ces substances ne se produit pas, car sous la bande enherbée les phénomènes de dégradation sont plus intenses.

Attention !

Les zones tampons et les dispositifs enherbés ne seront aptes à jouer un rôle hydrique que dans les parcelles où les écoulements latéraux sont significatifs et non dans ceux où l'infiltration verticale vers les nappes domine largement.

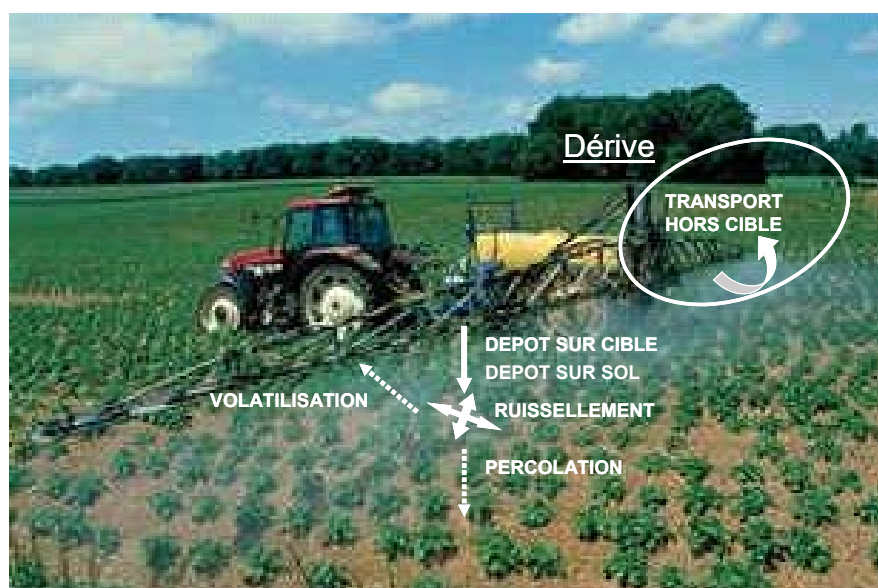
Face à un **écoulement concentré**, les zones tampons peuvent perdre une partie plus ou moins importante de leur efficacité. Un cas extrême est constitué par les « courts-circuits » que sont les fossés et les réseaux de drainage. Il sera particulièrement important de prendre en compte cette question pour raisonner la localisation des zones tampons dans un bassin versant : **la concentration du ruissellement** est le principal obstacle à l'efficacité des zones tampons et la limitation du transfert hydrique des produits phytosanitaires.

**4.3. La réduction de la dérive**

Les produits phytopharmaceutiques peuvent contaminer l'atmosphère lors du traitement. En effet, au cours de l'application des traitements phytosanitaires, une partie du produit n'atteint pas la cible, mais subit un phénomène de « **dérive** ». La dérive est généralement définie comme la quantité de produit pulvérisé qui, déplacée par les courants d'air, retombe sur le sol ou s'évapore après avoir parcouru une distance plus ou moins longue. Elle se produit donc au moment même de l'application ou peu de temps après. Elle donne lieu :

- à une pollution du sol, à une pollution subséquente des eaux et à un risque de contamination des écosystèmes situés à proximité ou à l'écart des zones de traitement ;
- à une pollution atmosphérique qui survient au cours des premières heures qui suivent l'application par l'évaporation des gouttelettes et de la formation d'aérosols.

La dérive est fonction de la force et direction du vent, de la taille des gouttelettes, de la hauteur de pulvérisation, de la formulation employée, de la présence ou non d'un adjuvant.



À la sortie de la buse, les gouttelettes constituent un spectre dont la taille va de moins de 50 μm à plus de 300 μm . Les gouttelettes de grande taille (> 150 μm) possèdent à leur sortie une énergie cinétique importante et elles atteignent bien la cible. Par contre, les gouttelettes de faible taille (< 100 μm) peuvent être emportées par les courants d'air.

La proportion de gouttelettes subissant la dérive est fonction du **type de buse** (certaines fournissent une proportion plus importante de gouttelettes de grosse taille), du **débit** et de la **pression de travail** (la taille des gouttelettes s'accroît quand le débit augmente et que la pression diminue).

Aussi, l'application de certains produits phytopharmaceutiques dangereux pour les organismes aquatiques est soumise, lors du traitement dans des parcelles proches de points d'eau, au respect de **mesures spécifiques** de réduction de la dérive des brumes de pulvérisation.

Ces mesures de précaution concernent :

1. le respect d'une zone tampon non traitée par rapport au plan d'eau,
2. l'utilisation d'un pulvérisateur particulier,
3. **l'utilisation de buses anti-dérive,**
4. l'installation éventuelle d'un écran ou d'une haie pour les parcelles proches de plans d'eau.



Le **pourcentage de réduction de dérive** (50, 75, 90 %) obtenu par ces mesures **dépendra le plus de la largeur de la zone tampon** (2, 5, 10, 20, 30... m^2) respectée.

5. LAVAGES POST-RÉCOLTE ET CONTAMINATION DES EAUX

Entre les feuilles, dans la couronne, sur la peau, sur le pédoncule..., la terre et les souillures peuvent s'accumuler et les microbes peuvent s'y développer. Le nettoyage, quand il est effectué avec soin sous une eau courante potable, permet d'ôter non seulement la plus grande partie des souillures (terre, sable, petits vers, insectes...), mais aussi une partie des microorganismes (bactéries, champignons, virus) et des résidus solubles de produits chimiques.

Le lavage n'éliminera qu'une partie des résidus présents en surface (essentiellement ceux qui sont solubles dans l'eau), mais **pas les résidus des produits qui ont pénétré** dans la peau et dans la chair des produits.

Comme la réglementation européenne sur l'hygiène (Annexe I, partie A du Règlement (CE) 853/2004) le stipule, il faut « *utiliser de l'eau potable ou propre là où cela est nécessaire, de façon à éviter toute contamination* ». Il est donc préférable d'employer de l'eau potable pour le lavage des fruits et légumes, des mains et en général de tout ce qui pourrait contaminer les denrées alimentaires.



Lavage des mangues en station (Photo B. Samb)

Cependant, étant donné l'importance et le coût de l'eau, une analyse du processus par la méthode HACCP permettra de déterminer :

- D'une part, si les risques **sanitaires** d'employer de l'eau propre sont significatifs ou négligeables, et de décider si elle peut être utilisée à la place de l'eau potable (ex. : pour le pré-lavage de légumes, on peut généralement utiliser de l'eau propre ; la table de tri peut généralement être aussi nettoyée à l'eau propre si un lavage des fruits et légumes est effectué par après, etc.).
- D'autre part, si **l'opération de nettoyage peut polluer l'eau qui sera rejetée** de la station (contamination par des traces de pesticides, de biocides, de matières organiques, d'agents pathogènes) et si des mesures de traitement avant et/ou après rejet doivent être prises.

6. NORMES RÉGLEMENTAIRES ET QUALITÉ DES EAUX

6.1. Normes de potabilité de l'eau

Pour être qualifiée de « potable », l'eau doit satisfaire aux exigences minimales spécifiées dans l'Annexe I de la Directive 98/83/CE relative à la qualité des eaux de boisson. Elle ne doit pas contenir un nombre excessif de micro-organismes (ex. : bactéries *Escherichia coli*, entérocoques), de parasites (ex. : œufs de vers) ou dépasser une concentration limite de toute substance chimique constituant un danger potentiel pour la santé des consommateurs (pesticides, nitrates ou métaux lourds). L'eau potable est donc une eau qui **peut être utilisée sans aucun risque** (absence de dangers potentiels ou réels), et son utilisation est dans l'absolu toujours préférable à celle de l'eau « propre ».

La législation européenne impose des normes (identiques dans tous les états membres) quant à la teneur en produits phytopharmaceutiques dans les eaux :

- pour les eaux souterraines et les eaux de consommation, elles ne peuvent pas contenir plus de 0,1 µg/Litre de substance active et 0,5 µg/Litre pour le total des substances actives ;
- pour les eaux de surface, les normes sont établies sur base du risque de celles-ci pour les organismes aquatiques (calcul du PNEC : concentration sans effet sur les organismes aquatiques considérés).

Selon le Règlement (CE) 852/2004 « *les exploitants du secteur alimentaire doivent veiller à ce que toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution des denrées alimentaires sous leur responsabilité soient conformes aux exigences pertinentes en matière d'hygiène* ». À cet égard, leur responsabilité est engagée au niveau de la **qualité de l'eau** qui est utilisée dans l'exploitation, aussi bien pour le lavage et le nettoyage des produits et des installations. Vu l'importance pour la gestion des risques sanitaires de connaître la qualité de l'eau employée, des analyses doivent être faites dans un laboratoire d'analyse accrédité.

Seule **une analyse** permettra de dire si une eau, qu'elle soit de distribution, d'une source ou d'un puits, est exempte de tout contaminant chimique ou biologique, et si elle est réellement « potable ».



Même l'eau de distribution non utilisée peut être souillée insidieusement (ex. : tuyaux poreux ou en mauvais état, retour de la cuve vers le réseau) ou activement (si elle est transférée ou conservée dans un contenant souillé).

6.2. Utilisation de l'eau « propre »

On qualifie de « **propre** », une eau qui ne contient pas de micro-organismes dangereux, de substances nocives ou de planctons marins toxiques en quantités susceptibles d'avoir une incidence directe ou indirecte sur la qualité sanitaire des denrées alimentaires.

L'eau propre ne doit pas risquer pas de contaminer les autres denrées alimentaires, et son usage sera donc **admis sous certaines conditions**. Des paramètres doivent être fixés : pour *Escherichia coli* (ex. : maximum 1 000 ufc/100 ml) et pour *Clostridium perfringens* (ex. : maximum 1 000 ufc/100 ml) ; teneur maximale en germes totaux ; teneurs maximales en nitrates et en chlorures ; conductivité électrique. L'utilisation d'eau propre, telle qu'actuellement définie, pourrait entraîner dans certains cas une

contamination supplémentaire du produit. Ainsi, certains produits plutôt « propres » à la récolte, pourraient être « salis » à la suite de ce lavage à l'eau propre. Par exemple, ce pourrait être le cas pour les tomates, les poivrons ou encore les haricots. Un premier lavage à l'eau propre n'est normalement envisageable que pour certains produits « sales », comme les carottes ou les pommes de terre, et à la condition qu'il y ait un **lavage ultérieur à l'eau potable**.

Concernant le **nettoyage des sols** des stations de conditionnement, seule de l'**eau potable** doit être utilisée pour le nettoyage des sols des « zones propres », afin d'éviter toute contamination croisée qui pourrait résulter de l'utilisation d'une eau de qualité inférieure.

6.3. Qualité de l'eau d'irrigation

Les eaux utilisées pour l'irrigation proviennent de ruisseaux, de mares, de puits ¹² ouverts ou profonds (forages), d'eau de pluie ou d'eau de distribution. La probabilité de voir ces eaux contaminées par des agents chimiques et/ou biologiques est très variable selon les situations, le relief, les cultures pratiquées, les activités industrielles à proximité, la présence d'habitations ou d'animaux d'élevage, etc. Une eau « potable » et une eau « propre » ne présentent a priori aucun risque et peuvent être utilisées sans restriction pour l'irrigation. Au contraire, une eau non potable peut éventuellement présenter des dangers en termes de sécurité sanitaire (ex. : présence de métaux lourds, de résidus de pesticides, de germes pathogènes...) et doit, le cas échéant, faire l'objet de restrictions d'utilisation pour l'irrigation.

Actuellement, il n'existe **aucune exigence réglementaire** relative à la qualité de l'eau d'irrigation ; par exemple, aucune teneur maximale en métaux lourds ou aucun critère microbiologique n'est actuellement fixée. Seule, l'exigence générale applicable à la production primaire, indiquant que « *les exploitants veillent, dans la mesure du possible, à ce que les produits primaires soient protégés contre toute contamination* », est imposée par le Règlement (CE) 852/2004.

Certaines eaux sont **généralement admises pour l'irrigation** des cultures comme :

- les eaux du lavage des fruits & légumes (**à l'exception des eaux de lavage des légumes racines ou des tubercules**¹³),
- les eaux issues des processus de blanchiment/de la stérilisation, du refroidissement après blanchiment/stérilisation, de la surgélation rapide, du lavage des chaînes de blanchiment/stérilisation et du lavage et du dégivrage des chaînes de refroidissement.

Dans le cadre de l'**autocontrôle** de sa production et avant d'irriguer, **le producteur doit évaluer les risques** en tenant compte de l'origine de l'eau, du type de culture/végétal irrigué, du type d'irrigation employé, ainsi que du mode de consommation du produit végétal irrigué (consommé frais ou cuit), et des éventuels traitements post-récolte appliqués à ces derniers (ex : lavage, blanchiment).

Le producteur doit en permanence s'interroger sur l'**origine et la qualité de l'eau** utilisée, et réaliser des **contrôles réguliers** de la qualité chimique et (micro)biologique de ses eaux d'irrigation.

12 Eau ayant percolé à travers le sol à partir de la surface et disponible dans la roche poreuse sous la surface.

13 Un risque de contamination par les nématodes phytophages ou d'autres agents pathogènes des plantes existe pour ce type de produit.

6.4. Normes de qualité environnementale (NQE)

Il est possible, sur la base d'informations concernant la toxicité, la persistance et le potentiel de bioaccumulation d'une substance et de données relatives à son devenir dans l'environnement, de déterminer des **seuils de concentration** afin de protéger l'homme, la flore et la faune. Les normes de qualité environnementale (NQE) correspondent à l'objectif environnemental de « *bon état chimique d'une eau de surface* ». Lorsque des normes de qualité environnementale sont établies pour l'eau, les sédiments ou les tissus végétaux/animaux, elles servent de repères pour garantir l'intégrité écologique des écosystèmes ou assurer la protection de la santé humaine lors des différentes utilisations de l'eau (baignade, captage d'eau potable, etc.). À l'heure actuelle, les NQE varient encore considérablement d'un État membre à l'autre et concernent 33 substances chimiques jugées « prioritaires » (pesticides : atrazine, alachlore, chlorfenvinphos, chlorpyrifos, diuron, endosulfan, isoproturon, simazine, trifluraline... ; métaux lourds : plomb, cadmium, mercure ; autres : HAP, nonylphénols, benzène...).

Enfin, pour être efficaces, les mesures de réduction des émissions et les NQE doivent être combinées à un **système performant de surveillance des eaux** (« réseau de mesures ») qui permettra de garantir la mise en œuvre des mesures adoptées et le respect des valeurs fixées dans les NQE. La directive-cadre sur l'eau (DCE) repose sur le concept de la réduction intégrée de la pollution et propose une stratégie globale en matière de lutte contre la pollution chimique. S'agissant des pesticides, la CE entend renforcer à l'avenir sa réglementation et notamment la prise en compte des risques pour le milieu marin. Des efforts doivent par ailleurs être entrepris pour modéliser les expositions au niveau du bassin hydrographique de manière à prendre en compte tous les risques, par exemple en ce qui concerne la protection du captage d'eau potable.

Les autres polluants (comme les éléments nutritifs et les matières organiques) font l'objet d'actes législatifs communautaires spécifiques (comme la Directive 91/271/CEE, JOCE, L 135 du 30 mai 1991) sur le traitement des eaux urbaines résiduaires, et la Directive 91/676/CEE, JOCE, L 375 du 31 décembre 1991) sur les nitrates).

7. ÉCONOMISER L'EAU

7.1. Utilisation de l'eau : constats

L'eau douce renouvelable, élément constitutif du cycle de l'eau est une ressource indispensable à la vie. Depuis toujours, sa disponibilité a guidé l'apparition et le développement d'organismes vivants sur la planète. Elle a également conditionné, et conditionne sans doute encore, la présence et les activités humaines. Aujourd'hui, le développement économique va de pair avec l'augmentation de sa consommation et l'apparition de problèmes de disponibilité ou de qualité.

Dans l'ensemble de l'Europe, 44 % de l'eau prélevée est utilisée à des fins de production d'énergie, 24 % pour l'agriculture, 11 % pour l'industrie et seulement 2 % pour l'approvisionnement en eau de la population.

L'agriculture ne représente que 24 % de l'extraction d'eau en Europe, mais :

- Même si ce chiffre peut sembler modeste par rapport aux 44 % extraits pour fournir de l'eau de refroidissement à la production énergétique, **son impact sur les réserves est nettement plus important**. En effet, toute l'eau de refroidissement ou presque est rejetée dans un cours d'eau, alors que ce chiffre n'est souvent que d'un tiers dans le cas de l'agriculture.
- Les politiques d'intensification conduisent à une extension géographique importante de **l'irrigation**, même en Europe du Nord (France, Belgique, Royaume-Uni et Pays-Bas).
- L'UE et ses États membres se sont engagés à utiliser 10 % de biocarburants pour le transport d'ici 2020 : si la demande croissante en bioénergie est satisfaite au moyen de l'actuelle première génération de récoltes énergétiques, l'utilisation d'eau pour l'agriculture ne peut que croître.



Il faut noter que l'utilisation de l'eau pour l'agriculture n'est pas répartie de façon uniforme. Dans certaines régions méridionales de l'Europe, **l'agriculture représente quelque 80 % de l'extraction d'eau**. En Grèce (88 %), en Espagne (72 %) et au Portugal (59 %), l'eau sert majoritairement à l'irrigation. La majeure partie de cette extraction a typiquement lieu en été, au moment même où l'eau est la plus rare, ce qui aggrave encore ses impacts négatifs.

En Europe, les **eaux de surface**, comme les lacs et les rivières, fournissent 81 % du total de l'eau douce prélevée et constituent la principale ressource en eau pour les secteurs de l'industrie, de l'énergie et de l'agriculture. En revanche, l'approvisionnement du public en eau exploite davantage les **nappes souterraines** en raison de la qualité généralement meilleure de leur eau.



Des terrains de golf à la fabrication de livres, de l'huile d'olive aux vaccins, tous les biens et services dont nous dépendons, pour nombre de nos activités quotidiennes, exigent **une ressource vitale : l'eau**. Un nouveau rapport de l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) confirme que, dans de nombreuses régions d'Europe, **l'eau est surexploitée**. Il propose des recommandations orientées vers une nouvelle approche de gestion des ressources en eau.

Le rapport est disponible à l'adresse :

www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe.

7.2. Conséquences de la surexploitation des ressources en eau

Une **gestion raisonnée** des ressources en eau est un élément incontournable de toute stratégie de développement durable et de maintien de la biodiversité.



Les **référentiels privés** qui ont inscrit le « développement durable » comme objectif (ex. : GLOBALG.A.P.) imposeront donc naturellement aux producteurs une gestion durable de l'eau et la prévention de sa pollution. Au même titre que l'empreinte-carbone, on parlera de l'empreinte-eau (« **Water Footprint** ») d'une production.



L'agriculture utilise une part importante et croissante des ressources en eau. Cette surexploitation des ressources augmente la probabilité de graves **pénuries d'eau** durant les périodes sèches. Le **changement climatique**, responsable des périodes de chaleurs et sécheresses qui affectent de nombreuses régions du monde, aggrave localement les pénuries. Des périodes plus chaudes et plus sèches plus fréquentes soumettront les ressources en eau à des pressions plus importantes.

L'intensification de l'agriculture et des consommations d'eau a entraîné l'apparition de problèmes environnementaux croissants :

- impacts directs de prélèvements conduisant à des **abaissements de nappes** souterraines ou à des réductions de débits dans les rivières ;
- impacts secondaires plus difficilement mesurables telles la **disparition de zones humides** (également liée à la mise en place de systèmes de drainage), l'apparition de **déficits d'oxygène** dans les rivières pouvant conduire à l'extinction de telle

ou telle espèce végétale ou animale, ou la **salinisation progressive de nappes** souterraines proches des zones côtières ;

- impacts liés à l'utilisation de l'eau au niveau de la parcelle agricole entraînant un **lessivage plus important de nitrates ou de pesticides** et une pollution des nappes souterraines et des rivières ;
- problèmes environnementaux associés à la construction de barrages et au détournement de cours d'eau pour l'irrigation.

La surexploitation **diminue également la qualité de l'eau** (parce que les agents polluants sont moins dilués) et risque de provoquer l'infiltration d'eau salée dans la nappe phréatique des régions côtières (Agence européenne pour l'environnement, 2009).

Les **écosystèmes des rivières et des lacs peuvent également être gravement perturbés**, provoquant la mort de certaines plantes et de certains animaux, en cas de chute du niveau d'eau ou d'assèchement complet. La qualité de l'eau se verra également affectée par l'augmentation des températures des milieux aquatiques et l'affaiblissement des débits des cours d'eau.

7.3. Mesures à prendre

Traiter la question de l'efficacité de l'eau dans l'agriculture, qui utilise 1/3 de l'eau dans l'UE, devrait être l'une des priorités de la réforme de la politique agricole commune (PAC) selon la Commission européenne. L'industrie européenne de l'eau (bientôt suivie de la grande distribution et des consommateurs) a exhorté les agriculteurs à enregistrer leur consommation exacte d'eau et à opter pour des **méthodes d'irrigation plus efficaces**, dans une tentative de réconcilier la PAC avec la Directive-cadre sur l'eau, et d'ouvrir la voie à une « nouvelle donne bleue » (**New Blue Deal**).

Dans certaines régions, la fin de l'irrigation provoquerait l'abandon de terres agricoles et de graves difficultés économiques pour les producteurs. L'utilisation de l'eau en agriculture doit donc **devenir plus efficace** de façon à préserver des ressources en eau suffisantes. Pour permettre une **utilisation durable de l'eau**, il faut offrir aux agriculteurs des techniques plus efficaces, des incitants financiers adéquats, des conseils pour économiser l'eau et de l'aide pour s'adapter et réduire leur « empreinte-eau ». Il faut leur apprendre à analyser les besoins en eau, à prendre des mesures contre les sécheresses et à gérer la crise de l'eau actuelle. Il convient aussi de **développer des politiques de gestion de l'eau** (quantité et qualité) **à long terme**, de tout faire pour favoriser l'économie en eau, en investissant dans la recherche de méthodes plus efficaces, et l'alimentation en eau, en investissant dans des projets tels que la création de barrages pour stocker l'eau ou dans des usines de dessalement pour rendre l'eau potable.

7.3.1. Améliorer les techniques d'irrigation

L'efficacité de l'irrigation (définie comme le rapport entre l'eau prélevée et l'eau effectivement consommée par la plante) varie en fonction du climat (températures élevées et forte évapotranspiration), des caractéristiques du sol, du type de culture, du dénivelé, des itinéraires techniques, de l'état des installations, des pratiques d'irrigation et des **techniques d'irrigation** (en planche, à la raie, au goutte-à-goutte) et de distribution (gravitaire, sous pression) de l'eau.



L'efficacité de l'irrigation varie entre 50 et 70 % dans les systèmes gravitaires, mais elle peut s'élever à plus de 95 % dans des systèmes modernes de goutte-à-goutte.



L'irrigation au goutte-à-goutte est une méthode contrôlée d'arrosage qui emploie efficacement l'eau disponible.



Le système d'irrigation au goutte-à-goutte consiste en un dispositif d'alimentation en eau et en un réseau de distribution. Le dispositif d'alimentation en eau comprend la source d'eau, la pompe, le système de filtration, le régulateur de pression et les indicateurs de pression nécessaires, et possiblement un compteur d'eau ou un régulateur électronique. Le réseau de distribution comprend la conduite principale et les conduites latérales ou les conduites goutte-à-goutte disposées le long des rangées de plantes. Grâce à un petit goutteur en PVC ou à un tuyau en PE, le système achemine l'eau nécessaire au goutte-à-goutte jusqu'à la zone entourant directement le semis. La plante peut ensuite utiliser l'eau avec peu de perte par infiltration ou évaporation.

Cette technique permet ainsi de **réduire les quantités d'eau prélevées** par l'irrigation et donc de limiter les investissements en infrastructure de stockage et de capture de ressources d'eau nouvelles. Elle permet également de limiter les problèmes liés à l'érosion des sols ainsi que la salinisation des nappes souterraines dans les zones côtières.

Sous certaines conditions de salinité élevée des sols ou d'eau d'irrigation d'origine souterraine chargées en sels, les apports d'eau limités de cette technique ne permettent cependant pas de restaurer la qualité des sols et/ou de lessiver l'excès de sels.

Par ailleurs, il faut noter que l'eau « perdue » pour l'irrigant et le système irrigué... n'est pas forcément perdue au niveau du bassin versant. Dans le cas de l'irrigation, une part plus ou moins importante de l'eau prélevée rejoint les nappes souterraines ou les cours d'eau, soit par ruissellement, soit par infiltration. Les « pertes » peuvent donc être réutilisées par d'autres usagers situés plus en aval du cours d'eau ou pompant de l'eau dans ces nappes. Mais **il existe peu de bilans hydriques au niveau des bassins versants** permettant d'évaluer les pertes réelles (ex. : les quantités d'eau retournant à la mer en excédent des quantités nécessaires au bon fonctionnement des écosystèmes et aux activités économiques) liées à une irrigation peu efficace.

7.3.2. Supprimer les incitants financiers pervers

Alors que l'utilisation d'eau dans l'agriculture est en passe de devenir intenable dans certaines parties du monde, les politiques agricoles suivies créent des **incitants malheureux : les agriculteurs supportent rarement le coût réel de l'irrigation**, les vastes systèmes d'irrigation (« périmètres irrigués ») étant créés et/ou gérés par le pouvoir public. Les agriculteurs ont donc adopté des méthodes d'irrigation à forte consommation d'eau (aspersion, arrosage à la raie) en raison d'un investissement relativement moins élevé et des gains de productivité qui en découlaient. En Espagne par exemple, les 14 % de terres agricoles irriguées génèrent plus de 60 % de la valeur totale des produits agricoles. La **tarification de l'eau** est le principal mécanisme permettant d'influencer la consommation d'eau de façon à maintenir un équilibre entre les objectifs économiques, environnementaux et sociaux de la société. Les recherches ont montré que des prix qui reflètent le coût réel de l'eau permettent de contrôler efficacement l'extraction, et que lorsque l'eau est facturée au volume, les agriculteurs diminuent l'irrigation ou adoptent des mesures visant à améliorer son rendement. Les subventions nationales et européennes peuvent elles aussi encourager l'adoption de techniques d'économie de l'eau.

7.3.3. Exploiter de nouvelles ressources

La **désalinisation** devient une alternative aux ressources en eau traditionnelles de plus en plus utilisée. Les pays méditerranéens s'appuient de plus en plus sur le dessalement pour subvenir à leurs besoins en eau douce. Les pénuries d'eau ne sont pas limitées au sud de l'Europe. Le Royaume-Uni construit actuellement sa première usine de dessalement à l'est de Londres. Elle pourrait fournir 140 millions de litres d'eau par jour. Mais le processus de transformation de l'eau salée en eau potable est connu pour sa grande consommation énergétique. Certaines usines utilisent à présent l'énergie solaire, ce qui représente une étape positive. Cependant, le dessalement reste une opération coûteuse. De même, la saumure, un sous-produit du processus, est difficile à éliminer et peut nuire à l'environnement.

Les **eaux usées**, spécialement **traitées**, peuvent dans certains cas être utilisées pour l'irrigation. Il faut rappeler ici le principe général selon lequel la responsabilité première, en termes de sécurité alimentaire, incombe à l'agriculteur/horticulteur qui utilise tel ou tel type d'eau pour irriguer ses cultures. Ce dernier doit tout mettre en œuvre pour

éviter que les produits végétaux qu'il cultive et qu'il irrigue soient contaminés, et ce, conformément aux législations locale et européenne. Par conséquent, dans le cadre de l'autocontrôle et des bonnes pratiques agricoles, **il se doit d'évaluer les risques** éventuellement **associés à l'irrigation des produits végétaux** qu'il cultive et, si nécessaire, il doit prendre des mesures de précaution pour maîtriser tout risque de contamination des produits végétaux qu'il cultive et qu'il irrigue. La principale recommandation consiste à **interdire l'utilisation d'eau usée non traitée** (= non épurée) pour l'irrigation. De l'eau souterraine, de l'eau de pluie ou de l'eau de surface (ou une combinaison de celles-ci), qui a été stockée au préalable ou non dans des puits ou réservoirs ouverts ou fermés, éventuellement recyclée après un précédent usage, peut être utilisée pour l'irrigation s'il a pu être démontré par une évaluation des risques que, lors de l'utilisation de cette eau, les risques pour la sécurité alimentaire sont maîtrisés.

Il est généralement reconnu comme **acceptable** d'utiliser les eaux issues :

- du lavage des fruits & légumes (à l'exception des eaux de lavage des légumes racines ou des tubercules) ;
- des processus conduisant à une décontamination des produits (eaux issues du blanchiment/de la stérilisation) ;
- des processus survenant après toutes opérations aboutissant à une décontamination des produits (eaux provenant du refroidissement après blanchiment/stérilisation, eaux issues de la surgélation rapide) ;
- du lavage des chaînes de blanchiment/stérilisation et du lavage et du dégivrage des chaînes de refroidissement.

Outre l'origine de l'eau utilisée (et souvent lié à cela, la qualité de l'eau), **d'autres facteurs peuvent influencer le niveau de risque** pour la santé lors de la consommation de produits végétaux irrigués :

1. Le type d'irrigation.

En effet, une irrigation par aspersion peut souvent exposer directement la partie récoltée du végétal à l'eau d'irrigation. Dès lors, les contaminants éventuellement contenus dans cette eau peuvent être déposés directement à la surface de la partie comestible du végétal. Une irrigation localisée présente de ce point de vue un risque plus limité puisqu'il n'y a en principe pas de contact direct entre l'eau d'irrigation et la partie comestible du végétal.

2. Le type de culture.

La partie comestible du végétal peut être aérienne (ex. : tomates, pommes...), située à la surface du sol (ex. : salade, épinards...) ou située dans le sol (ex. : carottes, pommes de terre...) et peut dès lors être plus ou moins contaminée par l'eau d'irrigation. En outre, selon les caractéristiques morphologiques du végétal irrigué, il se peut que de l'eau d'irrigation soit emprisonnée par le végétal, voire par la partie comestible de celui-ci (ex. : eau d'irrigation retenue par les feuilles de salade).

3. Le délai entre la dernière irrigation et la récolte.

Il a été démontré que l'action de certains facteurs pouvait diminuer la concentration de certains contaminants présents sur les produits végétaux au fil du temps (ex. : photo-dégradation des bactéries fécales).

4. Le traitement post-récolte appliqué au produit végétal irrigué.

De manière évidente, un produit végétal irrigué et consommé cru, tel que les tomates ou la salade, présente intrinsèquement plus de risques pour le consommateur, d'un point de vue microbiologique par exemple, qu'un produit végétal irrigué ayant subi un traitement thermique post-récolte, tel que le blanchiment.

7.3.4. Donner une meilleure information pour une meilleure adaptation

Une combinaison de méthodes de sélection des cultures et de techniques d'irrigation, associées à des programmes de conseils aux exploitants agricoles, peut contribuer à améliorer sensiblement l'efficacité de l'eau à usage agricole. Les mesures visant à sensibiliser l'opinion publique, telles que le label écologique, l'éco-certification et les programmes éducatifs sont primordiaux en vue d'une utilisation durable des ressources en eau.

L'indice d'exploitation des ressources en eau (*Water Exploitation Index*) est un bon exemple du type d'information indispensable pour donner un aperçu de l'ampleur des problèmes auxquels nous sommes confrontés et de leur localisation dans une région. En termes simples, l'indice montre les **ressources disponibles en eau** dans un pays ou une région comparées à la quantité d'eau utilisée. Un indice de plus de 20 % indique généralement une pénurie d'eau. Ce niveau d'information est essentiel en termes d'adaptation. En connaissant la quantité d'eau disponible dans une région, son origine et ses utilisateurs, on est en effet en mesure d'établir des stratégies locales efficaces pour s'adapter.

Au niveau de la production, on s'intéressera davantage au *Water Footprint*.

7.4. Après l'empreinte-carbone, l'empreinte-eau (*Water Footprint*)

7.4.1. Qu'est-ce que l'empreinte-eau ?



La raréfaction de la ressource en eau et la difficulté d'accès à une eau de qualité suffisante dans bien des pays nous amène à repenser notre « **empreinte sur l'eau** ». Ce concept est également dérivé de la notion d'« empreinte écologique », et la logique de cette démarche peut être mise en parallèle avec celle de l'empreinte-carbone (*Carbon Footprint*).

Logo de l'empreinte sur l'eau du waterfootprint.org

L'eau est nécessaire pour produire des biens ou pouvoir rendre des services.

L'**empreinte-eau** est **différente de la consommation d'eau** par personne dans le sens où elle prend en compte **l'eau utilisée** directement et indirectement **pour la production de biens et de services**.

L'empreinte en eau d'un produit (installation, bien ou service) correspond au **volume de l'eau utilisée à tous les stades de sa chaîne de production**. L'empreinte en eau est le volume total d'eau utilisée dans le cadre d'une activité et de celles qui y sont liées, en ce compris l'eau utilisée dans la chaîne d'approvisionnement. La **quantité d'eau** utilisée est appelée « **l'eau virtuelle** » du produit ou **quantité d'eau « incrustée »** dans le produit.

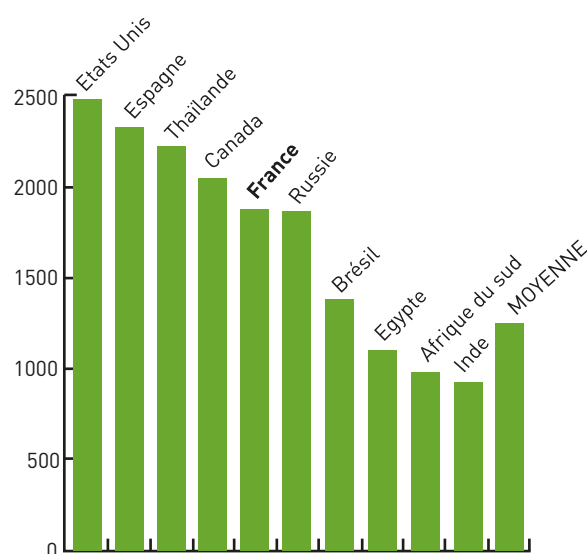
Ainsi, pour un Européen, consommer une tasse de café représente une utilisation d'eau en amont d'environ **140 litres d'eau... pour 125 ml dans la tasse** ! La consommation directe en eau sera plus au moins 20 cl, mais la quantité d'eau nécessaire pour produire les grains de café est 140 litres. Ces 140 litres sont divisés entre **l'eau verte** (pluie), **l'eau bleue** (irrigation à partir des ruisseaux et des rivières et évaporation des plantes dans les champs) et **l'eau grise** (l'eau contaminée par pesticides utilisés pendant la production). La quantité négligeable de la consommation directe sera cachée dans l'eau grise (urine) et bleue (transpiration). L'eau aura servi à faire pousser les plants, à laver le café, à l'acheminer, à le torréfier, etc.

| PRODUIT | QUANTITÉ D'EAU NÉCESSAIRE |
|--------------|---------------------------|
| 1 kg de riz | 3 000 l |
| 1 kg de maïs | 900 l |
| 1 kg de blé | 1 350 l |
| 1 l de lait | 1 000 l |
| 1 kg de bœuf | 16 000 l |

Ces calculs sont obtenus grâce à un outil de mesure élaboré par **7 organisations internationales**, dont le WWF, l'Unesco, l'*International Finance Corporation* (filiale de la Banque Mondiale) et le *World Business Council for Sustainable Development*, **qui ont fondé le Water Footprint Network** (Réseau Empreinte Eau) : www.waterfootprint.org/?page=files/home.



L'empreinte sur l'eau laissée par **une personne, une entreprise ou une nation** se définit par le volume total d'eau douce utilisé pour produire les biens et services consommés par, cette personne, entreprise ou nation. L'empreinte sur l'eau est généralement exprimée en termes de volume d'eau utilisé par an.



États-Unis :
2 483 m³/personne/an

Italie :
2 332 m³/personne/an

France :
1 875 m³/personne/an

Éthiopie :
675 m³/personne/an

Moyenne mondiale : 1 243 m³/
personne/an

Empreintes sur l'eau selon waterfootprint.org

La consommation par personne de l'eau virtuelle contenue **dans notre alimentation varie selon le type de régime alimentaire**. Ainsi, un régime de survie nécessite 1 m³/jour, contre 2,6 m³/jour pour un régime végétarien et de 5 m³/jour pour un régime carné type d'Amérique du Nord.

Une étude du WWF révèle qu'en plus des litres d'eau que nous utilisons chaque jour pour boire, nous laver, nettoyer ou arroser, nous consommons encore 40 fois autant d'eau « virtuelle » nécessaire pour produire notre nourriture et nos vêtements.

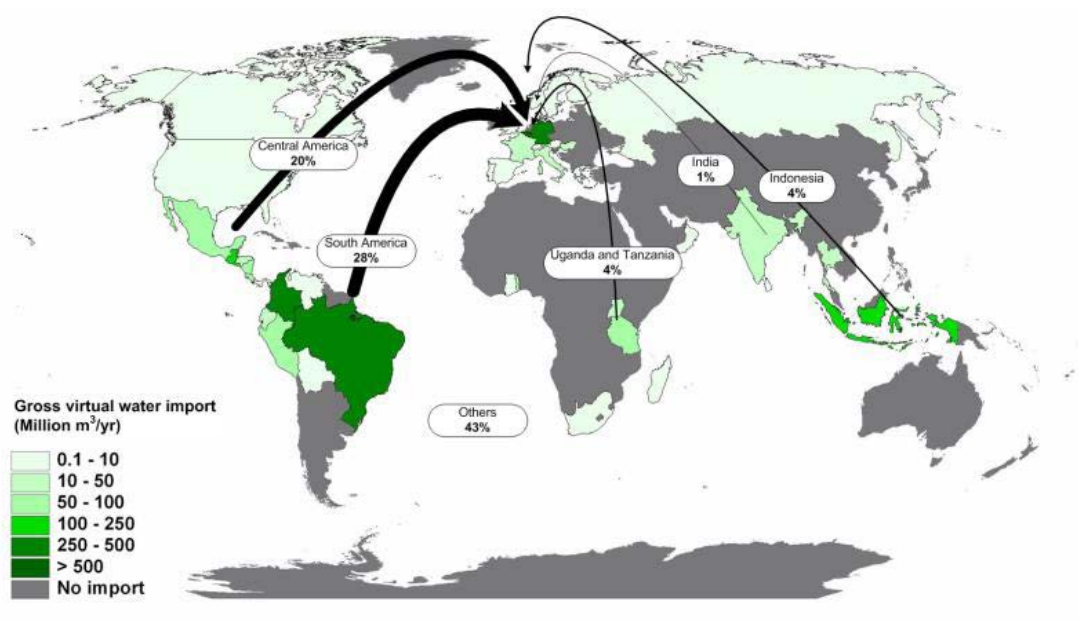
Pourquoi l'Italie est-elle également dans le peloton de tête, à quelques longueurs des Américains ? C'est encore une habitude alimentaire : une pizza Margherita consomme 1 200 litres d'eau, et un kilo de pâtes, près de 2 000 litres. Si vous êtes un véritable Italien, vous portez également de luxueuses chaussures en cuir, qui coûtent dans les 8 000 litres d'eau.



7.4.2. De quoi se compose l'empreinte-eau ?

Étant donné que tous les biens consommés dans un pays ne sont pas produits dans ce pays, l'empreinte sur l'eau est **composée de deux éléments** :

- l'utilisation des ressources en eau **nationales** ;
- l'utilisation des ressources en eau **situées à l'extérieur** du pays. Il s'agit de comptabiliser **l'eau « importée »** : l'eau utilisée dans un autre pays pour produire. Si par exemple un pays du Nord importe des fruits exotiques, l'eau pour les irriguer dans leur pays d'origine sera comptabilisée pour le pays importateur. On peut donc mesurer les « flux d'eau virtuelle ». Ainsi, au Japon l'empreinte sur l'eau est de 1 150 m³/personne/an, et **65 % de cette empreinte est extérieure au pays**. En Belgique, un pays de transit avec beaucoup d'importation et d'exportation, c'est **75 %**. Une partie importante de ce pourcentage est originaire de « pays secs » comme le Pakistan, l'Ouzbékistan, l'Égypte, Israël, l'Inde et l'Espagne. Alors qu'en Chine, seulement 7 % de l'empreinte sur l'eau (sur un total de 700 m³/personne/an) est extérieure au pays.



Le volume global des **flux d'eau virtuelle liés au commerce international** de marchandises s'élève à **1 600 km³/an**. Environ 80 % de ces flux d'eau virtuelle sont liés au commerce des produits agricoles, les 20 % restants étant liés aux échanges de produits industriels.

Beaucoup des produits comme le café, le coton ou la farine sont cultivés dans les zones les plus sèches du monde où les ressources en eau sont déjà sous pression ou sont en passe de l'être dans un futur proche. Il est dès lors essentiel que les entreprises et les gouvernements identifient les zones qui risquent de connaître des crises à cause du manque d'eau et développent des solutions pour que l'environnement ne soit pas surexploité et que les populations et les écosystèmes n'en subissent pas les conséquences.

Globalement, de l'eau peut être économisée lorsque les produits agricoles sont échangés entre des régions où la productivité de l'eau est élevée et des régions où elle est faible. Aujourd'hui, si les pays importateurs produisaient eux-mêmes l'ensemble des produits agricoles qu'ils importent, ils auraient besoin de 1 600 km³ d'eau par an. Les pays exportateurs, en revanche, produisent ces mêmes marchandises n'en utilisant que 1 200 km³ d'eau par an. L'économie réalisée au niveau mondial s'élève donc à environ 400 km³ d'eau par an.

7.4.3. Pourquoi calculer une empreinte eau ?

Calculer une « empreinte sur l'eau » répond à une double nécessité :

1. **informer les consommateurs**, de plus en plus soucieux de leur impact environnemental, pour agir sur leur comportement et leur décision d'achat ;
2. **assurer la « sécurité hydrique »** de productions particulièrement dépendantes des ressources en eau, notamment dans l'industrie agro-alimentaire ou textile, dans des pays où elles sont limitées ou menacées par d'importantes pollutions.

Les **entreprises** ont de plus en plus tendance à enregistrer la quantité d'eau consommée, et elles **devraient y prêter encore plus d'attention dans l'avenir**. Le secteur privé a en effet un rôle déterminant à jouer par rapport aux économies d'eau. Il devrait s'engager avec les autorités et les communautés rurales impliquées tout au long de sa chaîne de production pour une meilleure gestion de l'eau. Les entreprises doivent faire le maximum pour promouvoir une utilisation plus efficace de l'eau dans les zones où le risque de pénurie est important. En Inde et au Pakistan, le WWF travaille avec des fermiers qui cultivent des denrées gourmandes en eau comme le coton, le riz et le sucre de canne, pour développer des techniques qui utilisent moins d'eau et permettent des récoltes plus importantes. Selon le WWF, dans l'une des plantations de cannes à sucre, les fermiers utilisent 40 % d'eau en moins et pourtant les récoltes ont augmenté de 30 %.

7.4.4. Comment calculer l'empreinte-eau d'un produit ?

Un outil a été créé à l'Université de Twente, aux Pays-Bas¹⁴. Cet outil a été conçu suite à plusieurs années d'études réalisées dans le cadre d'un projet de l'UNESCO (l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture), en analysant dans chaque pays les comportements locaux de consommation d'eau :

- à **usage domestique** : à l'intérieur du logement (cuire des pâtes, prendre une douche ou un bain...) comme à l'extérieur (arroser le jardin, avoir une piscine...)
- à **usage industriel** : moins évidente à mesurer concrètement. Selon Hoekstra, le paramètre le plus représentatif de la consommation d'eau industrielle est le montant du salaire qui conditionne le niveau de vie. En effet plus on gagne d'argent, plus on est susceptible de consommer davantage, même indirectement, de biens issus de la production industrielle.

Un « calculateur » de l'empreinte-eau est disponible à l'adresse suivante : www.waterfootprint.org/index.php?page=cal/WaterFootprintCalculator.



Alors que la notion d'empreinte écologique, ou carbone a mis plus de 10 ans à se stabiliser, **le concept d'empreinte-eau** est plus récent (apparu en 2002) et **demande à être affiné**. Il se pose notamment la question du « périmètre » : tient-on seulement compte de la fabrication ou de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, depuis la production des matières premières ? Puis celle de la relativité de cette notion : un volume d'eau donné ne représente pas la même pression hydrique selon la région dans laquelle il est consommé, selon qu'il s'agit d'une région aride ou d'une région où les ressources en eau sont importantes.

Des scientifiques travaillent donc à la stabilisation de cette notion. Au-delà de la quantité d'eau consommée et alors qu'il s'agit de préserver les ressources, la vraie question n'est-elle pas de savoir « Quelle eau ? » et « Comment est-elle consommée ? ».

De plus en plus d'entreprises ont recours à la notion d'empreinte-eau pour rendre compte du volume d'eau nécessaire à la fabrication de leurs produits. Toutefois, à ce jour, les entreprises n'enregistrent guère l'eau utilisée pour produire l'électricité nécessaire pour accomplir leurs tâches. Le *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) développe actuellement un nouvel instrument dans lequel le facteur énergie est ajouté au *Global Water Tool* (une méthode phare, introduite en 2007, qui aide les entreprises à gérer leur consommation d'eau plus consciemment).

Pour plus d'information relative au sujet, lire le *2^e Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur de ressources en eau*, « *L'eau, une responsabilité partagée* » et du site Internet sur l'empreinte sur l'eau de l'Institut UNESCO-IHE pour l'éducation relative à l'eau.

14 Chapagain, A.K. et Hoekstra, A.Y., « The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands », *Ecological Economics*, 64(1), 2007, pp. 109-118.

Hoekstra, A.Y. et Chapagain, A.K., *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*, Oxford, Blackwell Publ., 2008.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. et Mekonnen, M.M., *Water footprint manual: State of the art 2009*, Enschede, Water Footprint Network, 2009.

Chapter 6

La gestion durable de la biodiversité

| | |
|---|-----|
| Définitions et dimensions de la biodiversité (niveaux, structures, fonctions) | 184 |
| La biodiversité : importance et menaces | 187 |
| Protéger et améliorer la gestion de la biodiversité | 199 |
| Effets des pesticides sur les biocénoses | 204 |
| Sélectivité des produits phytosanitaires et respect des auxiliaires | 208 |

1. DÉFINITIONS ET DIMENSIONS DE LA BIODIVERSITÉ (NIVEAUX, STRUCTURES, FONCTIONS)

1.1. Qu'est-ce que la biodiversité ?

La biodiversité, ou diversité biologique, est le nom donné à l'extraordinaire variété de la vie sur Terre. La biodiversité, c'est à la fois :

- la diversité des espèces d'animaux, végétaux, champignons, algues, bactéries, virus ;
- la diversité entre individus d'une même espèce, ou diversité génétique (différence de tailles, de formes, de couleurs...) ;
- la diversité des écosystèmes, c'est-à-dire des différents milieux (une mare, une forêt, un récif corallien..., avec les espèces qui y vivent et de leurs interactions).

Le mot « **biodiversité** », passé dans le langage courant depuis le sommet de la Terre de Rio (en 1992), désigne donc la diversité de toutes les formes du vivant : les plantes, les animaux, les organismes microscopiques mais aussi leurs habitats (mot composé à partir de biologie et diversité).

L'Article 2 de la Convention sur la diversité biologique, Rio 1992 définit la diversité biologique comme :



« la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ».

La biodiversité représente donc :

- La richesse biologique du milieu, constituée par l'ensemble des organismes qui y vivent : la biodiversité est donc souvent représentée par la diversité des espèces (représentée par leurs gènes). Assez simple à mesurer, la diversité correspond à la liste des espèces peuplant un espace/milieu donné et reflète l'état de santé de ce milieu. Comme chaque espèce (plante ou animal) possède un code génétique bien particulier qui détermine ses caractéristiques (ex. : sa résistance à certaines maladies, à la sécheresse ou encore sa morphologie), la diversité des espèces est aussi une diversité génétique, et la disparition de certaines espèces entraîne la disparition de certains gènes potentiellement intéressants.
- Les relations que les organismes vivants peuvent avoir entre eux et avec les milieux dans lesquels ils vivent. Les relations entre les êtres vivants sont multiples : ils s'entraident, se mangent ou sont en compétition pour l'utilisation des ressources disponibles. L'homme, espèce parmi les autres, fait partie de la biodiversité, et celle-ci s'intéresse donc aux rapports que l'homme entretient avec les paysages et les organismes vivants qu'ils abritent, à la diversité de ces relations et des dépendances entre l'homme et les espèces peuplant un même milieu, à celle des liens inféodant toutes les espèces à leur environnement.
- La diversité des **milieux** et des paysages qu'ils composent. Ces derniers sont constitués d'une infinité d'**écosystèmes** de taille variable (de la flaque d'eau à

la forêt). Chaque écosystème comprend les êtres vivants qui le peuplent et le milieu où ils vivent et dont ils dépendent (sol, relief, climat, etc.) et sur lequel ils exercent en retour une influence.

La biodiversité reflète et conditionne l'histoire évolutive des espèces (des bactéries aux grands mammifères) dans un milieu, leurs capacités d'évolution et d'adaptation, l'équilibre et la pérennité des écosystèmes (du plus petit jusqu'à la biosphère dans son ensemble).

L'**appauvrissement de la biodiversité** se confirme partout dans le monde. Les activités humaines en sont la cause principale : destruction des milieux, introduction d'espèces étrangères ou surexploitation de certaines espèces. Prenant acte de ce constat, les politiques internationales, européennes et nationales intègrent de plus en plus le maintien et la gestion de la biodiversité comme conditions d'un développement durable.

En juin 1992, le sommet de Rio de Janeiro a marqué l'entrée en force sur la scène internationale de préoccupations relatives à la diversité du monde vivant. Tous les pays signataires ont décidé au travers d'une **Convention sur la diversité biologique (CDB)** de faire une priorité de la protection et restauration de la diversité du vivant, considérée comme une des ressources vitales du **développement durable**.

1.2. Dimensions de la biodiversité

La biodiversité a **3 dimensions** : **composition** (ce qui est présent), **structure** (comment les éléments présents sont organisés les uns par rapport aux autres) et **fonction** (les processus qui génèrent la biodiversité et qui affectent la structure et la composition. Pour caractériser la biodiversité dans un milieu, il faut donc s'intéresser à :

- la diversité des espèces : connaître la diversité des espèces (nombre, fréquence...) et la diversité des gènes : comprendre les fondements de cette diversité pour élucider les mécanismes de l'adaptation et de l'évolution ;
- la diversité des milieux et des écosystèmes : étudier la structure, la diversité et le fonctionnement des écosystèmes, fondement de l'équilibre de la biodiversité ;
- la diversité des paysages et des pratiques humaines : étudier les paysages et observer les pratiques locales (notamment les pratiques agricoles !) qui jouent un rôle essentiel dans la gestion de la biodiversité.

La notion de biodiversité est indissociable des notions de « temps » et « d'équilibre dynamique ». L'équilibre observé entre les diverses espèces à un moment donné a généralement mis un temps relativement long à s'établir, mais il n'est pas figé. Il faut se rappeler que plus de 99 % des espèces ayant peuplé la Terre ont disparu aujourd'hui... mais que la plupart d'entre elles ont pu évoluer en de nouvelles espèces.

1.3. Habitats et écosystèmes

Un **habitat** ou un **écosystème** est un ensemble associant un milieu (le **biotope**, caractérisé par les conditions climatiques, les propriétés physiques et chimiques d'un territoire...) et une communauté d'organismes qui y vivent, s'y nourrissent, s'y reproduisent (la **biocénose**).

Les scientifiques utilisent la notion d'habitat dans une perspective de classification. Le nombre d'habitats est un indicateur de la biodiversité. Pour un territoire composé d'une mosaïque d'habitats ayant entre eux des relations fonctionnelles, on parle de paysage.

L'écosystème met l'accent sur les interactions des êtres vivants entre eux et avec le milieu dans lequel ils vivent. Un lac, une forêt, une exploitation constituent, avec les espèces qui les habitent, des écosystèmes. Étudier un écosystème consiste à **analyser son fonctionnement** et à **évaluer quelle peut être son évolution**, par exemple sous l'effet d'une modification de l'environnement comme l'introduction d'une culture.



2. LA BIODIVERSITÉ : IMPORTANCE ET MENACES

2.1. Importance de la biodiversité

La biodiversité est notre « **capital vert** » : elle est à la base de notre alimentation quotidienne, de notre santé et de nos activités. Elle est la garantie du bon fonctionnement et de l'équilibre de notre planète. Elle nous fournit de nombreux produits : nourriture, matériaux de construction, d'isolation et de décoration, fibres textiles, principes actifs de nombreux médicaments, combustibles.

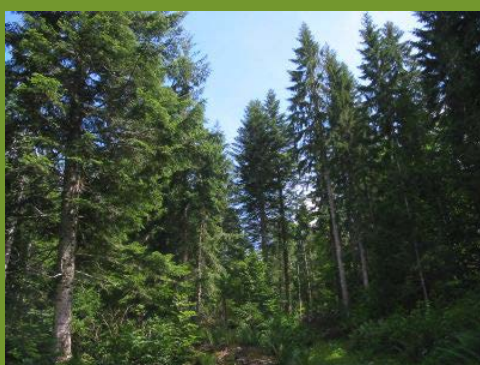
Les **services rendus par les écosystèmes** sont indispensables à notre survie : l'eau potable que nous buvons est disponible grâce au rôle d'éponge, de filtre et de réservoir des forêts et zones humides. La majorité des fruits et légumes que nous mangeons ne peuvent croître que grâce à **l'action pollinisatrice** de certains insectes, oiseaux et mammifères. Les espèces végétales - des arbres des forêts tropicales au phytoplancton marin - jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat mondial, notamment en absorbant le dioxyde de carbone (CO₂) et en produisant l'oxygène atmosphérique.

Les exemples de « services rendus » ne manquent pas :



Montagnes et pôles

Nourriture
Fibres
Eaux douces
Lutte contre l'érosion
Régulation du climat
Loisirs et écotourisme
Valeurs esthétiques
Valeurs spirituelles



Forêts et terres boisées

Nourriture
Bois
Eaux douces
Bois de feu
Régulation des crues
Régulation des maladies
Piégeage du carbone
Régulation du climat
Médicaments
Loisirs





Cours d'eau et zones humides

*Eaux douces
Nourriture
Lutte contre la pollution
Régulation des crues
Rétention et transport des sédiments
Régulation des maladies
Cycle des nutriments
Loisirs et écotourisme
Valeurs esthétiques*



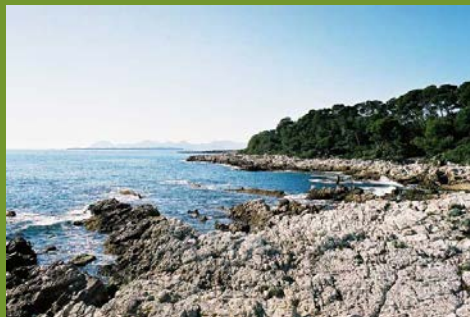
Terres cultivées

*Nourriture
Fibres
Teintures
Régulation des ravageurs
Médicaments
Cycle des nutriments
Valeurs esthétiques
Patrimoine culturel*



Terres arides

*Fibres
Régulation du climat
Médicaments
Loisirs
Valeurs esthétiques
Patrimoine culturel
Valeurs spirituelles*



Zones côtières

*Nourriture
Régulation du climat
Traitement des déchets
Cycle des nutriments
Protection contre les tempêtes et les vagues
Loisirs et écotourisme
Valeurs esthétiques*



Zones urbaines

*Parcs et jardins
Régulation de la qualité de l'air
Régulation de l'eau
Régulation du climat local
Patrimoine culturel
Loisirs
Education*



La biodiversité présente ainsi des avantages, hélas souvent difficiles à chiffrer tels que : les **médicaments** (soins de santé de base de jusqu'à 80 % de la population des pays en développement), **l'alimentation** (cueillette de fruits, récolte de racines, de feuilles) et les apports en fibres, les ressources sauvages (viande de brousse, poisson) et les produits forestiers (bois, écorce, latex) indispensables à la subsistance de nombreux ménages ruraux. De plus, les écosystèmes remplissent des rôles à valeur économique substantielle, bien que la plupart demeurent largement sous-estimés. Les services rendus par les écosystèmes représentent une valeur économique qui explique pourquoi **une gestion durable** des écosystèmes est **souvent supérieure à la valeur de leur conversion** à but économique.

La préservation de la biodiversité répond à une demande sociale en Europe. Les justifications sont de deux types. La préservation de la biodiversité est justifiée par les **services qu'elle rend à l'homme** ou qu'elle rendra aux générations futures (fertilité du sol, goût des aliments, plaisir esthétique, etc.) et des bénéfices que l'homme peut tirer de l'exploitation des **ressources génétiques** présentes dans les écosystèmes. Les plantes et animaux recèlent un potentiel économique qui n'est parfois pas encore connu (notamment pour l'alimentation et la médecine).

2.2. Biodiversité et agriculture

Pour souligner l'importance de la biodiversité en agriculture, il suffit de se rappeler que **l'ensemble des plantes et animaux utilisés dans l'agriculture aujourd'hui proviennent d'espèces sauvages.**

La biodiversité agricole représente **la variété** et **la variabilité** des animaux, des plantes et des micro-organismes qui sont utilisés directement ou indirectement pour la nourriture et l'agriculture, y compris les cultures, les animaux d'élevage, la forêt et la pêche. On inclut dans cette « biodiversité », la diversité des variétés, des races animales et celle des espèces utilisées pour la nourriture, le fourrage, les fibres, le combustible et les produits pharmaceutiques. Elle comprend également : **la diversité des espèces non récoltées mais qui participent à la production** (les microorganismes du sol, les prédateurs et les pollinisateurs), sans oublier les espèces qui soutiennent et participent à la diversité des écosystèmes (agricoles, pastoraux, forestiers et aquatiques).



L'agriculture ne pourrait survivre sans la biodiversité et les nombreux services écosystémiques majeurs rendus, comme :

- La fertilité des sols : fournie par 6 600 kg/ha d'organismes vivants ;
- La pollinisation : 90 % des plantes à fleurs dépendent d'animaux pollinisateurs ;
- L'eau : apportée par le boisement dans la partie supérieure des bassins fluviaux ;
- L'ombre pour les plantations de café ou de cacao...

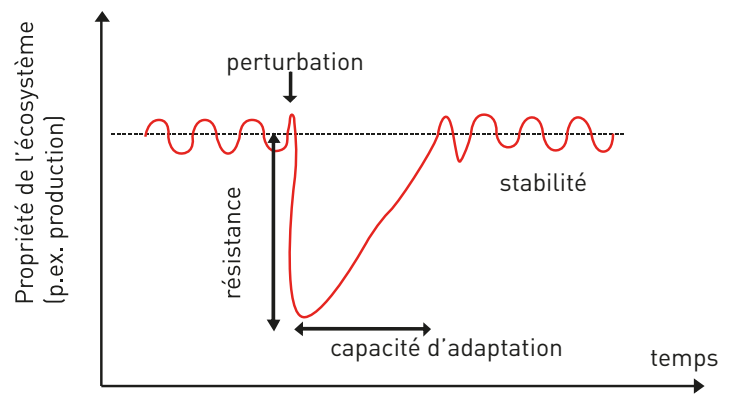
De nombreux **rôles** sont reconnus à la biodiversité, qui expliquent l'intérêt de la préserver malgré des pratiques agricoles intensives :

- Augmenter la productivité, la sécurité alimentaire et la rentabilité
- Réduire la pression de l'agriculture dans les zones fragiles, les forêts et sur les espèces en danger

- Rendre les systèmes de production agricole plus stables, plus robustes et plus durables
- Contribuer à la lutte raisonnée contre les ravageurs et les maladies
- Préserver les sols et en augmenter la fertilité naturelle ainsi que leur santé, en développant les teneurs en matières organiques du sol
- Capturer le carbone
- Contribuer à une intensification durable
- Diversifier les produits et les possibilités de revenus
- Réduire, voire partager les risques entre particuliers ou entre nations
- Aider à maximiser une utilisation efficace des ressources et de l'environnement
- Réduire la dépendance à l'égard des apports extérieurs
- Améliorer la nutrition humaine et fournir des approvisionnements en médicaments et en vitamines et;
- Protéger la structure de l'écosystème et la stabilité de la diversité des espèces.

2.2.1. Utilisation des ressources génétiques

La **diversité génétique dans un écosystème est un gage de stabilité et de résistance aux perturbations**. Par exemple, face à l'apparition d'un nouvel agresseur ou d'une espèce exogène invasive, un écosystème riche en espèces sera plus rapide à s'adapter et à revenir à un état d'équilibre.



La diversité génétique est exploitée par l'homme depuis qu'il a commencé à domestiquer les plantes et les animaux en sélectionnant et en croisant les individus possédant les caractéristiques les plus adaptées à ses besoins en constante évolution.

Malgré une grande variété d'espèces connues, celles qui sont cultivées sont peu nombreuses. Les variétés indigènes sont pourtant adaptées localement, écologiques et nutritives. Mais souvent considérées comme « arriérées » (ex. : faible rendement), elles ont été abandonnées par les scientifiques et ignorées par les décideurs politiques.

Pourtant les espèces/variétés indigènes/traditionnelles présentent des **avantages nutritionnels indéniables**. Leur abandon a conduit à des « famines cachées » (malnutrition par un déséquilibre alimentaire et la carence en certains nutriments et oligoéléments indispensables).

Comparaison des **valeurs nutritives** respectives entre un légume-feuille traditionnel tel que l'amarante et le chou (selon E. Frison, Biodiversity International – 2010) :

| Teneur par 100 g | Amarante | Chou |
|------------------|----------|------|
| mg de fer | 8,9 | 0,7 |
| mg de calcium | 410 | 47 |
| µg de β carotène | 5 716 | 100 |



Au Kenya, en partenariat avec *Family Concern* (ONG) et les supermarchés UCHUMI, une vente de légumes-feuilles traditionnels a été remise à l'honneur. Les clients ont été informés de l'intérêt nutritionnel de l'Amarante par la distribution de prospectus d'information.

Un approvisionnement en graines a été organisé et une formation agronomique pour une production plus propre et de meilleure qualité a été dispensée aux producteurs.

L'augmentation des ventes a été de 1 100 % en deux ans !



Cultiver les espèces traditionnelles participe à la conservation de la biodiversité. Encore faut-il que le producteur trouve un marché stable et rémunérateur pour ces productions qui, sinon, resteront confidentielles.

Les gènes des espèces sauvages peuvent jouer **un rôle clé dans la protection des cultures** (pour sélectionner des variétés résistantes) ou du bétail contre les insectes nuisibles et les maladies. En outre, de nombreuses autres espèces présentent un intérêt potentiel que nous ignorons encore.

Les espèces végétales ont été **sélectionnées** pour répondre **avant tout** aux conditions de **culture intensive et pour leur rendement élevé**. Le maïs en est un exemple frappant : la téosinte, son ancêtre le plus probable, était chétif et peu productif comparé au maïs actuel.



Téosinte



Évolution du maïs



Épis de maïs doux actuels

2.2.2. *Fertilité et conservation des sols*

La préservation à long terme de **la fertilité des sols** ne peut pas être obtenue en recourant seulement aux engrais. Elle dépend fortement de la préservation de la biodiversité à l'échelle de micro-organismes (bactéries, champignons) ou d'invertébrés minuscules (vers de terre, termites).

L'efficacité de la **lutte contre l'érosion** dépend beaucoup de l'état de la bordure des champs (haies, murets de pierres sèches, bandes enherbées, talus, fossés...). Il s'agit d'une part de préserver des coupe-vent et d'éviter le ruissellement des eaux boueuses (sous l'effet d'un gros orage, la quantité de terre qui sort d'un champ labouré dépasse 10 tonnes à l'hectare). Il faut aussi favoriser l'infiltration de l'eau car les micro-organismes du sol sont capables de dégrader les pesticides lorsque la concentration de ces derniers n'est pas excessive. Ils limitent ainsi la pollution de l'eau. Toutefois, ce système ne permet pas de remédier aux effets néfastes des épandages massifs.

2.2.3. *Protection des cultures*

Une diversité suffisante de la faune et de la flore en bordure des champs empêche la prolifération des mauvaises herbes et des ravageurs (limaces, insectes...). Les mauvaises herbes y sont concurrencées par des plantes qui n'envahissent pas les champs et les ravageurs servent de nourriture à de nombreux animaux (oiseaux, musaraignes, hérissons, araignées, carabes).

Par de nombreuses observations et expérimentations, les entomologistes ont apporté la preuve que la diversification des cultures est favorable à une régulation naturelle des populations de ravageurs par les **auxiliaires** (insectes ou acariens), sans pour autant assurer dans tous les cas le niveau de protection souhaité. C'est plus l'abondance des populations auxiliaires que leur diversité biologique qui est augmentée. L'importance du rôle joué par les arthropodes prédateurs, indigènes et généralistes, peut être rappelée, ce qui renforce d'autant la nécessité de préserver d'abord les habitats.

2.2.4. *Pollinisation et développement des végétaux*

La croissance et le développement de nombreux végétaux dépendent des animaux pollinisateurs (abeilles, bourdons, papillons, oiseaux et même chauves-souris), des aérateurs (lombrics, taupes...) ou des décomposeurs (bactéries, champignons, insectes...). Une hécatombe parmi ces organismes aurait d'énormes conséquences sur la production alimentaire.



La perte de biodiversité est liée à un ensemble de facteurs complexes. Les principaux sont d'ordre climatique, notamment les sécheresses récurrentes, et d'ordre anthropique tels que le défrichement, l'exploitation anarchique du bois comme source d'énergie, les feux de brousse, la cueillette abusive (fruits verts, jeunes pousses, mutilation des arbres), le surpâturage, le braconnage, la pêche illicite, la pression agricole, la pauvreté, l'utilisation abusive des produits chimiques ou l'introduction d'espèces exotiques (un exemple typique est la jacinthe d'eau, originaire d'Amérique du sud et introduite vers 1990 autour de Bamako. Cette plante envahissante constitue une menace pour les espèces aquatiques végétales et animales qu'elle asphyxie).

La conséquence première de la perte de la biodiversité est une diminution de la variété animale et végétale jusqu'à la disparition définitive de certaines espèces. Du fait des interactions biologiques, telles que les **chaînes alimentaires**, ce phénomène d'appauvrissement va en s'amplifiant. Ainsi, la disparition de plantes et d'animaux qui servent d'alimentation exclusive à certaines espèces animales va entraîner la disparition de ces dernières.

L'agriculture a augmenté la proportion d'habitats favorables aux espèces qui vivent dans des espaces ouverts, mais elle ne s'est pas accompagnée de l'apparition de nouvelles espèces. Ce sont des espèces qui se trouvaient initialement dans des clairières ou des espaces non boisés qui ont proliféré au fur et à mesure du défrichement des forêts.

La façon de mener les travaux agricoles, l'utilisation des intrants (engrais, pesticides) et la mécanisation influent sur la biodiversité. D'une façon générale, la biodiversité est plus forte lorsque les exploitations agricoles pratiquent la production extensive, la production biologique, la polyculture ou l'élevage traditionnel extensif.

| Impacts favorables à la biodiversité | Impacts défavorables à la biodiversité |
|---|---|
| Utilisation de variétés et de races anciennes ou locales | Réduction du nombre de variétés au bénéfice d'une seule à plus haut rendement |
| Sélection de nouvelles variétés et de races plus résistantes | Utilisation de produits détruisant la faune et la flore sauvage |
| Maintien de la faune et de la flore sauvage | Uniformisation des parcelles |
| Entretien des prairies naturelles ou des parcours pour les herbivores | Arrachage des haies |

Les pratiques agricoles modifient considérablement les paysages et la composition des écosystèmes qu'ils abritent. La mécanisation, puis l'intensification de la production, entraîne un agrandissement des parcelles agricoles. Elle exige la suppression des obstacles que représentent les habitats naturels en bords de champs (haies, talus, fossés, zones humides...). L'augmentation de la taille des parcelles isole les habitats naturels les uns des autres.

L'utilisation non raisonnée de **produits phytosanitaires** (herbicides, insecticides), souvent peu sélectifs, provoque la raréfaction ou même la disparition de certaines espèces, directement (effets toxiques) ou indirectement (disparition des habitats et de la nourriture). On constate en Europe une diminution du nombre d'espèces de papillons, d'oiseaux (spécialement les espèces inféodées aux zones agricoles), une raréfaction du

petit gibier, une régression des pollinisateurs... Les intoxications, la pollution des milieux et des chaînes trophiques, la réduction de la diversité biologique sont les conséquences non intentionnelles, mais importantes, des traitements phytosanitaires. Or, on sait désormais que le respect du fonctionnement des écosystèmes, impliquant la préservation de la biodiversité, est la clé d'une intégration durable de l'agriculture dans une gestion à long terme des ressources naturelles.

Les **engrais** déséquilibrent le fonctionnement des milieux aquatiques et terrestres et favorisent leur envahissement par quelques espèces. Dans les prairies trop fertilisées, les plantes qui tirent le mieux profit des engrais (orties, chiendent, oseille...) évincent les autres. L'appauvrissement de la flore entraîne un appauvrissement de la faune.

L'impact d'une exploitation agricole sur l'environnement dépend de très nombreux éléments (taille de l'exploitation, type d'agriculture, historique des cultures...). La biodiversité augmente lorsque les parcelles sont petites et que les cultures sont diversifiées. Une étude menée en Suède montre que dans le cas de l'agriculture conventionnelle, il y a deux fois plus d'espèces d'oiseaux, de papillons ou de fleurs lorsque les exploitations mesurent moins de 50 hectares que lorsqu'elles font plus de 135 hectares. La biodiversité augmente lorsque les parcelles sont petites, car le paysage est alors très hétérogène, et que le nombre de différents habitats est important.

En pratique, la préservation de la biodiversité nécessite de **préserver ou de restaurer les éléments proches de l'état naturel** ou tout au moins semi-naturel (cours d'eau, haies, prairies, brise-vent, jachères...) et une connexion entre eux permettant aux animaux de passer de l'un à l'autre sans problèmes (un champ labouré est un obstacle infranchissable pour un crapaud). Les connexions peuvent être assurées par des surfaces larges de quelques mètres seulement (talus, terrasses, lisières des champs et des prairies, etc.). La plupart des espèces supportent des interruptions de 200 mètres.

Tendances et chiffres relatifs à la biodiversité agricole :

- Environ 75 % de la diversité phytogénétique a disparu depuis le début de ce siècle à mesure que, dans le monde entier, les agriculteurs ont abandonné leurs multiples variétés locales et cultivars traditionnels pour passer à des variétés à haut rendement, génétiquement uniformes.
- 30 % des races de bétail frisent l'extinction et 6 races disparaissent chaque mois.
- Aujourd'hui, 75 % des aliments de la planète proviennent d'à peine 12 espèces végétales et 5 animales.
- Sur les 4 % des 250 à 300 000 espèces végétales comestibles connues, seulement 150 à 200 sont exploitées et à peine 3 (riz, maïs et blé) produisent environ 60 % des calories et protéines végétales consommées par l'homme.
- Les animaux fournissent à peu près 30% des besoins alimentaires et agricoles, et 12 % de la population vit presque entièrement de produits fournis par les ruminants.



Il est **préférable de préserver la biodiversité que de la restaurer**. Ainsi, si une haie est créée en plantant des arbres et des arbustes, on obtient en quelques années une structure arbustive rappelant l'architecture de haies beaucoup plus anciennes. Cela suffit

pour que la nouvelle haie commence à rendre de nombreux services aux agriculteurs (coupe-vent, régulation et épuration de l'eau, etc.). En revanche, il faut des dizaines d'années, voire des siècles, pour que la nouvelle haie acquière une flore et une faune typiques, composées d'espèces forestières ou de lisière forestière.

En conclusion, on peut dire que **la biodiversité agricole joue un rôle fondamental dans la biodiversité générale. Et que la biodiversité générale est indispensable à l'agriculture.**

2.3. Impacts des pratiques agricoles sur la biodiversité

2.3.1. A l'échelle des parcelles

■ Cas des cultures annuelles

En général, les pratiques de cultures annuelles visent à réunir les conditions optimales pour l'épanouissement de la ou des cultures visées. Pour y arriver, les producteurs procèdent souvent à l'élimination des autres espèces pour éviter les risques de concurrence. Ils diminuent ce faisant le nombre d'espèces observées sur les parcelles.

Les **pratiques les plus préjudiciables** qui agissent directement ou indirectement sur la biodiversité en modifiant le milieu et la biocénose sont :

- **Le labour profond :**

Le labour profond et répété est une forme commune de gestion des parcelles de cultures annuelles. Seules les espèces très adaptées à cette gestion survivent dans le sol et peuvent germer, il s'agit des plantes adventices. La macrofaune (vers de terre, etc.) est d'autant plus affectée par cette pratique que le labour est profond. Les réseaux trophiques s'en trouvent modifiés changeant ainsi la composition des communautés des autres espèces du sol.

- **L'utilisation des fertilisants minéraux :**

L'utilisation des fertilisants est susceptible d'entraîner la disparition d'espèces adaptées aux milieux pauvres en nutriments, la modification des chaînes trophiques et l'appauvrissement des communautés d'organismes du sol.

- **L'utilisation des pesticides chimiques :**

Les pesticides c'est-à-dire les herbicides, fongicides, insecticides sont aussi l'un des responsables majeurs du déclin de la biodiversité dans les agro écosystèmes des pays industrialisés. Ils affectent de manière sélective ou non selon le cas la faune du sol (vers de terre, arthropodes du sol, mollusques) et les plantes au sein des parcelles et aux bords de champs. Les populations résistantes à ces produits phytosanitaires se développent et favorisent également l'apparition de ravageurs et pathogènes résistants à ces mêmes traitements. L'utilisation des pesticides chimiques à moyen et long termes entraînent la résistance des ravageurs. Cela a pour conséquence de déséquilibrer la biodiversité avec une surpopulation de nuisibles sans prédateurs naturels. D'autres effets seront détaillés plus loin.

D'autres pratiques et facteurs impactent la biodiversité des parcelles cultivées : les **rotations et la maîtrise de l'eau**. Les effets des rotations sont surtout observés sur le contrôle des agresseurs biologiques : en perturbant le cycle de développement de

ceux-ci, ils permettent de réduire l'usage des pesticides avec des effets positifs sur la biodiversité. Le drainage de l'eau a des effets négatifs sur les espèces inféodées aux conditions humides. L'irrigation, elle, diminue la diversité végétale bien qu'elle soit favorable à la faune du sol.

■ Cas des cultures pérennes (sylviculture, arboriculture)

L'usage répété de produits phytosanitaires non sélectifs contre les agresseurs biologiques des cultures pérennes affecte principalement la biodiversité de ces systèmes. Les effets peuvent être directs ou indirects. Les directs sont : la mortalité et la baisse de fécondité sur les organismes cibles mais également sur d'autres espèces présentes dans les cultures pérennes (petits mammifères, oiseaux, arthropodes ...) et l'altération de la structure des communautés d'auxiliaires des cultures pérennes impliqués dans la régulation naturelle de ravageurs. Les effets indirects sont la suppression de la biomasse et de ressources pour de nombreuses espèces, altérant les chaînes trophiques.

■ Cas des prairies permanentes (couverts végétaux plurispécifiques pérennes ou pluriannuels)

Ici, les impacts sont principalement liés aux modes de pâturage et aux pratiques de fauche et de fertilisation. En général, la fauche, la fertilisation et le pâturage diminuent la disponibilité de sites pour la reproduction des oiseaux et des difficultés pour leur approvisionnement.

Effet de la fauche

Comparées aux parcelles pâturées, les parcelles fauchées présentent généralement une richesse spécifique plus importante. La fauche peut être un mode d'exploitation à privilégier dans un objectif de maximisation de la diversité spécifique.

La biodiversité présente sur une pâture fauchée est également liée à :

- la date de la fauche (une coupe précoce peut empêcher la production de certaines semences, une coupe tardive peut favoriser l'installation d'autres espèces préfèrent un milieu plus « fermé »/dense.
- La fréquence (l'augmentation de la fréquence peut conduire à une diminution de la diversité génétique)

L'intensification de la fauche (nombre de coupes et précocité des dates de coupe) a généralement un effet dépressif sur la richesse spécifique des plantes.

Effet de la fertilisation (effets positif et négatifs)

- augmentation de la production de biomasse et de l'abondance de chaque espèce
- diminution du nombre d'espèces observées chez les plantes et les microorganismes du sol
- augmentation les espèces de grandes tailles à forte capacité de croissance.

Effet du pâturage modéré (effets positifs)

- augmentation de la diversité fonctionnelle des organismes du sol (vers de terre, nématodes, amibes, champignons...),
- augmentation de la richesse des communautés végétales lorsque le pâturage est pratiqué par plusieurs espèces différentes,
- sélection modérée des plantes à durée de vie courte, à croissance rapide et résistantes au piétinement.

Effet du pâturage de forte intensité et pâturage de faible intensité (effets négatifs)

- diminution de la richesse spécifique (nombre d'espèces) chez les végétaux, les arthropodes, les petits mammifères et la faune du sol,
- diminution de la diversité fonctionnelle de la microfaune du sol,
- sur-sélection des plantes à durée de vie courte, à croissance rapide et résistantes au piétinement.

2.3.2. A l'échelle des paysages

Le changement d'utilisation des terres vers une moindre diversité des cultures dans le temps et l'espace, l'intensification des pratiques et la synchronisation des dates de fauche et de récolte, l'abandon des terres cultivées et l'augmentation de la taille des parcelles liée au remembrement ont progressivement et profondément réduit l'hétérogénéité des paysages tout en les fragmentant. Les conséquences sur la biodiversité sont :

- une baisse du nombre d'espèces et de leur abondance pour la plupart des groupes d'animaux et des plantes
- la réduction des zones non-cultivées (ex : prairies) jouant un rôle d'habitat, de corridor ou encore de refuge pour de nombreuses espèces.

Les espèces spécialistes ont été plus touchées que les espèces généralistes car elles sont plus fortement tributaires d'un habitat et d'un faible nombre de ressources. L'homogénéisation des paysages agricoles défavorise donc les espèces rares et favorise les espèces communes (on parle de banalisation des espèces). La structure du paysage impacte plus les vertébrés et les arthropodes épigés (hors du sol) que les plantes, les microorganismes et la faune du sol. Enfin, les espèces ravageuses sont favorisées au détriment des espèces auxiliaires.

2.4. Menaces supplémentaires dans les pays ACP

L'un des aspects frappants des conséquences de la perte de biodiversité et de la dégradation des services rendus par les écosystèmes – de l'eau aux denrées alimentaires et au poisson – est **leur impact disproportionné mais méconnu sur les pauvres**. Les zones présentant la biodiversité et les écosystèmes les plus riches se trouvent dans des pays en développement où vivent des populations majoritairement rurales (agriculteurs de subsistance, pêcheurs, pauvres des zones rurales) souvent totalement tributaires de l'environnement pour leur vie quotidienne et leur sécurité alimentaire. Toute évolution

de biodiversité affectera donc la survie des sociétés traditionnelles. Pour les populations des pays ACP, la préservation de la biodiversité agricole est **un facteur nécessaire du développement rural durable**, de la sécurité alimentaire et de la lutte contre la pauvreté. Si l'on ne fait rien pour protéger les écosystèmes en danger, les conséquences pourraient être dévastatrices pour les plus vulnérables.

Dans les pays en développement, la pression sur l'environnement est plus forte :

- La pauvreté oblige les producteurs à adopter des pratiques peu respectueuses de l'environnement. Les terres actuellement cultivées de manière extensive (à faible impact), qui présentent souvent une grande biodiversité, seront de plus en plus converties pour une utilisation agricole intensive, avec des pertes supplémentaires de biodiversité et des dégâts environnementaux.
- Le mouvement de bétail dans certaines localités ne favorise pas la régénération naturelle et occasionne souvent des dégâts au niveau des semis naturels et des jeunes plants mis en terre par les producteurs dans le souci de promouvoir l'arbre sur l'exploitation agricole ;
- L'élagage sévère des arbres pour l'obtention du fourrage aérien ne favorise pas la fructification; ceci a pour conséquence la réduction de semences et compromet donc la régénération naturelle des écosystèmes forestiers et la préservation de la biodiversité ;
- L'allumage de feux non contrôlés occasionne des dégâts sur les ressources naturelles (sol, forêts, faune sauvage) ;
- La pratique de l'agriculture itinérante sur brûlis est une menace pour les ressources forestières. Par exemple, la culture d'igname se fait sur des sols fertiles sous forêt et est un agent dévastateur des ressources forestières ;
- Les forêts s'amenuisant, les habitats des animaux sauvages sont détruits et la survie de ces derniers est dangereusement compromise ;
- Les feux tardifs ont des effets négatifs sur le sol, sur la flore et la pédofaune ;
- La mise en valeur des flancs collinaires et des berges des cours d'eau aggrave l'entraînement des particules terreuses, l'ensablement et le comblement des plans et cours d'eau. En conséquence, la biodiversité floristique, aquatique et faunique résultant des agro-écosystèmes à l'échelle du terroir villageois est sérieusement menacée.
- Les mangroves sont souvent converties pour des intérêts privés, au détriment des populations locales, avec comme corollaire la mobilité qui augmente les risques d'invasion d'espèces exogènes.

La biodiversité alimentaire et agricole sera aussi affectée par le changement climatique qui très probablement impactera les écosystèmes agricoles, bouleversant les pratiques culturelles des agriculteurs.

3. PROTÉGER ET AMÉLIORER LA GESTION DE LA BIODIVERSITÉ

Les mesures préconisées sont différentes d'une exploitation à l'autre, car elles sont fonction des cultures, de la taille des parcelles, des modes d'exploitation et des enjeux identifiés. Voici quelques exemples de mesures de gestion qui peuvent contribuer à améliorer significativement la biodiversité.

3.1. Préserver ou installer des haies et des dispositifs enherbés

Les paysages de champs ouverts n'offrent presque pas de biodiversité. Les « **bandes enherbées** » permettent de préserver la biodiversité à l'échelle de la parcelle. Il peut s'agir d'un talus, d'une haie, d'un boisement en bordure de cours d'eau, d'une bande le long d'un fossé ou simplement au bas d'un champ.

On leur reconnaît plusieurs rôles bénéfiques pour l'environnement comme : la lutte contre l'érosion, la limitation du transfert des intrants vers les cours d'eau et donc leur pollution, la préservation de la faune sauvage. Les bandes enherbées doivent être d'autant plus larges : que les conditions sont plus érosives (texture, structure, façons culturales et cultures érosives...) que la pluviométrie habituelle est plus forte et brutale, que la surface de la parcelle est grande. Le choix des espèces végétales composant la bande enherbée est fonction des types de cultures situées à proximité, afin de favoriser les auxiliaires intéressants pour la protection des plantes cultivées. Ces bandes enherbées « améliorées » sont aussi appelées « bandes enherbées fleuries ».



Bande enherbée en bordure d'un champ

Les bords de champs sont des espaces favorables aux lombriciens, à partir desquels ils colonisent les espaces cultivés, améliorant ainsi la structure du sol en surface comme en profondeur. Tout comme les haies, les bandes enherbées abritent de grandes quantités d'insectes. Elles peuvent aussi constituer des zones refuges qui abritent les « auxiliaires » (prédateurs et parasites d'insectes) qui se déplacent dans les parcelles cultivées pour se nourrir aux dépens des ravageurs. Très souvent, les auxiliaires y trouvent des sites de ponte et d'hivernage, des ressources alimentaires de complément. Ils sont ainsi toujours présents sur les cultures, et interviennent en permanence pour la régulation

des populations d'insectes ravageurs. Les traitements phytosanitaires cherchent à respecter les auxiliaires mais cela ne suffit pas: pour que les auxiliaires puissent agir au moment où on les attend, il faut qu'ils se maintiennent toute l'année, trouvant lieux d'hivernage et fleurs à butiner. Seuls les bords de champs, la flore sauvage, et surtout les haies et talus, assurent cette survie des auxiliaires. Il faut donc éviter de pulvériser ces dispositifs enherbés.

En permettant le développement pérenne d'une végétation naturelle ou semée, relativement diversifiée, et l'installation de populations significatives d'insectes, c'est toute une **chaîne alimentaire** qui se (re)crée. Les oiseaux en profitent pleinement car ils trouvent dans les bords de champs des sites favorables à leur alimentation, à la nidification, à l'élevage des jeunes, ainsi qu'un abri contre les intempéries et les prédateurs. Les bords de champs, enherbés ou arbustifs, abritent donc et nourrissent une faune plus riche.

3.2. Gérer de façon appropriée les espaces non cultivés

3.2.1. Protection des haies et brise-vent



La richesse d'un paysage bocager

Les haies abritent de nombreuses espèces animales et végétales qui ne peuvent survivre dans les parcelles agricoles. Ces espèces ne leur sont pas spécifiques mais proviennent des bois, des landes et des prairies. Une haie est une juxtaposition de micro-habitats, certains plus ombragés, plus humides, etc. qui peuvent abriter ou nourrir différentes espèces animales. Il faut **conserver les haies existantes** et maintenir un entretien régulier (2-3 fois sur 5 ans) pour un rééquilibrage du feuillage si nécessaire.

Laisser des troncs ou branches coupés sur le sol pour fournir à un grand nombre d'animaux (insectes...) des zones refuges favorables (alimentation, reproduction). Ne pas arracher les souches ou les troncs d'arbres morts. Ne pas systématiquement vouloir « nettoyer » le pied des haies des plantes considérées comme « indésirables », mais pouvant accueillir une faune riche et diversifiée. La lisière est très importante pour le développement et le maintien des espèces, aussi bien pour la flore que pour la faune.

3.2.2. Les jachères

Les jachères sont des surfaces qui ne sont pas utilisées pour des productions alimentaires (pour l'homme ou le bétail). Dans une perspective de préservation de la biodiversité, les jachères peuvent être utilisées pour améliorer la qualité des paysages, enrichir globalement la biodiversité ou encore favoriser le petit gibier. La proximité d'habitats semi-naturels (haies, prairies) facilite la colonisation de la jachère par la faune et la flore sauvages. Les « jachères florales » répondent aux deux premiers objectifs : la diversité de leur flore a un effet très positif sur la biodiversité des insectes. Elles sont obtenues en semant un mélange de 20 à 40 espèces de la flore locale. Il faut installer des jachères de façon pertinente (ex. : bande de 2 m non fauchée en bordure de la parcelle) en utilisant un couvert adapté de faible densité. Ne pas fertiliser la parcelle en jachère. Ne pas faucher en période de nidification des oiseaux, mais faucher la végétation du centre vers la périphérie pour permettre à la faune de pouvoir fuir sur les côtés et donc de ne pas être piégée au centre.

3.3. Gérer de façon appropriée les espaces cultivés

Deux évolutions majeures des pratiques agricoles, apparemment contradictoires, ont bouleversé l'équilibre entre agriculture et biodiversité, à savoir l'intensification de la production et la sous-utilisation des terres. Les pratiques culturales, les modes de fertilisation/d'assainissement du sol et le recyclage des éléments nutritifs influencent la biodiversité agricole.

Il est avéré que l'intensification de l'agriculture a entraîné directement ou indirectement un déclin et une perte significatifs de biodiversité. Cette détérioration est notamment causée par :

- la réduction du nombre d'espèces/races/variétés utilisées, notamment à cause de la **monoculture**, menaçant un potentiel génétique énorme (animal et végétal) ;
- l'utilisation des pesticides affectant la microfaune ;
- les effets sur les habitats et les écosystèmes.

Les recommandations générales suivantes peuvent être émises :

- Préférer **une mosaïque de cultures** à un seul grand élément en monoculture.
- Ne pas labourer en profondeur, mais préférer le semis direct quand c'est possible.
- **Respecter la rotation** des cultures pour préserver la qualité du sol.
- Prévoir des cultures intercalaires et de couverture, en particulier de légumineuses, qui ajoutent des substances nutritives, fixent l'azote et « pompent » les nutriments à la surface du sol.
- Favoriser les **cultures associées**.
- Utiliser le paillis et le fumier vert (par le biais de la récolte et de l'épandage des résidus des récoltes, des résidus des zones environnantes, des matériaux organiques et/ou sous récolte).
- Favoriser les vers de terre et autres organismes utiles dans le sol pour améliorer sa fertilité, sa teneur en matière organique et le recyclage des éléments nutritifs.

- Réduire l'emploi des produits agrochimiques : limiter les traitements (en particulier des nématicides toxiques qui détruisent les matières organiques et les organismes utiles du sol) et gérer les apports d'intrants (effectuer des analyses de feuilles et de sol).
- Réduire les traitements du sol, même par des méthodes physiques (vapeur ou solarisation) car ils perturbent profondément la biocénose des sols.



D'un autre côté, **la marginalisation progressive et l'abandon de terres agricoles peu fertiles ou rendues stériles** par de mauvaises pratiques agricoles entraîne un appauvrissement des écosystèmes fortement tributaires de la poursuite de telles activités agricoles (ex : association cultures/élevage). La sous-utilisation des terres, l'arrêt du fauchage ou du pâturage, la plantation d'arbres... peuvent engendrer une diminution progressive de la variété dans la flore et dans les espèces qui y vivent.

Le petit producteur, gardien de la biodiversité

Le petit producteur cultive la biodiversité par pure nécessité. Il souhaite avant tout un rendement suffisant qui lui permette d'assurer sa subsistance, éviter la famine pour lui et sa famille. Le plus souvent, il ne dispose pas des moyens nécessaires pour intervenir en cas d'imprévus comme l'absence de pluies, une saison de croissance écourtée, les maladies des plantes et les dégâts causés par les insectes. Sa production n'étant que pas d'abord destinée à la vente, mais prioritairement à sa propre famille, l'uniformité a moins d'intérêt. Son agriculture est avant tout une agriculture vivrière de subsistance, à la recherche de la meilleure sécurité.

Pour limiter les risques, le petit producteur cultive de nombreuses plantes différentes. Il préfère miser sur plusieurs variétés d'une même culture qu'il sème pour être sûr d'en récolter au moins une, si d'aventure la pluie se faisait attendre, par exemple. Il utilise également différentes espèces ou variétés de plantes en fonction de l'usage qu'il peut en faire. C'est le cas, par exemple, des bananes plantain, des bananes à cuire et des bananes à bière. Le champ typique du petit producteur se compose donc de nombreuses plantes : bananes, cannes à sucre, manioc, haricots, maïs, patates douces, papayes..., séparées en général par quelques arbres et arbustes. Le paysan mélange aussi des plantes de hauteurs et d'épaisseurs différentes, par exemple le maïs, les haricots et les plantes fourragères. Cette utilisation judicieuse lui permet de tirer un profit maximum et de sa terre et de l'ensoleillement. Non seulement il protège son sol, mais en plus les déchets des plantes sont recyclés dans la terre. La diversité est donc essentielle à l'agriculteur, car c'est grâce à elle qu'il peut garantir sa sécurité alimentaire.

Dans cet environnement, souvent composé de 10 à 20 sortes de plantes sur un même champ, la diversité animale est également très riche – petits rongeurs, vers, et insectes de toutes sortes... Cette diversité est essentielle pour le producteur, mais elle l'est également pour la préservation et l'accroissement de la biodiversité mondiale dans des conditions de terrain.

(D'après J. Kalders, DGCD, Dimension 3, Janvier/Février 2010)



4. EFFETS DES PESTICIDES SUR LES BIOCÉNOSES

4.1. Effets non intentionnels des pesticides sur les biocénoses

La prise en compte des risques d'effets écologiques ou environnementaux des pesticides sur la biodiversité est particulièrement importante, mais complexe, car elle doit intégrer au mieux des impacts extrêmement divers (**effets directs et indirects** sur les biocénoses), ainsi que des **modifications des équilibres biologiques** souvent progressives ce qui les rend souvent difficiles à percevoir avant qu'il ne soit trop tard pour corriger la situation.



Les micro-crustacés, comme les daphnies, sont particulièrement sensibles aux pesticides présents dans le milieu aquatique. Ils constituent donc de bonnes espèces indicatrices.

Plusieurs effets écologiques peuvent être distingués :

- **Les effets résultant d'une action toxique** à court ou à long terme sur des espèces non cibles et les communautés animales.

La toxicité vis-à-vis des espèces telles que les **abeilles**, les **daphnies**, les **poissons**, les **oiseaux** (caille, pigeon), le **lombric**, la faune du sol (carabes, collemboles, etc.), les algues... est évaluée au laboratoire, en conditions semi-contrôlées et/ou dans les conditions de terrain. La réglementation fixe quelles espèces doivent obligatoirement être considérées lors de la réalisation d'un dossier d'enregistrement. À l'aide de « Lignes directrices » (protocoles normalisés décrits dans les détails, tels que les lignes OCDE, les lignes de l'OEPP, lignes du SETAC...), on établit les valeurs de CL_{50} pour les espèces considérées.

Il ne faut pas négliger les effets indirects sur les écosystèmes : la disparition des insectes entraîne celle des oiseaux ; la raréfaction des lombriciens doit être mise en parallèle avec celles des taupes ; etc.

- **Les effets modifiant les équilibres biologiques.**

Les études écologiques de terrain, lors de grandes campagnes de traitement, sont particulièrement intéressantes. Ainsi, lors des campagnes de lutte chimique contre les glossines, les suivis écologiques des effets de l'endosulfan ont montré un impact faible sur les milieux terrestres mais plus marqué sur les milieux aquatiques (poissons, grenouilles, invertébrés aquatiques) ; par comparaison, la deltaméthrine présentait moins d'effets écologiques nocifs sur les milieux aquatiques.

4.2. Effets de concentration des pesticides dans les chaînes alimentaires (bioconcentration)

En fonction de leurs propriétés physico-chimiques (notamment leur liposolubilité – **Kow**¹⁵) et de leur persistance dans l'environnement (rémanence), les pesticides peuvent se concentrer dans certains organismes et s'accumuler dans les chaînes alimentaires.

La bio-accumulation et la bio-concentration d'un contaminant par un organisme vivant mettent en jeu des phénomènes de **prélèvement** :

- à partir du milieu ambiant (eau, sol, air) : **bioconcentration** ;
- par ingestion (alimentation contaminée) : **bioaccumulation** (avec un transfert possible dans la chaîne alimentaire).

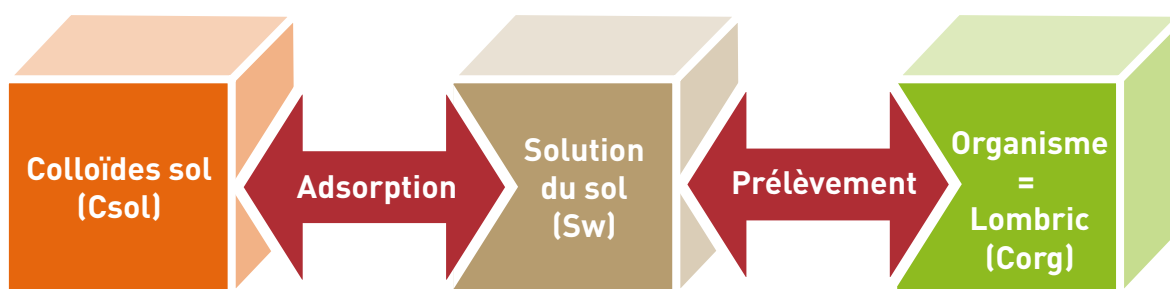
4.2.1. La bioconcentration



Les lombriciens (*Eisenia foetida*) ont été retenus comme organismes tests de la bio-accumulation en raison de leur biomasse élevée à l'ha et parce qu'ils sont la base alimentaire de plus de 200 autres espèces.

Il s'établit un « **équilibre** » entre la concentration du pesticide dans la solution du sol (biodisponibilité), celle dans l'organisme (prélèvement par le lombric) et la quantité fixée sur les colloïdes du sol (adsorption/désorption).

À partir du schéma suivant, on comprendra que la « bioconcentration » d'un pesticide dans un organisme sera limitée par l'adsorption de ce dernier au niveau des particules de sol. Il faut aussi noter que la biodégradation du composé (elle-même dépendante de l'adsorption) influencera également ce processus.

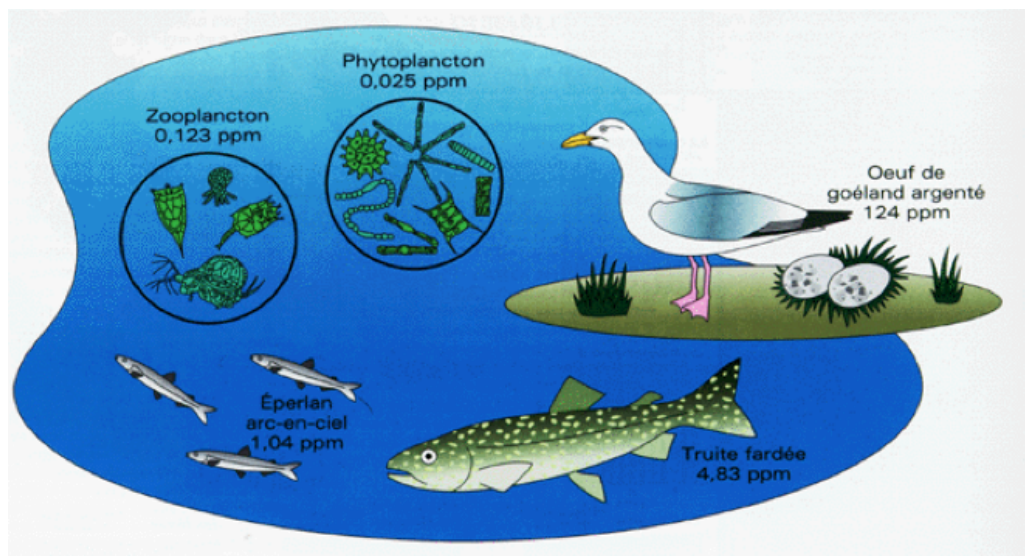


4.2.2. La bioaccumulation et la bioamplification

Le processus d'accumulation est caractérisé par une augmentation de la concentration dans les espèces consommatrices.

On rencontre en très faibles concentrations, dans la plupart des eaux naturelles, les éléments nécessaires à la croissance des végétaux (par exemple, l'azote et le phosphore). Pour obtenir des quantités suffisantes de ces éléments pour sa croissance, le phytoplancton doit les recueillir dans un volume d'eau relativement important.

En même temps qu'il recueille des éléments nutritifs, le phytoplancton absorbe aussi des produits chimiques synthétiques, comme **certains pesticides rémanents**. Ces derniers peuvent exister dans l'eau à des concentrations si faibles qu'on ne peut les mesurer même avec des instruments très sensibles. Toutefois, les produits chimiques **s'accumulent biologiquement** (subissent une bioaccumulation) dans l'organisme, et peuvent se concentrer à des taux beaucoup plus élevés dans les cellules vivantes que dans l'eau libre. Ceci est d'autant plus vrai dans le cas des produits chimiques rémanents – substances qui ne se décomposent pas facilement dans l'environnement – comme le DDT, les dioxines et les PCB qui sont emmagasinés par les tissus adipeux. Ainsi, pour le cas du DDT, par exemple, le produit passe en s'accumulant, des microorganismes aquatiques aux poissons et des poissons aux oiseaux ou à l'homme.



Les poissons de petite taille et le zooplancton consomment de grandes quantités de phytoplancton. C'est ainsi que **tout produit chimique toxique accumulé par le phytoplancton se concentre encore dans l'organisme des animaux qui se nourrissent de ce phytoplancton**. Ce processus se répète à chaque étape de la chaîne trophique. Ce processus d'accroissement de la concentration, en remontant la chaîne trophique, est appelé « **bioamplification** ». La concentration de certains produits chimiques dans les tissus adipeux de prédateurs du sommet de la chaîne trophique, peut être un million de fois plus élevée que leur concentration en eau libre.

Les poissons et les crustacés représentent pour la population de nombreux pays la principale source de protéines alimentaires. Ils sont souvent attrapés dans les rizières ou des lacs directement ou indirectement contaminés par des pesticides agricoles et de lutte contre les vecteurs. Les êtres humains sont des consommateurs à l'intérieur de la chaîne trophique et sont au sommet de plusieurs chaînes alimentaires, mais ils ne subissent pas une exposition aussi importante que les oiseaux par exemple. Cela s'explique du fait que l'être humain a un régime varié qui est composé d'aliments de tous les niveaux de la chaîne, tandis que le goéland (de l'exemple présenté) se nourrit principalement de poisson. Toutefois, les préoccupations concerneront les effets à long terme chez l'être humain d'une exposition à de faibles concentrations de polluants, et sur les incidences chez les personnes qui consomment beaucoup de poisson contaminé.

Les caractéristiques du pesticide à prendre en compte pour la bio-accumulation potentielle d'un pesticide sont :

- sa solubilité préférentielle dans les graisses (caractère hydrophobe) ;
- sa structure physico-chimique ;
- son taux d'ionisation (propension à réaliser des ponts hydrogènes) ;
- sa taille moléculaire (passage à travers les membranes).

5. SÉLECTIVITÉ DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES ET RESPECT DES AUXILIAIRES

Les ennemis naturels des ravageurs des cultures sont naturellement présents dans les milieux non cultivés comme les bordures de champs, les haies. Parmi les agents biologiques, « **auxiliaires** » des agriculteurs, on compte non seulement les ennemis naturels des ravageurs, mais aussi :

- les agents de lutte biologique ;
- les pollinisateurs, naturels ou élevés (bourdons, abeilles), qui assurent la fécondation de nombreuses plantes ;
- les vers de terre (lombriciens), termites et tous les animaux et micro-organismes qui favorisent la fertilité des sols.

Parmi les principaux auxiliaires, on trouve :

Des **coléoptères**, telles les coccinelles, dont les larves et les adultes dévorent pucerons, psylles, cochenilles, acariens. Les coccinelles sont très appréciées pour éliminer les pucerons. Pendant leurs six semaines d'existence, chacune va s'attaquer à un total de 200 à 600 pucerons ; la descendance d'une coccinelle pourrait alors théoriquement venir à bout d'environ 190 000 d'entre eux ! Ou encore les carabes et staphylins dévoreurs de limaces, taupins, hannetons, doryphores, charançons. Bien que carnassiers, les adultes ont besoin de pollen et miellats, donc de fleurs.



Adulte et larve de coccinelle



Aphidius rhopalosiphum adulte

Des **hyménoptères**, « micro-guêpes » butinant pollen et nectar des fleurs, donc pollinisatrices, mais dont les larves sont des parasites : aphidius, ichneumons, trichogrammes... pondent leurs œufs dans les larves de chenilles, de larves de coléoptères et de mouches, qui en meurent.

Des **diptères**, mouches ou moucherons également butineurs donc pollinisateurs, mais dont les larves ou « asticots » sont carnassières (ex. : syrphes), dévoreuses de pucerons et de larves, ou parasites lorsque la mouche pond ses œufs dans des chenilles et autres larves de ravageurs.



Adulte et larve du syrphe, Episyrphus balteatus



Anthocoris nemorum adulte

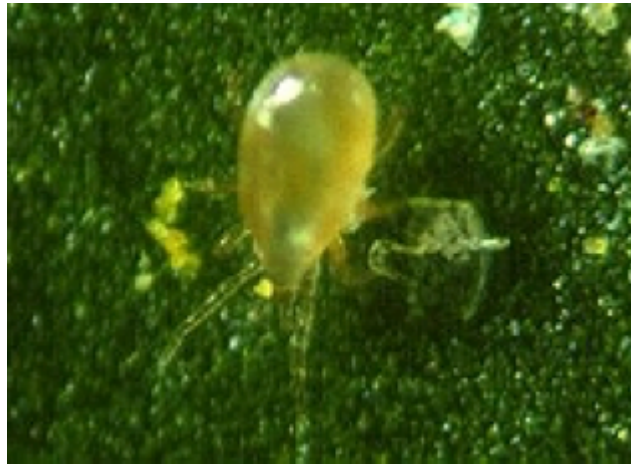
Des **hétéroptères**, petites punaises dont les adultes comme les larves sont des prédateurs de pucerons, de chenilles, d'acariens, de psylles, cicadelles et autres ravageurs. Les larves et les adultes d'anthocoris détruisent en 20 jours 300 à 600 acariens, ou 100 à 200 pucerons. Elles ont pour proies principalement les psylles et les pucerons sur les arbres fruitiers, la vigne, les grandes cultures, les cultures légumières et les cultures ornementales.

Des **névroptères**, minuscules cigales dont les larves sont encore plus carnassières que celles des punaises : 500 pucerons en 15-20 jours. Ils dévorent également des œufs de chenilles, acariens, cochenilles. Les adultes se contentent de nectar, pollen et miellat. Ils ont donc besoin de fleurs.



Chrysope adulte

Des **acariens** : de minuscules araignées (rouges ou jaunes) sont de redoutables phytophages, des prédateurs d'acariens nuisibles, de pucerons, thrips et cicadelles.



Phytoseiulus persimilis

La « **lutte biologique** » utilise notamment ces insectes et acariens auxiliaires pour lutter contre les ennemis des cultures. Ils sont d'ailleurs commercialisés et lâchés dans les cultures sous forme de larves, de nymphes ou d'adultes. Ainsi, des producteurs n'hésitent pas à réaliser des lâchers de coccinelles, de micro-guêpes, d'acariens, pour réduire la population des insectes et acariens qui détériorent les légumes.

Cependant, leur utilisation nécessite non seulement du producteur une très bonne connaissance des cycles biologiques des ravageurs et des auxiliaires ainsi que du temps à consacrer à l'observation des cultures, mais aussi une bonne disponibilité des auxiliaires au moment opportun. Ces conditions n'étant pas aisées à réunir, il est donc souvent préférable de **protéger les populations indigènes d'auxiliaires** et de favoriser leur développement naturel dans le milieu, à proximité des cultures.



Étant donné l'emploi croissant des pesticides, l'évaluation des effets de ces produits toxiques sur les arthropodes utiles revêt une importance toute particulière dans la mesure où la connaissance de la **sélectivité des pesticides** est une donnée nécessaire dans les programmes de « **lutte intégrée** » en cultures maraîchères et fruitières. Dans le contexte d'une agriculture durable et la mise en place de systèmes de production intégrée, l'utilisation de pesticides sélectifs vis-à-vis des ennemis naturels des ravageurs est devenue une nécessité, fréquemment exigée dans les cahiers de charges et les standards de qualité.

L'utilisation de **pesticides non sélectifs** vis-à-vis des ennemis naturels des ravageurs a des **conséquences négatives importantes**. En effet, l'élimination par un pesticide des parasites et des prédateurs des ravageurs des cultures permet un **développement rapide** de ces derniers peu après un traitement destiné à les combattre (« **effet boomerang** » des traitements), avec souvent des niveaux de populations très supérieurs avec ceux observés peu avant l'intervention insecticide. L'apparition de ravageurs considérés auparavant comme économiquement secondaires, favorisée par l'élimination de leurs

ennemis naturels, est également une conséquence fréquemment observée de l'utilisation de pesticides non sélectifs, que ce soit insecticide, herbicide ou fongicide. Ces deux phénomènes, tout à fait évitables si des pesticides « sélectifs » avaient été utilisés au départ, entraînent une **multiplication inutile des traitements**, augmentent les coûts de production et l'impact négatif de la lutte sur la santé humaine et sur l'environnement.

Les procédures d'homologation des pesticides en vigueur dans l'UE imposent au fabricant de vérifier la sélectivité de ses substances actives et formulations à l'égard d'organismes auxiliaires avant de délivrer toute autorisation de mise sur le marché. Un minimum de 2 organismes (*Aphidius rhopalosiphii* et *Typhlodromus pyri*), mais parfois jusqu'à 6 auxiliaires différents, peuvent être requis pour les tests. *In fine*, une meilleure connaissance de la toxicité au champ des pesticides à l'égard des auxiliaires devrait permettre, par l'intermédiaire de classements en « listes de sélectivité », de mieux conseiller l'agriculteur dans le choix de produits respectueux de l'entomofaune utile. De la sorte, le nombre de traitements insecticides pourrait être limité au minimum en améliorant d'autant la rentabilité de la culture.

L'évaluation de la **toxicité (sélectivité)** d'un produit phytosanitaire à l'égard d'un auxiliaire est réalisée classiquement suivant un schéma séquentiel. Dans un premier temps, le produit est testé par application sur un substrat inerte tel que le verre ou le sable. L'auxiliaire visé est mis en contact avec ce substrat pendant une période déterminée. Après exposition, les mortalités sont enregistrées et les capacités des survivants à se reproduire sont évaluées. Si des effets sont observés, des tests supplémentaires sont réalisés dans des conditions moins sévères, par exemple en utilisant des feuilles ou des portions de plantes traitées (*extended laboratory tests*), en conditions contrôlées. Si le produit s'avère toujours toxique, il sera évalué par la suite en conditions semi-naturelles (par exemple sur des plantes entières en petites parcelles ou en milieux cloisonnés), voire directement en conditions de plein champ.

Malheureusement, les résultats de l'évaluation de la toxicité des pesticides à l'égard des auxiliaires, en conditions naturelles ou semi-naturelles, dépendent des conditions spécifiques de l'essai : température, humidité, pluviométrie, luminosité... La répétabilité est difficile à assurer et **il est malaisé d'obtenir des résultats de sélectivité réellement représentatifs de conditions naturelles**. L'abondance et la vigueur des insectes, tant les nuisibles que les auxiliaires, sont souvent très variables rendant l'interprétation des résultats des essais délicate, voire impossible. Les concentrations des dépôts de pesticides auxquels sont exposés après application les insectes pendant les essais sont également très hétérogènes. Il est donc nécessaire d'effectuer de nombreuses répétitions de ces essais avant d'obtenir un résultat moyen le plus proche de la réalité ; mais finalement, ni le choix des auxiliaires ni les méthodes d'évaluation sur plaque, sable ou en conditions semi-contrôlées utilisées, ne peuvent être considérés comme réellement représentatifs de la sensibilité de tous les insectes utiles et les résultats obtenus par les chercheurs en Europe sont difficilement extrapolables à toutes les cultures, sans doute pas aux auxiliaires des cultures maraîchères et fruitières des pays ACP !



Chapter 7

La gestion durable de l'énergie

| | |
|--|-----|
| Changement climatique et gestion de l'énergie..... | 214 |
| Besoins énergétiques et économie de l'énergie de base..... | 219 |
| La transition énergétique..... | 224 |

1. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET GESTION DE L'ÉNERGIE

1.1. Les défis du changement climatique pour le secteur agricole



Le changement climatique (Source : Futura-sciences.com)

Le secteur agricole est confronté à des défis à différents niveaux, principalement liés aux effets du **changement climatique**. Ces changements climatiques, causés par les activités anthropiques, ont **affecté la disponibilité des ressources naturelles** adéquates et de qualité de l'atmosphère, du sol et de l'eau. Jamais auparavant les agriculteurs n'ont dû autant faire appel à « l'innovation » et à la « créativité » pour survivre sur les marchés locaux, régionaux, nationaux ou mondiaux, et pour faire face à la pression sans précédent exercée sur les systèmes de soutien de la vie de la planète. En bref, **le changement climatique affecte la capacité du secteur agricole à assurer la sécurité alimentaire** des populations locales.

Les secteurs les plus touchés semblent être l'agriculture et les entreprises agricoles des pays fortement dépendants des intrants agricoles par rapport au PIB. Ces pays, qui comprennent les pays ACP, sont particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique et à la pression supplémentaire de populations en expansion. Les prédictions suggèrent que d'ici 2050, la population mondiale augmentera d'un tiers et qu'une grande partie de ces personnes supplémentaires vivront dans les pays à faible PIB.

La FAO (2013) estime que la production agricole devra augmenter de 60% d'ici 2050 pour satisfaire la demande alimentaire attendue étant donné que les tendances actuelles de croissance des revenus et de la consommation se poursuivent.



Par conséquent, **le secteur agricole doit vraiment se transformer** pour nourrir une population mondiale croissante, pour jeter les bases d'une croissance économique continue et réduire la pauvreté dans les pays ayant des PIB plus faibles. Malheureusement, **l'impact du changement climatique rendra cette tâche bien plus difficile** dans un scénario de statu quo, en raison des impacts négatifs sur l'agriculture et des coûts croissants nécessaires pour contrer ces impacts.

1.2. Principaux défis énergétiques

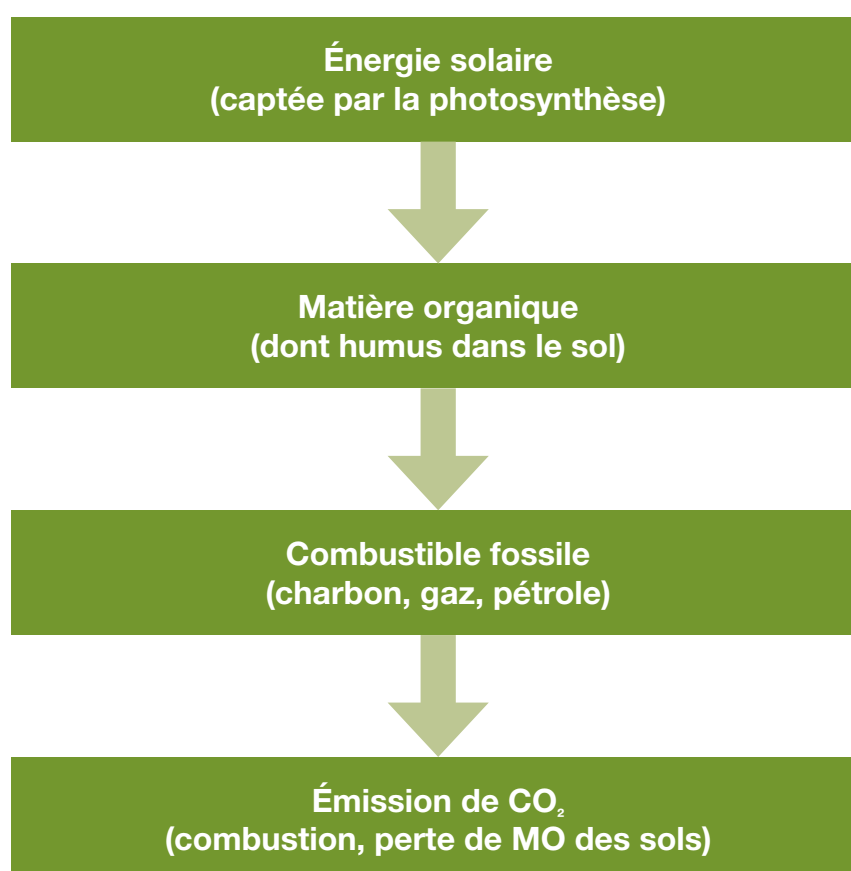
L'impact cumulatif de la modification des modes de consommation alimentaire est directement lié à la **croissance économique**, à l'augmentation des capacités de consommation, à l'émergence de nouvelles technologies, aux changements démographiques, aux modes de vie et aux impacts du changement climatique (OCDE, 2017). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a recommandé que l'un des moyens d'atténuer les effets du changement climatique soit d'**accroître l'efficacité énergétique à court terme**.

La FAO (2011) affirme qu'à l'échelle mondiale, le système alimentaire représente environ 30% de la consommation mondiale totale d'énergie et plus de 70 % sont consommés au-delà de la ferme, ce qui produit environ un cinquième des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES).

Beaucoup plus alarmant est le fait que plus d'**un tiers de la production alimentaire est perdue ou gaspillée**, et avec elle environ 38% de l'énergie consommée dans la chaîne agroalimentaire.

À l'heure actuelle, la plus grande partie de l'énergie utilisée provient des **combustibles fossiles** qui se sont révélés parmi les plus importants contributeurs aux émissions de GES. Il y a donc un besoin réel et urgent pour tous ceux qui sont impliqués dans les chaînes agroalimentaires de **devenir plus efficaces dans leur consommation d'énergie**.

Les combustibles fossiles sont une « énergie solaire » du passé :



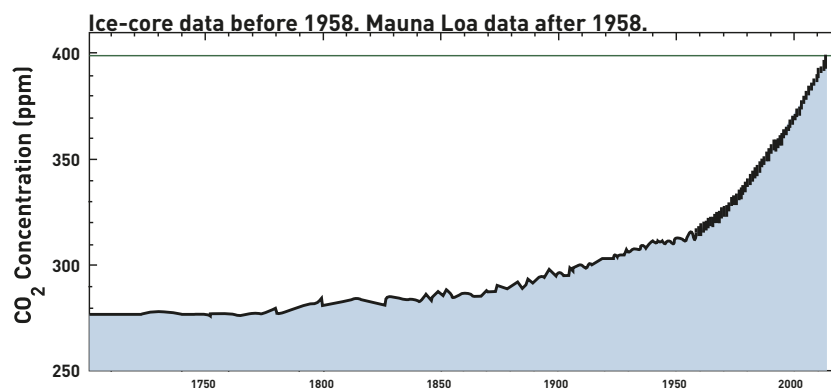
L'efficacité énergétique peut apporter un triple gain :

- Un environnement protégé et conservé ;
- Une situation socio-économie en amélioration dans un développement durable ;
- L'assurance de la durabilité et la viabilité économique des contributions des propriétaires de petites et grandes entreprises.

Au niveau des chaînes agro-alimentaires l'adaptation comprend la **sélection judicieuse des technologies énergétiques** qui maintiennent la production et d'autres activités à valeur ajoutée pour les chaînes agroalimentaires.

1.3. Interaction entre changement climatique et utilisation de technologies d'énergie renouvelable

Les données recueillies au cours des dernières décennies confirment que la consommation de combustibles fossiles représente la majorité des émissions anthropiques mondiales de GES. **Et, par conséquent, que les concentrations de CO₂ avaient augmenté à plus de 390 ppm, soit 39 % de plus que les niveaux préindustriels, à la fin de 2010.**



Evolution de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère au cours du temps (Source : Futura-sciences.com)

Heureusement, **plusieurs options peuvent être appliquées** pour aider à réduire les émissions de GES du système énergétique tout en satisfaisant la demande mondiale de services énergétiques.

Entre autres:

- Conservation de l'énergie et efficacité ;
- Commutation des combustibles fossiles, par exemple du charbon au gaz naturel, et ER (énergie renouvelable).

1.3.1. Agriculture intelligente face au climat (CSA)

Le changement climatique a déjà un impact marqué sur l'agriculture et la sécurité alimentaire en raison de la prévalence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes et de l'imprévisibilité émergente des régimes météorologiques. L'agriculture intelligente face au climat (CSA), telle que **définie et présentée par la FAO** à la Conférence de La Haye sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et le changement climatique en 2010, contribue à la réalisation des objectifs de développement durable.

La **CSA intègre les trois dimensions du développement durable** (économique, sociale et environnementale) en abordant conjointement la sécurité alimentaire et les défis climatiques.

Elle est composée de **trois piliers principaux** :

1. Augmenter durablement la productivité et les revenus agricoles ;
2. Adapter et renforcer la résilience au changement climatique ;
3. Réduire et/ou éliminer les émissions de GES.

Les co-bénéfices de ce passage d'une dépendance aux combustibles fossiles à l'ER aident à l'adaptation au changement climatique en réduisant l'impact cumulatif des émissions de GES.

1.3.2. *Systèmes d'alimentation intelligents en énergie*

La voie à suivre pour ceux qui produisent et ceux qui transforment « au-delà » de la ferme est d'évoluer vers des systèmes alimentaires éco-énergétiques. Ces systèmes améliorent l'efficacité énergétique, augmentent l'utilisation et la production d'énergie renouvelable et élargissent l'accès aux services énergétiques modernes dans les chaînes agroalimentaires.

Selon la FAO, les systèmes d'alimentation intelligents en énergie devraient aborder les **questions suivantes** :

- L'énergie nécessaire pour assurer la sécurité alimentaire ;
- Les technologies liées à CSA ;
- La pauvreté énergétique dans le développement rural ;
- La contribution au développement de la valeur alimentaire verte et inclusive ;
- La contribution à un accès sûr à l'énergie durable dans les contextes d'urgence et/ou de réadaptation

Toutes ces aspirations ne mènent nulle part à moins que tous les pays ne puissent garantir aux agriculteurs et aux autres acteurs de la chaîne agroalimentaire l'accès à l'énergie durable, ce qui est l'aspiration de l'initiative « SE4All » des Nations Unies.

1.3.3. *Énergie durable pour tous - SE4All*

La transition énergétique mondiale a besoin des **objectifs de l'initiative SE4All** qui sont les suivants:

- Une augmentation rapide de la productivité énergétique ;
- Une nouvelle génération d'institutions pour gérer nos systèmes énergétiques ;
- Une approche intégrée de l'énergie qui englobe des sources centralisées et décentralisées ;
- Une part toujours croissante des énergies renouvelables dans le mix.



La transition énergétique doit être une transition « juste », toutes les parties prenantes doivent être prises en compte, personne ne doit être laissée derrière.

1.4. Sources d'énergie

Par définition, les combustibles fossiles sont formés par des processus naturels, tels que la décomposition anaérobie des organismes morts enterrés, contenant de l'énergie provenant de la photosynthèse ancienne. Utilisés seuls, les combustibles fossiles ne sont généralement pas reconnus comme fournissant des co-bénéfices.

Contrairement aux combustibles fossiles qui sont à l'origine de fortes émissions de GES, les technologies d'ER souvent largement utilisées dans les CSA et les systèmes énergétiques intelligents ont tendance à être adaptées à partir des ressources éoliennes, solaires, hydroélectriques, géothermiques et de la biomasse.

La combinaison de technologies énergétiques appropriées, d'équipements et d'installations améliore l'efficacité énergétique, réduit les émissions de GES et contribue à la sécurité alimentaire. Avant de prendre des décisions concernant les types de mélanges énergétiques appropriés, il est important d'étudier, de calculer les coûts et de planifier pour déterminer si la combinaison sélectionnée de types d'énergie offre plus d'avantages que d'inconvénients.

2. BESOINS ÉNERGÉTIQUES ET ÉCONOMIE DE L'ÉNERGIE DE BASE

L'analyse financière et économique est plus un art qu'une science pour les aspects économiques de la gestion de l'énergie. D'une manière générale, la gestion de l'énergie, avec de courtes périodes de récupération, ne nécessite pas toujours une évaluation sophistiquée.

Selon la taille de l'entreprise et le but de l'investissement proposé, il existe **trois types de méthodes couramment utilisées pour déterminer les avantages** par rapport aux coûts des investissements dans les technologies énergétiques:

- Analyse coûts-avantages (Cost-Benefits Analysis, CBA) ;
- Evaluation du coût du cycle de vie (Life Cycle Cost Assessment, LCCA) ;
- Evaluation du cycle de vie (Life Cycle Assessment, LCA).

2.1. Efficacité énergétique et choix de la source d'énergie

Les pratiques de production et de transformation existantes à l'intérieur et à l'extérieur de la ferme peuvent être adaptées pour qu'elles consomment moins d'énergie et fournissent en même temps des denrées alimentaires de manière sûre et respectueuse de l'environnement.

Les technologies d'ER sont préférées aux combustibles fossiles malgré le fait que les coûts de démarrage sont généralement plus élevés que ceux des combustibles fossiles. Non seulement parce que les émissions de GES sont plus faibles, mais aussi parce que le coût de la plupart des technologies d'ER continue de diminuer.

2.1.1. Systèmes de gestion de l'énergie - ISO 50001 et ISO 50002

L'ISO 50001/50002 est la norme du système de gestion de l'énergie qui spécifie les exigences pour établir, mettre en œuvre, maintenir et améliorer un système de gestion de l'énergie (ou *Energy Management System*, EnMS). Son objectif est de permettre à une organisation d'améliorer continuellement sa performance énergétique, y compris les aspects d'efficacité énergétique, sécurité énergétique, consommation d'énergie et consommation.

Le terme « gestion de l'énergie » signifie beaucoup de choses différentes pour différentes personnes. En règle générale, il implique l'application d'au moins trois principes :

- Acheter le mélange d'approvisionnement en énergie au prix le plus bas possible par unité de production d'énergie utile ;
- Gestion de la conversion d'énergie et consommation d'efficacité maximale ;
- Utilisation de la technologie la plus appropriée.

2.1.2. Le cycle Plan-Do-Check-Act (PDCA)

Les normes ISO 50001/50002 sont basées sur le cycle PDCA (Plan-Do-Check-Act). PDCA est une méthode de gestion itérative en quatre étapes utilisées dans les entreprises pour le contrôle et l'amélioration continue des processus et des produits.

2.1.3. Audit énergétique

Un audit énergétique (ou *Energy Review*) est une étude de la manière dont l'énergie est utilisée dans une installation et une analyse des alternatives qui pourraient être utilisées pour réduire les coûts énergétiques. Les types d'examens énergétiques :

- Audit de passage : une inspection visuelle de l'installation est effectuée pour déterminer les possibilités d'économie d'énergie liées à la maintenance et à l'exploitation, ainsi que la collecte de données pour déterminer le besoin d'une analyse plus détaillée.
- Audit complet : nécessite des tests et des mesures pour quantifier les utilisations et les pertes d'énergie, déterminer les aspects économiques des changements et évaluer davantage la quantité d'énergie utilisée pour chaque fonction.

Un audit énergétique est décomposé en plusieurs étapes :

- Planification ;
- Définition des responsabilités et des délais, organiser une réunion ;
- Définition de la portée et des limites en fonction d'une utilisation significative de l'énergie, de la ligne de production ou du réseau de distribution ;
- Visites des sites pour inventorier les équipements de production et de production d'énergie spécifiques ;
- Considération des principaux systèmes : enveloppe du bâtiment, système de chauffage / ventilation / climatisation (CVC), système d'alimentation électrique, etc.

2.2. Utilisation efficace de l'énergie, voies de rationalisation, bilan énergétique

2.2.1. Utilisation efficace de l'énergie

L'évolution de l'agriculture ou d'une entreprise agricole moderne se caractérise par un recours à des apports d'énergie de plus en plus important pour accroître la productivité. Dans le contexte d'une utilisation efficace de l'énergie, il est primordial d'analyser les voies de rationalisation de la consommation énergétique dans ces entreprises agricoles. En effet, l'énergie nécessaire pour l'équilibre énergétique du corps humain, l'homme l'obtient de sa nourriture.

Cette nourriture est produite par l'agriculture qui est donc source d'énergie. Tout comme l'alimentation humaine correspond à un système énergétique, l'agriculture est également caractérisée par un input et un output d'énergie. L'équilibre énergétique des entreprises agricoles, comme l'activité humaine, consomme de l'énergie pour ses moyens de production. L'évaluation de la consommation d'énergie est la première étape vers l'amélioration de la gestion de l'énergie. La rationalisation peut être envisagée après avoir analysé la disponibilité énergétique et les différents coûts, les moyens de diminuer la consommation d'énergie et les gains économiques et environnementaux générés.

2.2.2. Accès à l'énergie

Les entreprises agricoles utilisent l'énergie à la fois directement sous forme de carburant (essence, diesel, gaz naturel), d'électricité et, indirectement, en utilisant des intrants à forte intensité énergétique tels que, les engrais et les pesticides.

L'énergie étant au cœur de toutes les opérations agricoles, **il est essentiel que les agriculteurs et les entreprises adoptent de nouvelles idées visant à utiliser l'énergie de manière efficace et efficiente**. Et, comme toute entreprise moderne, l'agriculteur ou l'entreprise peut ainsi bénéficier de ce concept en réduisant les coûts d'exploitation, en minimisant les risques, voire en générant des revenus supplémentaires en vendant l'excédent d'énergie sur site.

Une utilisation efficace de l'énergie profite non seulement à la communauté mondiale sous la forme de co-bénéfices et de sécurité alimentaire mais l'efficacité dans l'utilisation de l'énergie peut aussi :

- Entraver ou soutenir les plans de développement régionaux ;
- Faire ou défaire les communautés agricoles.

Cependant, **la réalité actuelle est que la plupart des petits propriétaires terriens et des entreprises dans de nombreux pays ACP, ont parfois un accès limité à l'énergie** avec parfois des prix volatils. Cette disponibilité d'énergie a un impact global sur la durabilité d'une chaîne agroalimentaire ou de l'entreprise agricole. Les États membres de la CARICOM sont principalement des importateurs de combustibles fossiles (producteurs d'hydrocarbures ou non et autres producteurs d'énergie). Dans l'ensemble, les États membres de la CARICOM ne sont pas des acteurs majeurs sur les marchés mondiaux et sont donc les otages des caprices de l'offre internationale et de la fixation des prix des combustibles fossiles. La majorité des petits États insulaires du Pacifique (PEID) dépend presque exclusivement de produits pétroliers raffinés importés pour répondre à leurs besoins en énergie et en énergie de transport.

Le continent africain, les pays ACP africains ont des approvisionnements locaux en combustibles fossiles qui sont échangés sur une base intra-régionale. Cependant, malgré l'abondance de l'approvisionnement en combustibles fossiles dans certaines régions, de nombreux pays restent des importateurs nets d'énergie.

Dans tous les cas, les défis sont liés à la faible sécurité de l'approvisionnement énergétique, à la pauvreté énergétique à divers niveaux et à la nécessité urgente de réduire l'empreinte carbone régionale afin d'améliorer la compatibilité climatique du secteur de l'énergie.

2.2.3. Les points où la réduction de la consommation est possible

La transformation, le système post-récolte, le stockage et le refroidissement sont considérés comme des étapes énergivores des chaînes agroalimentaires ou des entreprises agricoles qui dépendent de l'énergie conventionnelle dérivée des combustibles fossiles.

Toutes ces activités dans les systèmes de production alimentaire sont nécessaires pour transformer les produits alimentaires bruts en produits de consommation destinés aux marchés locaux, nationaux et d'exportation.

Ces activités nécessitent **des apports énergétiques directs et indirects** :

- Les apports énergétiques directs : combustibles pétroliers pour les tracteurs et les autres engins, les installations d'irrigation, électricité pour moteurs, éclairage, réfrigération et le gaz naturel pour le chauffage de l'eau.

- Les intrants énergétiques indirects comprennent ceux utilisés pour la fabrication et la livraison d'engrais et de produits agrochimiques ou mis ce qui est absorbés dans les bâtiments agricoles, les machines, les usines et le transport.

Alors, les différentes étapes où les apports énergétiques révèlent des points de réduction possible de la consommation se retrouvent au niveau :

- De l'étape de la production : utilisation de simples pompes manuelles pour les traitements phytosanitaires, des plateaux perforés et des bassins de drainage.
- Du stade de récolte : travailler pendant les périodes froides de la journée et utiliser les solutions *low-tech* pour les opérations de séchages et de nettoyage.
- Étape post-récolte : favoriser plus le travail manuel pour le nettoyage, les opérations de tri, calibrage et de l'emballage.
- La ventilation naturelle est un point de réduction de la consommation énergétique dans les entreprises agricoles.

■ Efficacité énergétique

À l'échelle mondiale, l'augmentation exponentielle de la consommation d'énergie par le secteur agricole a rendu la plupart des agriculteurs et des autres acteurs du secteur agricole vulnérables aux coûts élevés de l'énergie et à la volatilité des fluctuations du marché. Pourtant, si elles sont mises en œuvre de manière efficace, les mesures d'efficacité énergétique peuvent aider les producteurs agricoles à réduire la quantité d'énergie qu'ils utilisent sans nuire à la productivité et en réduisant en même temps leurs coûts énergétiques. Cela leur permettra d'être moins vulnérables et de contribuer à plus d'économies locales.

En fait, il existe de nombreuses possibilités d'économies d'énergie directes dans les entreprises agricoles en intégrant les technologies d'ER dans les systèmes énergétiques. Cette intégration a lieu dans de nombreux domaines opérationnels, notamment les systèmes de ventilation haute efficacité, les variateurs de vitesse, les compresseurs à haut rendement, les récupérateurs de chaleur, les pré-refroidisseurs, l'éclairage haute efficacité et les systèmes de chauffage haute efficacité.

D'autres possibilités d'économies indirectes d'énergie peuvent être trouvées sous la forme de fermes biologiques, qui consomment beaucoup moins d'énergie fossile que leurs équivalents conventionnels. **Les fermes biologiques offrent des avantages triples** aux entreprises et aux communautés agricoles :

- Meilleure qualité nutritionnelle des produits ;
- Réduction de la pollution des nappes phréatiques, aide à minimiser l'absorption d'eau (grâce au travail du sol et au paillage) et maintien de la qualité de l'eau ;
- Réduction de l'usage des pesticides, ce qui contribue à la préservation de la biodiversité, réduit les résidus de pesticides et réduit l'exposition des travailleurs aux pesticides, réduit les coûts opérationnels totaux de la rentabilité.

■ Stratégies de minimisation et de maximisation / Approche pour limiter la consommation d'énergie

Dans les centrales thermiques, l'apport d'énergie se réfère à la chaleur introduite dans le procédé et à l'électricité obtenue comme sortie utile.

Les deux éléments sont des flux d'énergie et peuvent être quantifiés en utilisant des calculs thermodynamiques qui aboutissent à une valeur absolue d'efficacité. Il est donc, recommandé aux producteurs et entrepreneurs de **réaliser toujours un audit énergétique**.

Une fois que les résultats et les recommandations de l'audit énergétique sont disponibles, les agriculteurs ou les entreprises pourront choisir d'adopter des stratégies communément appelées maximisation ou minimisation pour améliorer l'efficacité énergétique globale. L'efficacité implique toujours à la fois les ressources utilisées et les services fournis.

On considère que l'efficacité a été améliorée si :

- Avec une même consommation de ressource, on obtient un meilleur service que précédemment, c'est la stratégie de maximisation, ou si,
- Pour le même service fourni, on utilise moins de ressources, c'est la stratégie de minimisation.

Le **premier défi à relever** pour limiter la consommation d'énergie dans une ferme / entreprise est la définition des limites du système énergétique et des installations qui consiste à définir une frontière de système de façon très spécifique. Cette définition appliquée au «système» est tout bâtiment consommant de l'énergie, une zone dans un bâtiment, un système d'exploitation, une collection d'équipement ou une pièce d'équipement autour de laquelle une limite peut être placée au sens figuré. Les flux d'énergie qui traversent la frontière doivent être pris en compte afin de pouvoir quantifier les flux émis et les flux sortants.

Le **deuxième défi** est la collecte de données de flux d'énergie provenant de diverses sources, y compris des mesures directes et en considérant uniquement les flux d'énergie qui traversent la frontière du système telle qu'elle a été définie.

Enfin, le **troisième défi** conduira l'agriculteur ou l'entrepreneur agricole à réaliser un programme de sensibilisation/information des employés sur la politique énergétique de l'entreprise avec les objectifs de la gestion de l'énergie et les responsabilités de chacun.

Pour améliorer l'efficacité énergétique, **il est également important d'identifier les zones où la consommation d'énergie peut être réduite**. Certaines mesures doivent être prises pour arriver à l'efficacité énergétique dont :

- Des examens réguliers de la consommation d'énergie en portant attention aux factures d'énergie ou aux habitudes de consommation de carburant antérieures ;
- Entreprendre des évaluations de sites pour enregistrer l'équipement utilisé et les données de performance ;
- Effectuer une analyse technique et des coûts. Pour l'analyse technique, un simple bilan énergétique peut être réalisé ;
- Rédiger des plans d'action pour identifier les mesures d'efficacité énergétique pouvant être prises pour améliorer les coûts et les économies d'énergie.

3. LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

3.1. Entreprendre un bilan énergétique dans une entreprise agricole

L'entreprise agricole doit au préalable développer une base de référence énergétique basée sur des indicateurs de performance énergétique à intégrer dans les systèmes de gestion de l'énergie ou pour aider aux audits énergétiques.

La base de référence énergétique est un résumé de l'utilisation totale d'énergie définie pour la période de référence et les paramètres de production de la référence. L'entreprise agricole disposera des **indicateurs de performance énergétiques (EnPI)** appropriés pour surveiller et mesurer la performance énergétique du système.

3.1.1. Base de référence énergétique

Les changements dans la performance énergétique sont mesurés par rapport aux valeurs de référence d'origine. Les lignes de base doivent être ajustées dans le cas d'un ou de plusieurs des éléments suivants :

- Les indicateurs de performance énergétique ne reflètent plus l'utilisation et la consommation d'énergie de l'organisation ;
- Des changements majeurs ont été apportés au processus, aux modèles opérationnels ou aux systèmes énergétiques ;
- Selon une méthode prédéterminée telle que définie dans la procédure.

3.1.2. Indicateurs de performance énergétique

La méthodologie de détermination et de mise à jour des EnPI est établie dans les procédures du système de gestion de l'énergie et les enregistrements conservés. Les EnPI sont régulièrement examinés et comparés à la base de références énergétiques, le cas échéant. Les indicateurs **doivent de préférence être conformes aux exigences de l'ISO 50001** pour permettre la comparaison et l'étalonnage interne et externe.

Les différents types d'indicateurs (EnPI) utilisés sont les suivants :

- Indicateurs basés sur les données opérationnelles (avance et retard) : La performance énergétique est généralement évaluée avec des « indicateurs retardés » qui sont des mesures rétrospectives basées sur des données opérationnelles réelles, reflétant la situation «avant» de la performance énergétique.
- Indicateurs de niveau opérationnel : Ces indicateurs sont généralement des fonctions de processus relativement simples calculées sur une base semi ou entièrement continue afin de mesurer et de surveiller la consommation d'énergie à court terme, jusqu'à une seule unité ou installation.
- Indicateurs au niveau du site : Ces indicateurs sont basés sur des données agrégées du site et sont généralement calculés sur une base trimestrielle ou annuelle. Ils servent à mesurer et surveiller l'efficacité énergétique du site au fil du temps et/ou pairs. Les Indicateurs au niveau du site permettent de mesurer la consommation d'énergie absolue et la consommation d'énergie spécifique. En conséquence, chaque zone d'exploitation a sa propre consommation d'énergie structurelle qui reflète les tâches spécifiques qu'elle réalise.

Toutes les informations recueillies par ce processus, l'agriculteur et/ou l'entrepreneur agricole devra pouvoir **réaliser le bilan de l'entreprise**. Un bilan énergétique est une considération de l'apport d'énergie, de la production et de la consommation ou de la production dans un processus ou une étape. Les indicateurs de performance énergétique spécifiques sont essentiels pour une meilleure évaluation de la consommation énergétique d'une entreprise. Pour réaliser son bilan énergétique l'agriculteur et/ou l'entrepreneur agricole prendra en compte :

- La liste de tous les intrants énergétiques afin de connaître le coût réel de la consommation énergétique au travers de l'analyse des données recueillies ;
- Le calcul exhaustif de la quantité d'énergie par équipement est obligatoire pour un bilan réaliste et fiable ;
- La rédaction d'un plan d'action énergétique afin de permettre à chaque département concerné de déterminer son potentiel d'économies ;
- La formulation des objectifs énergétiques spécifiques et la surveillance de la consommation d'énergie sont réalisées sur la base des opportunités d'améliorations identifiées.

3.2. La transition énergétique

La transition énergétique désigne le renoncement de certaines énergies traditionnelles au profit d'un modèle de production et de consommation plus durable face aux enjeux socio-économiques et environnementaux. Elle a un objectif écologique le changement du système énergétique actuel vers un nouveau système énergétique basé sur les ressources renouvelables.

Deux facteurs impactent les acteurs de toutes tailles impliquées dans les chaînes agroalimentaires en matière de consommation d'énergie.

Le premier consiste à comprendre comment les entreprises agricoles utilisent l'énergie directement sous forme de carburant (essence, diesel, gaz naturel) et d'électricité et, indirectement, en utilisant des intrants à forte intensité énergétique.

Le deuxième facteur consiste à adopter de nouvelles idées qui visent à utiliser l'énergie de manière efficace pour plusieurs raisons dites co-bénéfices :

- Réduire les émissions de GES ;
- Assurer la sécurité alimentaire à long terme ;
- Réduire les coûts d'exploitation et augmenter les profits.

Avant que ces co-bénéfices ne soient réalisés, une transition énergétique, c'est-à-dire **un changement structurel à long terme dans un système énergétique doit avoir lieu**. Cela implique de **réduire l'indépendance sur les combustibles fossiles**, les coûts de production énergétique et l'impact environnemental en initiant un processus de transition énergétique basé sur des technologies appropriées, adaptées et disponibles.

3.2.1. Utilisation actuelle des ressources énergétiques renouvelables dans les filières agroalimentaires dans les pays ACP

Dans la plupart des pays ACP, l'agriculture et les activités agroalimentaires connexes sont au cœur des économies rurales. Bien que l'intégration de l'utilisation des terres à des fins agricoles et énergétiques croisse, les coûts d'investissement restent élevés.

Le manque de financement, l'éloignement de la demande énergétique y compris l'accès aux réseaux électriques et gaziers, la concurrence pour l'utilisation des terres et les contraintes de transport constituent des obstacles dans la mise en œuvre des nouvelles technologies appropriées. Les limitations de l'approvisionnement en eau et le manque de compétences et de connaissances de la part des propriétaires fonciers et des gestionnaires influencent sur la façon de faire une transition énergétique. Pour relever ce défi, diverses initiatives liées aux politiques et à la gouvernance ont été mises en place dans les Caraïbes et le Pacifique pour faire face à cette situation.

En outre, la **Facilité Energie ACP-UE** a joué un rôle déterminant dans le financement des initiatives politique et de gouvernance à travers le continent africain. Ces actions aident à introduire les technologies d'ER dans les zones rurales. Le but est de stimuler la productivité agricole, de réduire les pertes alimentaires et les importations alimentaires, d'éliminer la malnutrition et d'accroître la résilience à la variabilité climatique.

La Facilité Energie ACP-UE a favorisé l'accès aux services énergétiques dans les zones rurales et périurbaines et a amélioré la gouvernance énergétique et le développement des capacités des pays ACP africains à travers :

- Le Pool Energie de l'Afrique de l'Ouest (WAPP) qui est une institution spécialisée sous la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) ;
- Le CAPP (Central African Power Pool), organe spécialisé de la CEEAC (Communauté Economique des Etats de l'Afrique Centrale) en charge de la mise en œuvre et la coordination de la politique énergétique, l'expansion des infrastructures, ainsi que l'établissement des conditions juridiques, techniques et commerciales pour augmenter les investissements et les échanges d'électricité dans la sous-région ;
- L'adhésion au Pool Energie de l'Afrique de l'Est (EAPP) comprend les services publics / concessionnaires / sociétés en charge de la production, la transmission et/ou la distribution d'électricité dans les pays d'Afrique de l'Est ;
- Le Pool Energie de l'Afrique australe (SAPP), les actions prioritaires financées par la Facilité Energie pour le SAPP sont principalement le renforcement des capacités pour les opérations du réseau, la planification du système et la promotion des partenariats publics-privés.

Il convient de noter que **la norme internationale ISO/IEC-13273 a pour but de fournir une aide pour les activités liées à l'énergie**, qui ont trait à l'efficacité énergétique et aux sources d'énergie renouvelables. Elle est une norme horizontale conforme au Guide CEI 108. Elle traite des principes et concepts terminologiques fondamentaux dans les domaines de l'efficacité énergétique et du management de l'énergie. Ces principes et concepts sont pertinents pour différents comités techniques, dont le but est de favoriser la cohérence et l'établissement des caractères communs des termes relatifs à l'énergie. Cette norme est plus destinée aux organismes de réglementation engagés dans l'élaboration de normes pour l'efficacité énergétique et les sources d'énergie renouvelables.

3.2.2. Le principe de la transition énergétique et les avantages associés à une transition énergétique

Une transition énergétique définit les objectifs communs pour réussir, renforcer l'indépendance énergétique, préserver la santé et l'environnement et lutter contre le réchauffement climatique. Le principe de la transition énergétique se fonde sur la lutte contre les gaspillages et la promotion de l'économie circulaire : de la conception des produits à leur recyclage, simplifier et clarifier les procédures pour gagner en efficacité et en compétitivité.

La transition énergétique pourrait non seulement aider à réduire les émissions de GES et les pertes d'énergie, mais aussi aider les entreprises individuelles à :

- Développer leurs opérations de manière durable ;
- Améliorer à la fois leur propre santé et celle de leurs employés ;
- Aider à générer des opportunités d'emplois locaux.

3.3. Technologies de l'énergie renouvelable pour les chaînes agroalimentaires

L'agriculteur ou le propriétaire de l'entreprise doit être en mesure de choisir la source d'énergie renouvelable appropriée, ou la combinaison optimale des sources. Le type de source d'énergie privilégié dépendra toujours des ressources disponibles sur le site et de l'investissement financier lié à ce type de transition énergétique. Les technologies utilisées pour exploiter les ressources énergétiques renouvelables et les convertir en formes d'énergie utiles sont appelées technologies de l'énergie renouvelable.

Pour les agriculteurs, **il existe plusieurs solutions technologiques d'ER qui peuvent être intégrées dans le processus agricole.**

Ce qui peut conduire à une meilleure efficacité énergétique, à un impact moindre sur l'environnement et à des coûts de production réduits. **Certaines technologies d'ER les plus facilement disponibles** et fréquemment utilisées sont :

- L'hydroélectricité, énergie électrique renouvelable qui est issue de la conversion de l'énergie hydraulique en électricité ;
- L'énergie éolienne, une source d'énergie qui dépend du vent ;
- L'énergie dérivée de la biomasse ou de la bioénergie, ensemble des énergies dérivées de la conversion de l'énergie solaire en biomasse par des processus biologiques ;
- L'énergie solaire, une source énergétique qui dépend du soleil ;
- L'énergie géothermique, c'est la chaleur qui se trouve sous la surface de la Terre.
- L'énergie marémotrice, exploitation de l'énergie issue des marées dans des zones littorales de fort marnage.

Il est important qu'un agriculteur, ou un entrepreneur, choisisse la technologie la mieux adaptée aux besoins énergétiques de l'exploitation et de l'entreprise. Les agriculteurs peuvent choisir des systèmes d'énergie renouvelable pour des raisons très différentes et la taille et l'emplacement des propriétés peuvent affecter les types de systèmes d'énergie renouvelable que l'agriculteur peut choisir.

La première chose qu'un agriculteur et/ou entrepreneur doit prendre en compte, est de savoir si un système d'énergie renouvelable fournira la production requise. La deuxième chose à considérer, est comment les opérations agricoles déjà existantes peuvent être mieux intégrées avec les solutions de technologies renouvelables disponibles.

Par conséquent, **de nombreux facteurs doivent être pris en compte** :

- La quantité d'énergie requise et l'emplacement de l'entreprise ;
- Combien l'agriculteur et/ou l'entrepreneur est prêt à dépenser ;
- La taille des subventions / outils financiers disponibles.

Tous ces facteurs auront un rôle à jouer dans le processus de décision pour les différentes tailles d'entreprises tout au long de la chaîne agroalimentaire.

Des **outils d'aide à la décision** doivent être implémentés avant la mise en œuvre d'une technologie utilisée pour exploiter rationnellement les ressources énergétiques ou l'investissement de la source ER choisie par l'agriculteur et/ou l'entrepreneur, comme :

- Analyse de faisabilité : lors de la planification d'un investissement, l'opérateur ou le chef de projet doit d'abord effectuer une analyse de faisabilité. Cet outil permet de déterminer si un projet peut être mené à bien ou non ;
- Analyse technique : l'adoption de la technologie passe par différentes étapes :
 - Sensibilisation de l'entreprise et/ou de l'agriculteur qui apprend la technologie / la pratique ;
 - Évaluation par une entreprise / un agriculteur de la technologie en termes de coûts et d'avantages ;
 - Adoption par une entreprise / un agriculteur qui décide de l'adopter intégralement mais le modifie ou l'adapte en fonction de la situation locale et des besoins particuliers.
- Les modèles d'affaires/écosystèmes d'affaires : c'est un outil d'amélioration continue qui permet à l'entreprise /agriculteur d'évoluer dans la performance.

L'appropriation et la durabilité dépendent de la participation de toutes les parties prenantes aux projets d'électrification ou du changement de ressources énergétiques.



Abréviations et acronymes les plus utilisés

ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES LES PLUS UTILISÉS

| | |
|------------------------|--|
| ACP | Afrique – Caraïbe – Pacifique (pays du Groupe des ACP, ayant signé une série d'accords particuliers avec l'UE appelé « accords de Cotonou ») |
| AEE | Agence européenne pour l'environnement |
| B | Symbole chimique du bore |
| BPP | Bonnes pratiques phytosanitaires |
| C | Symbole chimique du carbone |
| Ca | Symbole chimique du calcium |
| CaO | Symbole chimique de l'oxyde de calcium (chaux) |
| Cd | Symbole chimique du cadmium |
| CDB | Convention sur la diversité biologique |
| CE | Communauté européenne |
| CERVA | Centre d'étude et de recherches vétérinaires et agronomiques |
| CH₄ | Symbole chimique du méthane |
| Cl | Symbole chimique du chlore |
| Co | Symbole chimique du monoxyde de carbone |
| CO₂ | Symbole chimique du dioxyde de carbone |
| Cr | Symbole chimique du chrome |
| CNUED | Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement |
| Cu | Symbole chimique du cuivre |
| CUELE | Comité de l'Union européenne pour le label écologique |
| DCE | Directive-cadre sur l'eau |
| DDD | Dichlorodiphényldichloroéthane |
| DDE | Dichlorodiphényldichloroéthylène |
| DDT | Dichlorodiphényltrichloroéthane |
| DEA | Déséthylatrazine |
| DIA | Déisopropylatrazine |
| DT₅₀ | Demi-vie |

| | |
|-------------------------|---|
| ESB | Encéphalite spongiforme bovine |
| ETP | Évapo-transpiration potentielle |
| FAO | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization) |
| Fe | Symbole chimique du fer |
| FLO | Fairtrade Labelling Organizations international |
| GUS | <i>Ground Water Ubiquity Score</i> |
| H | Symbole chimique de l'hydrogène |
| HAP | Hydrocarbures aromatiques polycycliques |
| HCH | Hexachlorocyclohexane |
| Hg | Symbole chimique du mercure |
| H₂O | Symbole chimique de l'eau |
| ISO | Organisation internationale de normalisation |
| JOCE | <i>Journal officiel des Communautés européennes</i> |
| K | Symbole chimique du potassium |
| Kd | Coefficient de partage sol-eau adsorption |
| K₂O | Symbole chimique de l'oxyde de potassium |
| Koc | Coefficient de partage carbone organique-eau |
| Kow | Coefficient de partage octanol-eau |
| Mg | Symbole chimique du magnésium |
| MgO | Symbole chimique de l'oxyde de magnésium (magnésie) |
| Mn | Symbole chimique du manganèse |
| Mo | Symbole chimique du molybdène |
| MO | Matière organique |
| N | Symbole chimique de l'azote |
| NH₃ | Symbole chimique de l'ammoniac |
| NH₄ | Symbole chimique de l'ammonium |
| NH₄OH | Symbole chimique de l'hydroxyde d'amonium |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Ni | Symbole chimique du nickel |
| NO₂ | Symbole chimique dioxyde d'azote |
| NO₃ | Symbole chimique du nitrate |
| NQE | Normes de qualité environnementale |
| O | Symbole chimique de l'oxygène |
| OEPP | Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes |
| OGM | Organisme génétiquement modifié |
| OILB | Organisation internationale de lutte biologique |
| P | Symbole chimique du phosphore |
| PAC | Politique agricole commune |
| Pb | Symbole chimique du plomb |
| PCB | Polychlorobiphényle |
| pH | Potentiel hydrogène |
| pKa | Constante d'acidité |
| P₂O₅ | Symbole chimique de l'hémipentoxyde de phosphore (anhydride phosphorique) |
| PPP | Production plus propre |
| S | Symbole chimique du soufre |
| SO₃ | Symbole chimique du trioxyde de soufre |
| UE | Union européenne |
| UNESCO | Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>) |
| WBCSD | <i>World Business Council for Sustainable Development</i> |
| WP | Poudres mouillables (<i>Wet Powders</i>) |
| WWF | Fonds mondial pour la nature (<i>World Wide Fund</i>) |
| Zn | Symbole chimique du zinc |



Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADAS, « A better place. Guidance on using a lined biobed to dispose of agricultural waste consisting of non-hazardous pesticide solutions or washings », Environment Agency, réf. 30139296, 2007.

Association de coordination technique agricole (ACTA), *Pesticide et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement*, Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 2002.

ATTIKOU, A., « Fabrication du compost aérien », Institut national de recherche agronomique du Niger, Niamey, 1998.

Belgaqua-Phytofar, Livre vert, éd. Phytophar, 2002.

Bulletin officiel du Ministère de l'Écologie et du Développement durable ().

Prévention des pollutions et des risques. Avis relatif à la liste des procédés de traitement des effluents phytosanitaires, reconnus comme efficaces par le MEDD (DPPR/SDPD), MEDD 2007/5, Texte 34/35, 15 mars 2007.

CALVET, C. *et al.*, *Les pesticides dans le sol – Conséquences agronomiques et environnementales*, Édition France Agricole, 2005.

CARTER, A., « How pesticides get into water – and proposed reduction measures », *Pesticide Outlook*, 11 (4), pp. 149-157, 2000.

Carnets écologiques Afrique :

N°1 (nov. 1995) : Maladies et parasites des plantes cultivées.

N°3 (nov. 1995) : L'agriculture multi étagée.

N°4 (mai 1996) : Sable, sel et feu dans les rizières

N°5 (mai 1996) : A la découverte d'un écosystème.

N°6 (oct. 1995) : Ruissellement, érosion et fertilité.

N°7 : Questions autour d'un barrage.

N°8 : Vent qui souffle, vent qui vole.

N°9 : Du sel dans les jardins.

N°10 : Hygiène pour nos plantes aussi.

N°11 : Ravages aux champs, c'est signé.

Terre et Vie, rue L. Delvaux, 13, Nivelles (Belgique).

CIETAP, « Préparation des bouillies et gestion des effluents phytosanitaires. Note nationale d'aide à la mise en œuvre dans les exploitations viticoles », 2007.

Chapagain, A.K. et Hoekstra, A.Y., « The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands », *Ecological Economics*, 64(1), 2007, pp. 109-118.

Chapagain, A.K. et Hoekstra, A.Y., « The water needed to have the Dutch drink coffee », *Value of Water Research Report Series*, n° 14, UNESCO-IHE, Delft, Pays-Bas, 2003.

Chapagain, A.K. et Hoekstra, A.Y., « The water needed to have the Dutch drink tea », *Value of Water Research Report Series*, n° 15, UNESCO-IHE, Delft, Pays-Bas, 2003.

CHLEQ, J.L. et DUPRIEZ, H., *Eau et terres en fuite*, Paris, L'Harmattan, 1984.

Comité régional PHYTO, « Guide de bonne pratique phytosanitaire », Partie générale, Ministère de la Région wallonne, Direction du développement et de la vulgarisation, 2004.

CORPEN (Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement :

- « Qualité des eaux et produits phytosanitaires. Propositions pour une démarche de diagnostic », Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, Direction de l'eau, CORPEN, 2007.
- « Protection des cultures et prévention des risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires utilisés en agriculture – Recommandations générales », Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, Direction de l'eau, CORPEN, 2007.
- « Les produits phytosanitaires dans l'air », Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, Direction de l'eau, CORPEN, 2007

COLEACP-PIP, UG/PIP, Guidelines pour l'Analyse des Risques, 2006.

Communautés européennes :

- « Politique de l'EU pour une utilisation durable des pesticides. Historique de la stratégie », Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes, 2007.
- « Options possibles pour l'après 2010 en ce qui concerne la perspective et les objectifs de l'Union européenne en matière de biodiversité », COM(2010)4, 19 janvier 2010, ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/policy/pdf/communication_2010_0004fr.pdf.
- « The economics of ecosystems and biodiversity. Understanding the true economic value of ecosystem services », 2008, ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/teeb_report.pdf.
- « Enrayer la diminution de la biodiversité à l'horizon 2010 et au-delà. Préserver les services écosystémiques pour le bien-être humain », doc COM(2006) 216 final, eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0216:FIN:FR:PDF.
- « Plans d'action en faveur de la diversité biologique dans les domaines de la protection des ressources naturelles, de l'agriculture, de la pêche et de l'aide au développement et de la coopération économique, COM(2001)162 final », [www.europarl.europa.eu/meetdocs/committees/pech/20011218/com\(2001\)162_fr.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/committees/pech/20011218/com(2001)162_fr.pdf)
- « Communication from the Commission to the Council. Thematic Strategy for Soil Protection Impact assessment of the Thematic Strategy on Soil Protection », COM (2006)231 final, SEC(2006)620.

CTA, « 17^e Briefing de Bruxelles sur le développement, sur le thème la biodiversité et le développement rural dans les pays ACP », 10 mars 2010.

CTIFL, « Gérer ses effluents phytosanitaires », Commission technique fraise 24 novembre 2005.

- DEVILLERS, J., FARRET, R., GIRARDIN, P., RIVIÈRE, J.-L. et SOULAS, G., « Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides », INRA, 2005
- DUPRIEZ, H. et DE LEENER, Ph., *Jardins et vergers d'Afrique*, Nivelles, Terre et Vie, 1987.
- DUPRIEZ, H. et DE LEENER, Ph., *Les chemins de l'eau. Ruissellement, irrigation, drainage. Manuel tropical*, Nivelles, Terre et Vie, 1990.
- DUPRIEZ, H. et DE LEENER, Ph., *Arbres et agricultures multi-étagées d'Afrique*, Nivelles, Terre et Vie, 2003.
- DUPRIEZ, H., *Agriculture tropicale et exploitation familiales d'Afrique*, Nivelles, Terre et Vie, 2007.
- DUPRIEZ, H., SILAS, N. et COLIN, J., « Champs et jardins sains; lutte intégrée », *Carnets écologiques CTA*, n°12, Wageningen, CTA, 1987.
- ECPA, « Container Management Guideline », European Crop Protection Association, 2005.
- ESCAP, « Agro-pesticides and functions in integrated crop protection », 1991.
- FAO, « La défense des terres agricoles contre l'érosion éolienne – Progrès et mise en valeur », coll. FAO – Agriculture, cahier n° 71, 1960.
- FAO, « La défense des terres cultivées contre l'érosion hydraulique – Progrès et mise en valeur », coll. FAO – Agriculture, cahier n° 81, 1967.
- FAO, « Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) », *Bulletin pédologique*, n° 70.
- FAO, « Conservation in arid and semi-arid zones », Forest conservation and wildlife branch, Forest resources division, Forestry department, FAO Conservation Guide 3, 1976.
- FAO, « Organic materials and soil productivity », *Soils Bulletin*, n° 35, 1977.
- FAO, « Garder la terre en vie. L'érosion des sols – ses causes et ses remèdes », *Bulletin pédologique*, n° 50, 1983.
- FAO, « Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides », *Bulletin pédologique*, n° 57, 1990.
- FAO, *Protéger et Produire*, coll. FAO, éd. révisée, 1993.
- FAO, « L'eau, source de vie », Journée mondiale de l'alimentation, 1994.
- FAO, « Choyez la terre. Aménagement des sols pour une agriculture durable et la protection de l'environnement sous les tropiques », Division de la mise en valeur des terres et des eaux, 1996.

FAO, « Manuel de pratiques intégrées de gestion et de conservation des sols », *Bulletin des terres et des eaux de la FAO*, 2000.

FAO, « Protéger et produire. Comment reconstituer le puzzle », 2000.

FAO, « Guidelines on Management Options for Empty Pesticide Containers », International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides, 2008.

FAO, Ressources en ligne sur la biodiversité :

- « Trends in intellectual property rights relating to genetic resources for food and agriculture », FAO, Commission on Plant Genetic Resources Background study paper n° 49, 2009, <ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/017/k533e.pdf>.
- « The state of development of biotechnologies as they relate to the management of animal genetic resources and their potential application in developing countries », FAO Commission on Plant Genetic Resources Background study paper n° 33, 2006, <ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/015/j8959e.pdf>.
- « Access to plant genetic resources and intellectual property rights », FAO Commission on Plant Genetic Resources Background study paper n° 8, 1999, <ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/014/aj584e.pdf>.
- « L'État des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde », 1999, www.fao.org/docrep/011/a1250f/a1250f00.htm.
- « Agricultural Biodiversity: FAO Multifunctional Character of Agriculture and Land », Conference, Background Paper n° 1, Maastricht, septembre 1999, www.fao.org/mfcal/pdf/bp_1_agb.pdf.
- *Rapport sur l'état des ressources phylogénétiques dans le monde*, 1997, <ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/016/aj633f.pdf>.
- « Providing farmers' rights through in situ conservation of crop genetic resources », Commission on Plant Genetic Resources Background study paper n° 3, 1994, <ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/015/aj591e.pdf>.

FIDA (Fonds international de développement agricole), « Conservation des eaux et des sols en Afrique sub-saharienne. Vers une production durable par les petits agriculteurs », 1992.

GODEAUX, D., SCHIFFERS, B. et CULOT, M., « Environmental aspects in plant protection practices of non-agricultural pesticide users: case study of communes and the ministry of public works and transport (MET) of the Walloon region (Belgium) », *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, 73 (4), 2008, pp. 799-810.

GODEAUX, D., SCHIFFERS, B. et CULOT, M., « Impact of the plant protection practices on the operators exposure: survey by the communes and ministry of equipment and transport (MET-RW) », *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, 73 (4), 2008, pp. 811-820.

GOUDEGNON, AE, KIRK, AA, SCHIFFERS, B. et BORDAT, D., « Comparative effects of deltamethrin and Neem kernel solution treatments on Diamondback moth and *Cotesia plutellae* (Hym., Braconidae) parasitoid populations in the Cotonou peri-urban area in Benin », *J. Applied Entomology*, vol. 124, 2000, pp. 141-144.

HARDAKER, J. B., « Directives pour intégrer la durabilité de l'agriculture et du développement rural dans les politiques agricoles », Série FAO : Politiques agricoles et développement économique, 1999.

HAUTIER, L., JANSEN, J-P., MABON, N. et SCHIFFERS, B., « Pesticides selectivity list to beneficial arthropods in four vegetable crops », *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, 72 (2), 2007, pp. 99-108.

HAUTIER L., JANSEN J-P., MABON N. et SCHIFFERS, B., « Influence of organic matter on bio-availability of carbosulfan and its toxicity on a carabid beattle », *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, 72 (2), 2007, pp. 109-116.

Hoekstra, A.Y. et Chapagain, A.K., « *Eén kopje koffie kost gemiddeld 140 liter water* », *H₂O*, 37 (5), 2004, pp. 36-37.

Hoekstra, A.Y. et Chapagain, A.K., *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*, Oxford, Blackwell Publ., 2008.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. et Mekonnen, M.M., « *Water footprint manual: State of the art 2009* », Water Footprint Network, Enschede, Pays-Bas, 2009.

HUDSON, N. W. et ROOSE, E., « *Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides* », Bulletin pédologique de la FAO, n° 57, 1990.

IFPRI (2010, Ressources en ligne sur la biodiversité) :

- « Property Rights and the Management of Animal Genetic Resources: how to secure access to drylands resources for multiple users », CAPRI Working Paper n° 48, 2006.
- « Collective Action and Property Rights for sustainable development, System-Wide Program on Collective Action and Property Rights », CAPRI Briefs, 2004.

IIED (International Institute for Environment and Development, Ressources en ligne sur la biodiversité) :

- « The Governance of Nature and the Nature of Governance: Policy that works for biodiversity and livelihoods », Biodiversity and Livelihoods Issue Papers 08, 2008.
- « Stakeholder Participation in Policy on Access to Genetic Resources, Traditional Knowledge and Benefit-sharing. Case studies and recommendations », Biodiversity and Livelihoods Issue Papers 04, 2001.
- « Diversity not Adversity: Sustaining livelihoods with biodiversity », Biodiversity and Livelihoods Issue Papers 01, 2001.

INRA, *Pesticides, agriculture et environnement*, Versailles, QUAE, 2005.

Institut royal pour la gestion durable des ressources naturelles et la promotion des technologies propres, « Érosion des sols en Belgique. État de la question », Cahier n° 10, 2005.

Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, « Réhabilitation des sols et GCES », Cahiers ORSTOM, série pédologique, spécial érosion, Paris, 1996.

Institut français de la vigne et du vin, « Respecter les zones non traitées au voisinage des points d'eau », ENTAV-ITV France, document technique, 2007.

IUCN, « Identification and gap analysis of key biodiversity areas. Targets for comprehensive protected area systems – Practical guidance towards slowing the rate of biodiversity loss », World Commission on Protected Areas – Best Practice Protected Area Guidelines Series, n° 15, 2007.

JEANGILLE, P., « Substrats pour l'horticulture en régions tropicales et subtropicales », Rome, FAO, 1991.

JEANNNEQUIN, B. *et al.*, « Un point sur les filières fruits et légumes. Caractéristiques et principaux enjeux », Paris, INRA, 2005.

PHYTOPHAR, « Protection des cultures, environnement et agriculture ! Amis ou ennemis ? ».

Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD-OIT), « Travaux de conservation des sols. L'étude des projets et leur réalisation par des techniques à haute intensité de main-d'œuvre », 1984.

REIJ, C., SCOONES, I. et TOULMIN, C., « Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique », Paris, CTA-CDACS-KARTHALA.

ROOSE, E., « Innovation dans la conservation et la restauration des sols », *Cah. Orstom*, sér. Pédol., vol. XXVIII, n° 2, 1993, pp. 147-155.

ROOSE, E., « Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) », *Bulletin pédologique*, n° 70, 1994, www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f00.htm#Contents.

SPF – Santé publique, Sécurité de la chaîne alimentaire et environnement, « Mesures de réduction de la contamination des eaux superficielles par les produits phytosanitaires », Direction générale animaux, végétaux et alimentation, Division matières premières et protection des végétaux, 2004.

MAHAUT, T., DELEU, R., RASQUIN, B. et SCHIFFERS, B., « Comparaison de la toxicité directe et des effets sublétaux de quatre pesticides à l'égard de différents stades de développement d'*Adalia bipunctata* (L.) (*Coloeptera, Coccinellidae*) », XXX^e Congrès du Groupe français des pesticides, Reims, 21-24 mai 2000, Laboratoire d'éco-toxicologie, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2001, pp. 183-190.

SAMAKE, A., *Dégradation des sols et développement durable : analyse des stratégies paysannes de lutte contre la dégradation de sols en zone cotonnière du Mali*, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme DEA interuniversitaire en développement, 2007.

SCHIFFERS, B. et KALLEL, S., « Laboratory device to simulate on small soil volumes solarization effects on *Meloidogyne* spp », *Nematologica*, 38 (4), 1992, pp. 434-435.

SCHIFFERS, B. *et al.*, « Établissement de listes de sélectivité de pesticides vis-à-vis de l'entomofaune utile dans le cadre de la production intégrée en grandes cultures »,

Annales de l'ANPP, 6e Conférence Internationale sur les ravageurs en agriculture, CIRA, Montpellier, t. II, 2002, pp. 261-268.

STAINIER, C., LEBEAU, F., STRAET, S., PHALEG, V., DESTAIN, M.-F. et SCHIFFERS, B., « Study by image analysis and laser-based droplet size distribution measurement of the influence of eight adjuvants on the spray formation for three agricultural spray nozzles », AFPP, Colloque Mieux traiter, Orléans, 10-11 mars 2004.

STAINIER, C., ROBAYE, V., SCHIFFERS, B. et LEBEAU, F., « Modelling the spray drift by a modified Gaussian tilting plume model », *Aspects of Applied Biology*, 77, 2006, pp. 281-287.

STAINIER, C., ROBAYE, V., DESTAIN, M.-F., SCHIFFERS, B. et LEBEAU, F., « Experimental evaluation of a spray drift Gaussian tilting plume model », *Aspects of Applied Biology*, 77, 2006, pp. 365-370.

STAINIER, C., DESTAIN, M.-F., SCHIFFERS, B. et LEBEAU, F., « Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures », *Crop Protection*, vol. 25, 12, 2006, pp. 1238-1243.

SALAMITOU, J., « Management environnemental : la norme ISO 14001 », Animateur du Groupe de travail ISO/TC 207 (rédacteur de la norme ISO 14001), Techniques de l'ingénieur, traité Génie industriel, G 4 600, 2002.

Secrétariat de la Conférence sur la diversité biologique :

- *Report of the meeting of the Group of technical and legal experts on traditional knowledge associated with genetic resources in the context of the international regime on access and benefitsharing*, doc. UNEP/CBD/WG-ABS/8/2, 2009, www.cbd.int/doc/meetings/abs/abswg-08/official/abswg-08-02-en.pdf.
- « Are countries meeting their commitments to preserve, protect and restore forest biodiversity? », 2009, www.cbd.int/doc/external/cop-09/gfc-summary-en.pdf.
- « Perspectives mondiales de la diversité biologique 2 », 2006, www.cbd.int/doc/gbo/gbo2/cbd-gbo2-fr.pdf.
- « Protocole de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques de la Convention sur la diversité biologique », 2001.
- « Convention sur la diversité biologique », 1992, www.cbd.int/convention/text/default.shtml.

SOLTNER, D., « Bandes enherbées et autres dispositifs bocagers », *Sciences et techniques agricoles*, 2001.

TOPPS LIFE, « Best management practices. Preventing water contamination from point sources when using plant protection products », 2008.

WYNN, N., SCHIFFERS, B.C., SEGHERS, N., DEUSE, J.P.L. et COOPER, J.F., « IPHYTROP Study – IPM in Asia: A review of existing projects in the Philippines and Indonesia », *Agro-Chemicals News in Brief*, vol. XX, 2, avril-juin 1997, pp. 39-42.

WYNN, N., SCHIFFERS, B.C., SEGHERS, N., DEUSE, J.P.L., COOPER, J.F., COPIN, A. et COSTE, C.M., « IPHYTROP Study – IPM in Asia: A review of existing projects in the Philippines and Indonesia », *Agro-Chemicals News in Brief*, ESCAP/UNIDO, n° sp., novembre 1997.

WWF, « The 2010 biodiversity target in EU development cooperation - How effective is the EU's involvement in halting the loss of global biodiversity? », 2010, assets.panda.org/downloads/wwf_biodiversity_final.pdf.

World Bank, « Intellectual Property Rights; Designing Regimes to Support Plant Breeding in Developing Countries, 2006, siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/IPR_ESW.pdf.

Wuppertal Institute, « Intellectual property and biological resources: an overview of key issues and current debates. Summary of issues around intellectual property rights and biological resources », 2005, www.wupperinst.org/globalisierung/pdf_global/intellectual_property.pdf.

World Resources Institute :

- « Millennium Ecosystem Assessment - Ecosystems and Human Wellbeing », n° 35/35, 2005.
- « The Corporate Ecosystem Services Review: Guidelines for Identifying Business Risks & Opportunities Arising from Ecosystem Change », 2008, pdf.wri.org/corporate_ecosystem_services_review.pdf.

Sites Web utiles

SITES WEB UTILES

AREFLH :

www.areflh.org

Africa Rice Center (WARDA) :

www.cgiar.org

Banque mondiale :

www.banquemondiale.org

Biodiversity International :

www.biodiversityinternational.org

CITES :

cites.org/fra

CIAT – Centro Internacional de Agricultura Tropical :

gisweb.ciat.cgiar.org/sig/biological-mapping.htm

CIFOR – Center for International Forestry Research :

www.cifor.cgiar.org

CIMMYT – Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo :

www.cimmyt.org/

CIP – Centro Internacional de la Papa :

www.cipotato.org

Commission des droits de propriété intellectuelle :

www.iprcommission.org

CORPEN :

www.developpement-durable.gouv.fr

COLEACP :

coleacp.org

Convention sur la diversité biologique (CBD) :

www.cbd.int

CTA :

www.cta.int/fr

Droit et publications de l'UE :

publications.europa.eu

EUR-Lex :

eur-lex.europa.eu

European Environment Agency :

www.eea.europa.eu

FAO :

www.fao.org/, plus spécialement :
www.fao.org/agriculture/crops/agp-home/fr

ECPGR:

www.ecpgr.cgiar.org

EUFORGEN :

www.euforgen.org

ICIPE :

www.icipe.org

ICARDA :

www.icarda.cgiar.org

ICRISAT :

www.icrisat.org

IFPRI :

www.ifpri.org

IITA :

www.iita.org

ILRI :

www.ilri.cgiar.org

IWMI :

www.iwmi.cgiar.org

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer :

www.developpement-durable.gouv.fr

OMPI :

www.wipo.int/portal/fr

PAN GERMANY :

oisat.org/

Parlement européen :

www.europarl.europa.eu

PHYTOPHAR :

www.phytofar.be/fr/phy_pro.htm

PNUE – UNEP :

www.unep.org

PRPB :

www.health.belgium.be

TOPPS : www.topps-life.org

TRAFFIC :
www.traffic.org

UNIDO :
www.unido.org

UNESCO :
fr.unesco.org

IUCN :
www.iucn.org/fr

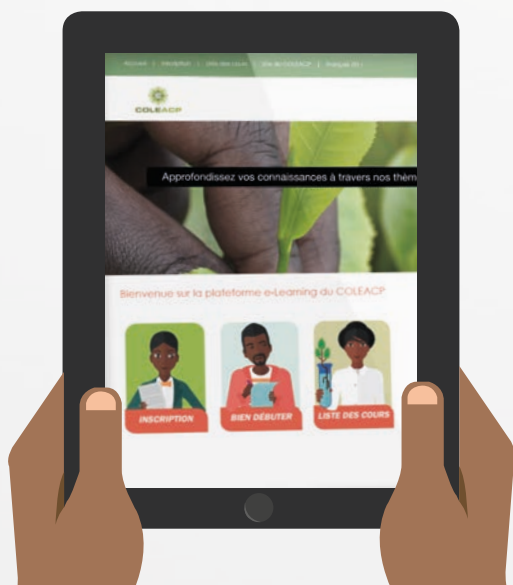
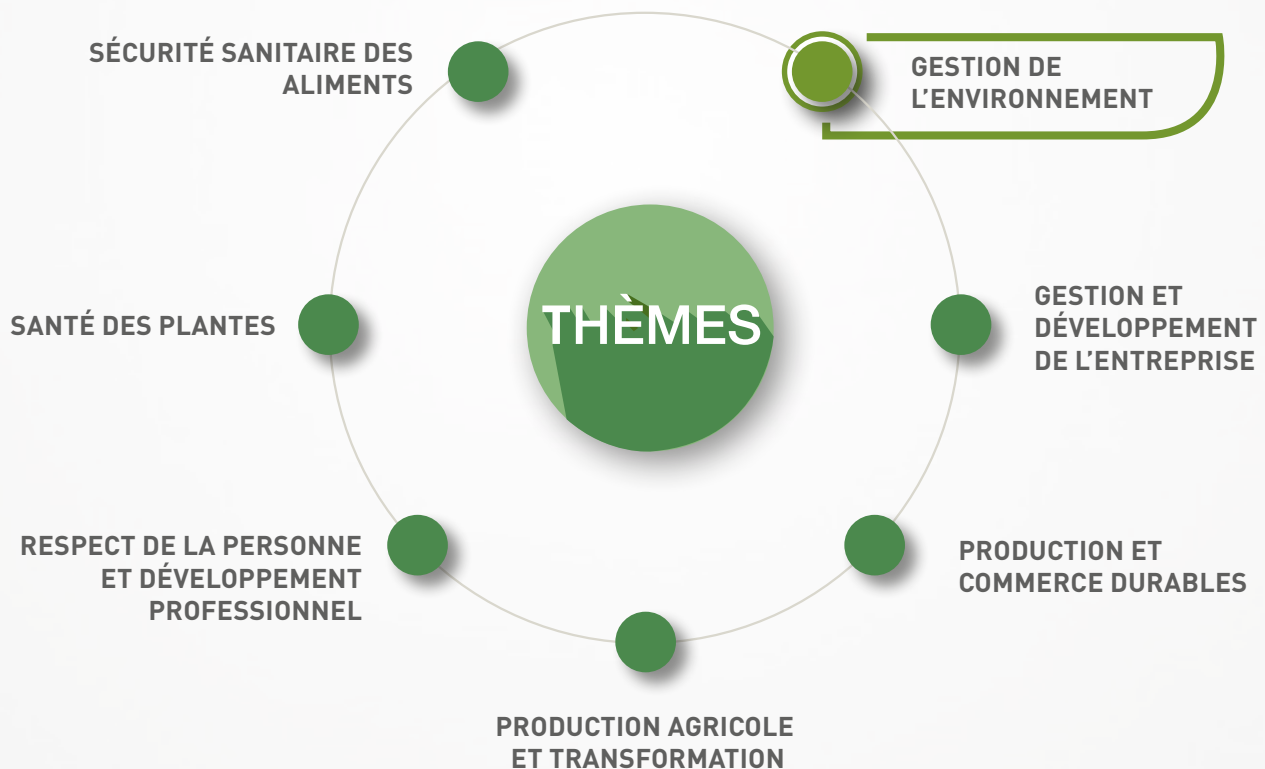
Water Footprint Network :
waterfootprint.org/en/

WorldFish Center :
www.worldfishcenter.org

PLATEFORME E-LEARNING DU COLEACP

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

TESTEZ ET AMÉLIOREZ VOS CONNAISSANCES À VOTRE RYTHME !



<https://training.coleacp.org>

PRODUCTION ET COMMERCE
DURABLES

SANTÉ DES PLANTES

SÉCURITÉ SANITAIRE DES
ALIMENTS

PRODUCTION AGRICOLE ET
TRANSFORMATION

RESPECT DE LA PERSONNE ET
DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL

**GESTION DE
L'ENVIRONNEMENT**

GESTION ET DÉVELOPPEMENT
DE L'ENTREPRISE

MÉTHODOLOGIES DE
FORMATION