



UNIVERSITE DE LISALA

**CENTRE INTERUNIVERSITAIRE DE RECHERCHE  
PLURIDISCIPLINAIRE (CIREP)  
STATUT : UNIVERSITE PUBLIQUE  
Web : [www.cirep.ac.cd](http://www.cirep.ac.cd)  
Email : [info@cirep.ac.cd](mailto:info@cirep.ac.cd)**

# Note de cours de Questions approfondies en production végétale

## OBJECTIF DU COURS

L'objectif de ce cours est d'approfondir les connaissances sur les différents aspects de la production végétale. Afin de bien maîtriser des sujets tels que les techniques de culture, la gestion des cultures, la protection des plantes contre les maladies et les ravageurs, l'utilisation durable des ressources naturelles, la sélection et la multiplication des variétés végétales, etc. L'objectif est aussi de former des professionnels compétents et informés dans le domaine de la production végétale, capables de contribuer de manière efficace à l'agriculture durable et à la sécurité alimentaire.

Cette formation de productions végétales permettra aux futurs cadres d'acquérir des notions de bases et le savoir-faire ainsi que l'application des techniques nouvelles et évolutives aboutissant à une meilleure maîtrise des différents facteurs pour l'intensification et l'amélioration des productions végétales.

Actuellement les productions végétales des fermes et des unités de production restent plus au moins aléatoires, avec des rendements au-dessous des capacités physiologiques et biologiques des espèces cultivées.



## INTRODUCTION

La production végétale résulte de la conjugaison du climat, sol et la fertilité. Le sol intervient par ses aptitudes physiques et ses capacités nutritives et hydrique. De fait, les connaissances concernant la fertilisation édaphique et foliaire est capitale pour les étudiants de l'agronomie.

La population mondiale devrait dépasser les 9 milliards d'ici à 2050. La production agricole mondiale devra donc augmenter de 70 pour cent sur la même période afin de nourrir cette population. La nécessité de nourrir davantage de personnes accroît la pression sur la production végétale et sur la base de ressources dont elle dépend. Ce phénomène est exacerbé par d'autres éléments: problèmes liés à un environnement de plus en plus dégradé, incertitudes découlant des changements climatiques et d'autres facteurs de stress comme l'urbanisation croissante et la volatilité des cours des produits alimentaires.

La communauté internationale doit satisfaire cette demande alimentaire en augmentation dans un monde où la résistance des écosystèmes est compromise et où les ressources en terre disponibles pour l'expansion agricole sont limitées, ce qui complique encore davantage la situation.

Compte tenu de la pénurie de terre, la principale solution envisageable est l'intensification de la production végétale plutôt que l'expansion de la surface cultivée. Il est essentiel de bien gérer les écosystèmes pour garantir l'existence d'une base de ressources saine sur laquelle peut s'appuyer l'intensification durable, afin de produire suffisamment de nourriture d'ici à 2050, et par la suite.

Les pratiques agricoles sont en pleine évolution: la forte dépendance aux intrants non renouvelables et l'intensification basée sur les produits chimiques, comme les pesticides, cèdent progressivement la place à d'autres formes d'intensification

fondées sur les processus biologiques naturels et la biodiversité en vue d'accroître la productivité des écosystèmes agricoles.

Les principes scientifiques et biologiques qui sous-tendent l'amélioration de la santé des sols, la gestion de la pollinisation ou le contrôle des populations de ravageurs - intégrés aux pratiques agricoles - montrent que les rendements peuvent être augmentés grâce à la gestion durable des écosystèmes. Les agriculteurs jouent un rôle essentiel de garants de la biodiversité et de gestionnaires des écosystèmes. Au niveau local, les pratiques, approches ou technologies agricoles basées sur la gestion des processus biologiques qui fournissent les biens et services écosystémiques essentiels peuvent être appliquées à l'augmentation des rendements agricoles et à l'optimisation de l'utilisation des intrants, tout en entretenant ou en améliorant la santé des écosystèmes. Il existe un éventail de possibilités en matière de bonnes pratiques, approches et technologies de gestion des exploitations qui sont fondées sur des processus biologiques. En voici quelques exemples: agriculture de conservation, gestion intégrée des éléments nutritifs des végétaux, protection intégrée et gestion de la pollinisation.

Ces pratiques de gestion des exploitations sont de plus en plus utilisées en vue d'une intensification durable de la production végétale, qui est un élément clé pour nourrir le monde aujourd'hui et demain

Afin que la production alimentaire puisse s'accroître à l'avenir, la production végétale devra s'adapter au changement climatique et en atténuer les effets. Les effets négatifs des changements climatiques sur la productivité, qui se font déjà sentir dans le secteur agricole, ne peuvent être contrecarrés que par une meilleure compréhension des processus biologiques à l'œuvre dans les pratiques de gestion des exploitations. À cet égard, la gestion des écosystèmes doit intégrer aux pratiques agricoles des mesures de résistance et d'atténuation des risques car ces

éléments sont de plus en plus pertinents dans le contexte du changement climatique.

## **PREREQUIS**

Des notions sur la chimie du sol et des notions sur l'agro-pédologie et notamment sur la biologie des plantes.

## **PLAN DU COURS**

- I. RÉGULATION ET CONTRÔLE DES RAVAGEURS**
- II. POLLINISATION**
- III. PROCESSUS BIOLOGIQUES RELATIFS AUX SOLS**
- IV. ENVIRONNEMENTS POLITIQUE ET INSTITUTIONNEL FAVORABLES**

### **I. RÉGULATION ET CONTRÔLE DES RAVAGEURS POLLINISATION**



Les producteurs de riz nourrissent plus de personnes que les producteurs des autres cultures. Le riz est la culture vivrière prédominante dans les pays où vit la majorité de la population mondiale. La production de riz a été stimulée par l'irrigation, les semences issues de nouvelles variétés et les engrais dans les années 1970 ("révolution verte") mais elle a été menacée dans les années 1980 par des attaques massives d'insectes nuisibles, en particulier de la cicadelle brune du riz.

Des variétés de riz résistantes ont été mises au point par des chercheurs et distribuées par les systèmes semenciers nationaux. Cependant, au fur et à mesure de l'évolution des populations de ravageurs, elles ont perdu de leur

efficacité et les infestations d'insectes se sont poursuivies, occasionnant de graves dommages et tuant parfois des plants de riz.



Dans les années 1990, des réformes audacieuses destinées à supprimer les subventions aux insecticides ont été combinées au financement d'une formation généralisée des agriculteurs, dans le cadre de champs-écoles, afin de réduire l'utilisation des insecticides et de mettre fin aux attaques d'organismes nuisibles. Aux Philippines, entre 1996 et 2007, la production de riz a augmenté de 60 pour cent et le rendement par hectare a connu une hausse de 12 pour cent. Au cours de cette période, le nombre d'applications d'insecticides et de matières actives a baissé de plus de 70 pour cent.

Ailleurs, ces tendances ont perduré pendant plusieurs décennies. En Indonésie, par exemple, le coût des insecticides employés dans la culture du riz a chuté de 75 pour cent, tandis que la production de cette céréale a augmenté de plus de 25 pour cent entre 1986 – date de lancement de la politique de protection intégrée (PI) – et 2001. En Inde, entre 1994 et 2002, la production totale de céréales vivrières a augmenté de plus de 20 pour cent tandis que l'utilisation de pesticides, qui se chiffre en tonnes, a diminué de 35 pour cent.

**Figure 1**

## INDONÉSIE: PRODUCTION DE RIZ ET COÛT DES PESTICIDES (1973-2001)

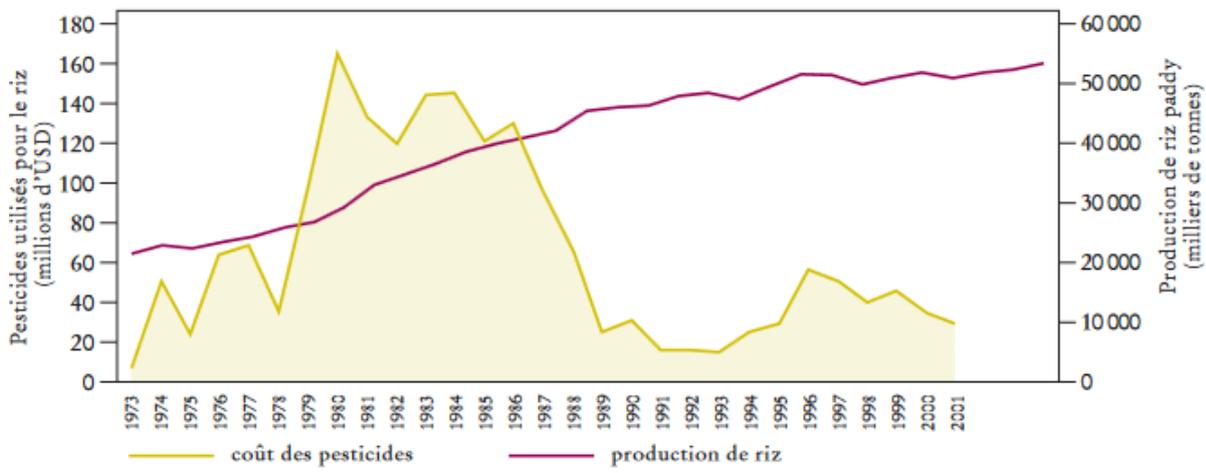
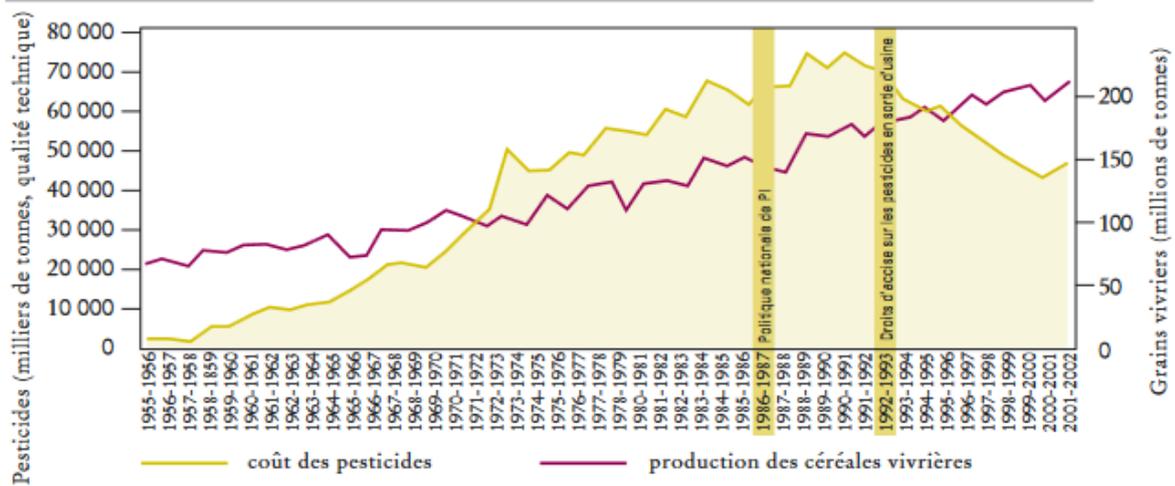


Figure 2

## INDE: PRODUCTION ANNUELLE TOTALE DE CÉRÉALES VIVRIÈRES ET QUANTITÉ TOTALE DE PESTICIDES



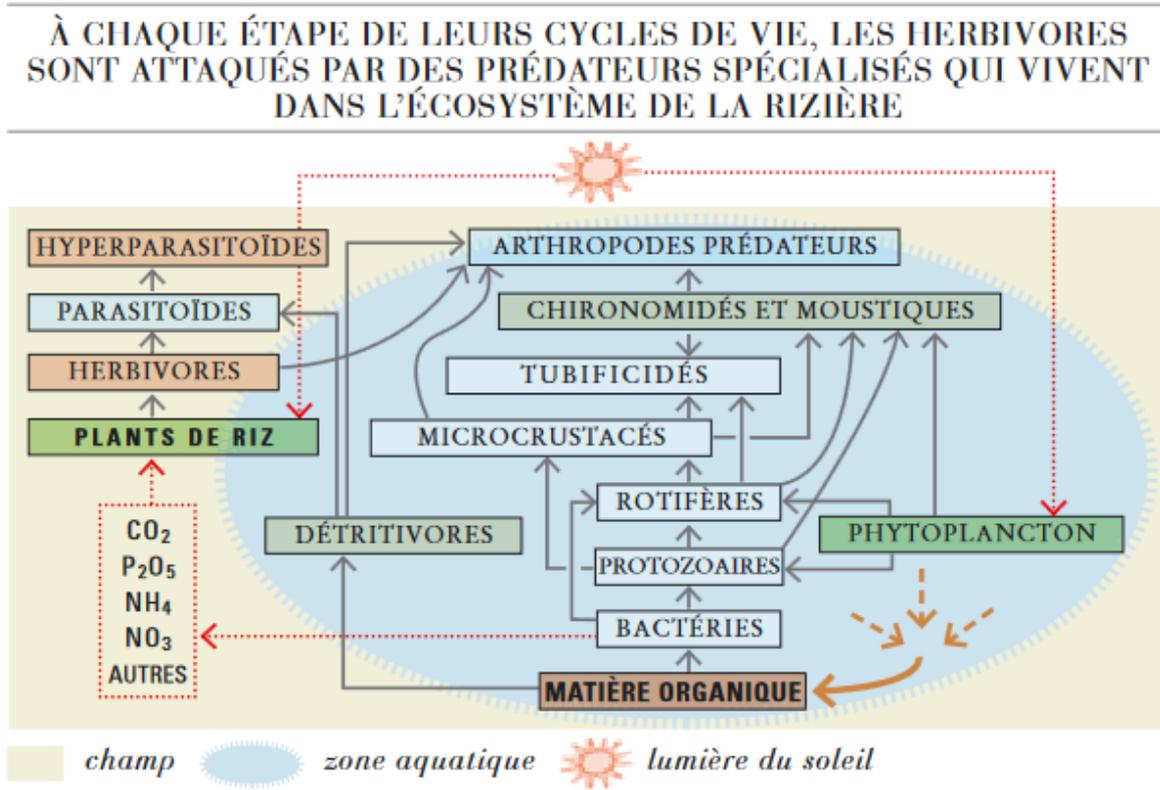
Compte tenu de la nécessité d'intensifier à nouveau la production de riz afin de satisfaire la demande future et de la commercialisation généralisée d'insecticides moins coûteux, n'étant plus protégés par des brevets, les agriculteurs et les responsables politiques doivent prendre une fois de plus des décisions importantes concernant les méthodes d'intensification de la production de riz.

### I.1. PROCESSUS BIOLOGIQUES

Les écosystèmes agricoles du riz irrigué évoluent sous l'influence de la gestion humaine depuis plus de 5 000 ans, ce qui correspond à plus de 50

000 générations de phytophages (herbivores) comme la cicadelle brune du riz. Lorsque l'écosystème n'est pas perturbé, ces insectes font partie d'un réseau trophique complexe qui transforme la lumière du soleil et la matière organique du sol en énergie, permettant ainsi à des centaines d'espèces et à des millions d'insectes et d'araignées de vivre dans chaque rizière: dans le sol, sous l'eau et à sa surface, sur et autour des plantes, notamment du riz.

**Figure 3**



Certains prédateurs attaquent les œufs de la cicadelle brune en suivant la trace laissée par les femelles lorsqu'elles pondent dans la tige du riz; ils aspirent le contenu de tous les œufs placés le long de la tige.

D'autres ne vivent qu'à la surface d'eau douce comme les étangs, les rizières. Ils s'en prennent aux brunes nouvellement écloses qui



des étendues cours d'eau et les jeunes cicadelles tombent

quotidiennement à l'eau.



Les araignées prédatrices peuvent tuer et manger plus de 20 cicadelles brunes par jour, afin de permettre à leurs propres œufs de parvenir à maturité et de donner naissance à davantage de jeunes prédateurs.

Au sein de l'écosystème, ces prédateurs et bien d'autres jouent un rôle de régulateurs naturels et biologiques des organismes nuisibles qui ravagent les cultures annuelles comme le riz. Leur fonction prend ou perd de l'ampleur à mesure qu'ils se multiplient ou s'installent dans d'autres champs, à la recherche de populations plus importantes de ravageurs.

Elle se renouvelle grâce à l'arrivée de nouveaux individus et à la reproduction dans les rizières, deux phénomènes qui dépendent de leur source de nourriture: les ravageurs.

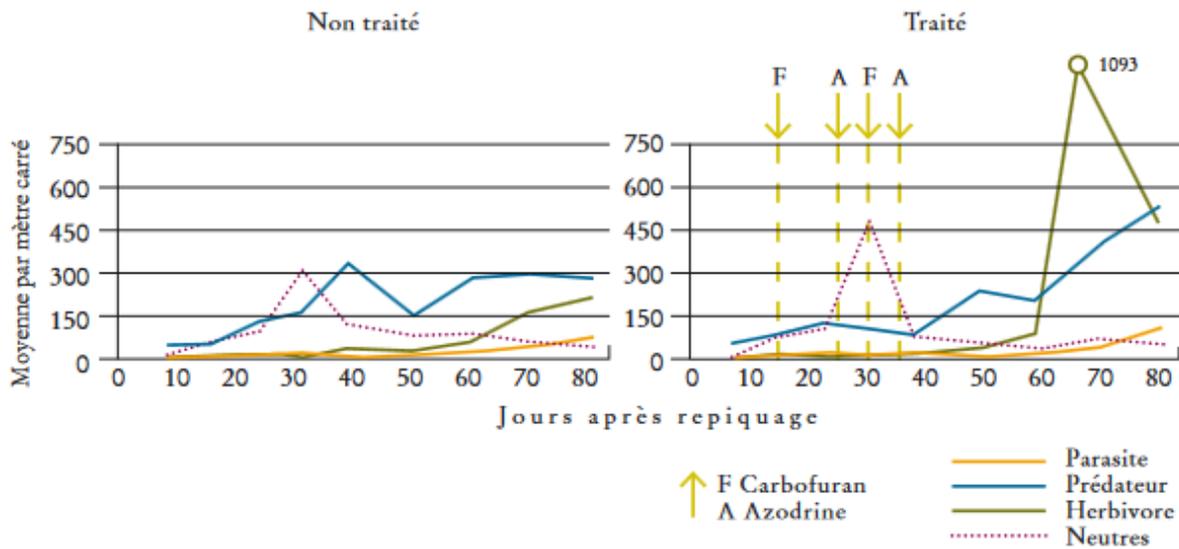
En améliorant cette fonction, en assainissant la rizière, davantage de services écosystémiques seront dispensés: il s'agit, dans ce cas, du contrôle des ravageurs.

## **I.2. PROTÉGER ET AMÉLIORER LES ÉCOSYSTÈMES TOUT EN INTENSIFIANT LA PRODUCTION**

Lorsque des insecticides sont appliqués dans les rizières, tous les types d'insectes et d'araignées sont tués, aussi bien les phytophages que les prédateurs. Cela permet aux œufs des ravageurs d'éclore et de survivre beaucoup plus longtemps que dans des champs non traités. La figure 5 montre que le nombre d'organismes nuisibles augmentait de plus de 600 pour cent dans une rizière d'Indonésie quand des insecticides étaient utilisés.

**Figure 4**

## NORD-OUEST DE JAVA – SAISON 2



Ce phénomène peut être observé même dans des champs de petite taille: la partie qui n'a pas subi de pulvérisation est à l'arrière-plan et les parties traitées, au premier plan, sont presque mortes.



Évidemment, dans certaines situations, les populations de prédateurs ne sont pas en mesure de réagir à temps, comme après des inondations massives ou une sécheresse prolongée, mais la décision d'appliquer des insecticides doit être prise dans chaque rizière en fonction du nombre de prédateurs ainsi que de l'état des cultures et du nombre de ravageurs.

Afin de prendre ces décisions de façon éclairée, d'optimiser et d'adapter la gestion au cas par cas, les agriculteurs doivent renforcer leurs propres

systemes de connaissance en utilisant des concepts écologiques actuels, comme la prédation.

La FAO travaille dans ce domaine en partenariat avec de nombreuses organisations nationales spécialisées dans les systèmes agricoles, la recherche ou la vulgarisation, universitaires ou non gouvernementales, ainsi que des organisations agricoles locales afin de permettre à des millions de producteurs de riz de se familiariser avec ces concepts écologiques dans des centaines de milliers de champs-écoles.



Des exemples de champs - écoles en Indonésie, au Mali et en Iran

## II. POLLINISATION

### II.1. AMÉLIORER LES RENDEMENTS ET LA QUALITÉ DE LA PRODUCTION VÉGÉTALE



Les insectes et d'autres animaux de petite taille remplissent un rôle essentiel: celui de la pollinisation. Pourtant, leur importante contribution au secteur agricole est souvent négligée. Dans les écosystèmes agricoles, les pollinisateurs sauvages et domestiques sont indispensables à la production fruitière, horticole et fourragère, ainsi qu'à la production de semences de nombreuses plantes racines et textiles. Les pollinisateurs comme les abeilles, les oiseaux et les chauves-souris interviennent dans 35 pour cent de la production végétale mondiale, accroissant celle de 87 des principales cultures vivrières, ainsi que de nombreuses plantes médicinales à l'échelle du globe.



L'absence de pollinisation peut faire baisser de manière significative les quantités produites, mais des éléments démontrent qu'elle peut également avoir un effet négatif sur la qualité des fruits et des semences. Le tableau de la page suivante regroupe des cultures dont la production peut connaître une baisse – allant jusqu'à 90 pour cent – si la pollinisation n'a pas lieu.

**Figure 5**

---

**L'ABSENCE DE POLLINISATEURS  
PEUT RÉDUIRE LA PRODUCTION DE CERTAINES CULTURES**

---

**RÉDUCTION  
DE PLUS DE 90 %**

Kiwi  
Chérimole  
Pastèque  
Courge  
Fèves de cacao  
Vanille

**RÉDUCTION  
DE 40-90 %**

Café (robusta)  
Noix de cajou  
Cardamome  
Colza  
Sarrasin  
Myrtilles  
Pommes  
Mangues  
Avocats  
Framboises  
Figues

**RÉDUCTION  
DE 10-40 %**

Fraises  
Graines de sésame  
Aubergine  
Fèves  
Noix de coco

**Source: Klein, A.-M. et al. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 274, 303-313**

Le fait de mieux connaître le rôle de la pollinisation dans la production alimentaire s'accompagne d'une plus grande compréhension de la contribution majeure des pollinisateurs sauvages. Il s'agit principalement

des abeilles, mais aussi des thrips, des guêpes, des mouches, des coccinelles, des lépidoptères et d'autres insectes, ainsi que des oiseaux et des chauves-souris.

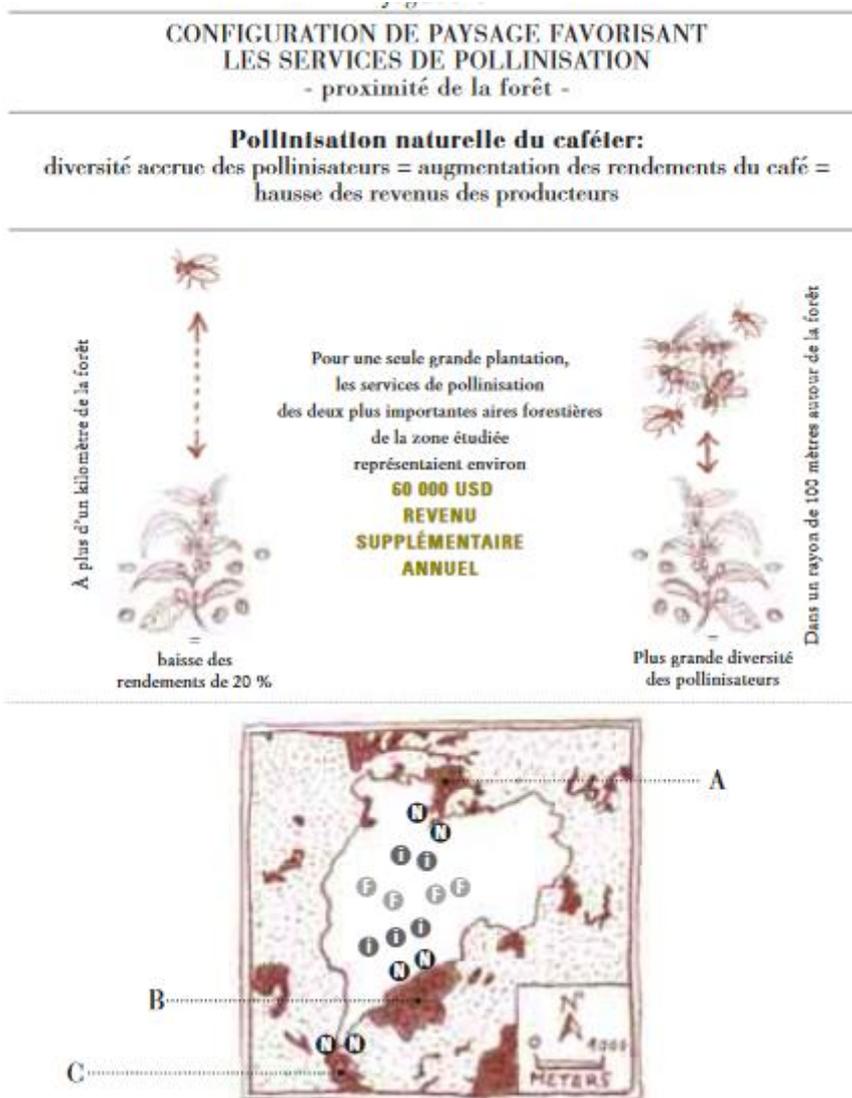
La conservation de cette biodiversité des pollinisateurs dans les paysages agricoles peut permettre d'assurer la pollinisation indispensable, tout en remplissant une fonction cruciale qui consiste à limiter les risques liés aux ravageurs et aux maladies au sein des populations de pollinisateurs gérées.

## **II.2. PRATIQUES DE GESTION DE LA POLLINISATION**

Dans de multiples écosystèmes agricoles et systèmes écologiques, des pratiques de gestion qui ne nuisent pas aux pollinisateurs ont été mises au point: elles servent à améliorer les rendements, la qualité, la diversité et la résistance des cultures et des systèmes de culture. Voici quelques exemples de leurs applications:

- ✓ Préserver l'habitat sauvage.
- ✓ Gérer les systèmes de culture, les lisières des champs où les fleurs prospèrent, les zones tampons et les haies permanentes afin de fournir un habitat et du fourrage.
- ✓ Cultiver des essences d'ombre.
- ✓ Ménager des sites de nidation pour les abeilles, notamment en n'abattant pas les arbres morts et en ne touchant pas aux branches tombées.
- ✓ Réduire l'application de pesticides et les risques associés.
- ✓ Établir des configurations de paysage qui favorisent la pollinisation (étude de cas au Costa Rica).

Une étude (figure 6) portant sur la valeur des services de pollinisation en termes de diversité, de rendement, de qualité et de valeur économique dans des plantations de café du Costa Rica a montré que plus la forêt n'était proche de l'exploitation, plus la diversité des pollinisateurs qui visitaient les caféiers et leur nombre étaient importants. Par exemple, les caféiers qui se trouvent à proximité d'une zone forestière sont visités par une plus grande variété de communautés d'abeilles, ce qui se traduit par une amélioration des rendements ainsi que de la qualité du café.

**Figure 6**

**Source: Ricketts et al. Economic value of tropical forest to coffee production. PNAS 24 août 2004, vol. 101 n° 34 12579-12582**

Ce schéma résume les principales conclusions de l'étude sur le Costa Rica. L'exploitation étudiée est figurée en blanc; la zone en pointillés regroupe des caféiers, des pâturages et de la canne à sucre; et les zones sombres (A, B et C) représentent les forêts. Les sites portent la mention N (proche), I (intermédiaire) et F (éloigné).

Comme le suggère l'étude, entretenir les zones de nidation des pollinisateurs – comme les petites aires forestières – à proximité de l'exploitation est une pratique de gestion favorable à la pollinisation. Cela présente également un autre avantage, outre les rendements plus élevés et la meilleure qualité du

café (et, en bout de chaîne, l'accroissement des revenus des producteurs): en entretenant la forêt, les agriculteurs contribuent à maintenir d'autres services écosystémiques prodigués par la forêt elle-même, comme la fourniture de bois de chauffe ou de ressources génétiques et la régulation climatique.

Les pratiques de gestion de la pollinisation peuvent également être utilisées pour répondre aux changements climatiques. Les communautés agricoles peuvent s'adapter au mieux aux impacts de ce phénomène sur les pollinisateurs, notamment en prenant en compte la disponibilité saisonnière des ressources nécessaires à ces espèces et en veillant à la connectivité des habitats naturels dans les zones cultivées (facilitant ainsi la dispersion des pollinisateurs en cas de modification des parcours due au changement climatique).



Les pratiques de gestion de la pollinisation peuvent aussi être appliquées à l'atténuation des effets du changement climatique. Beaucoup de bonnes pratiques agricoles qui entretiennent la capacité des écosystèmes à fournir des services englobent des mesures destinées à accroître la couverture végétale et la biodiversité liée aux cultures. Ainsi, le développement des pollinisateurs peut être favorisé grâce à l'accroissement des plantes à fleur non agricoles dans les champs, notamment sous la forme de cultures de couverture, de cultures en bandes ou de haies.

### II.3. QUE PEUVENT FAIRE LES DÉCIDEURS?

- ✓ Promouvoir des politiques qui encouragent les actions favorables aux pollinisateurs comme la planification de l'utilisation des terres et, quand cela est possible, l'usage responsable des pesticides.
- ✓ Renforcer les capacités en matière de gestion durable des pollinisateurs.
- ✓ Mettre en avant la contribution de la pollinisation à l'agriculture et aux moyens de subsistance durables.



## III. PROCESSUS BIOLOGIQUES RELATIFS AUX SOLS

### III.1. PROCESSUS DE NUTRITION DES PLANTES (FERTILISATION BIOLOGIQUE)



L'agriculture ne peut prospérer que si les sols sont sains. La partie vivante de ceux-ci, appelée biote du sol, englobe toutes les formes de vie présentes dans le

système édaphique: la faune et la flore, les systèmes racinaires souterrains de la végétation, et leurs fonctions écosystémiques.

La biote du sol est inextricablement liée à la nutrition des plantes au travers de processus biologiques comme la fixation de l'azote, la mobilisation, le stockage, la libération et le cycle des nutriments ainsi que le maintien du pH des sols, la capacité d'échange cationique, la structure et la porosité. Ces facteurs sont liés à leur tour à la transformation de la matière organique des plantes par le biais des réseaux trophiques des microorganismes vivant dans le sol.

Dans ce contexte, l'amélioration de ces processus biologiques peut permettre d'accroître la disponibilité et l'efficacité des nutriments.

Si leur disponibilité augmente, les besoins en engrais minéraux peuvent être réduits, ce qui limite à la fois le coût des intrants et l'empreinte environnementale de la production végétale.

### **III.1.1. Le phosphore (P): l'un des principaux nutriments des végétaux**

Le phosphore utilisé comme engrais est une ressource limitée, essentiellement obtenue grâce à l'extraction minière (phosphate naturel). C'est l'un des trois principaux éléments de la nutrition des végétaux: il est essentiel au fonctionnement et au développement de ces êtres vivants. Dans le sol, il peut être facilement immobilisé, ce qui empêche les racines des végétaux de l'atteindre dans la plupart des régions tropicales. Par conséquent, c'est un facteur limitatif en matière de production végétale. Il est important de trouver des moyens de mobiliser le phosphore contenu dans les sols et de le rendre disponible pour les végétaux. À cet effet, il faut favoriser le développement des mycorhizes et l'accroissement de l'activité biologique associée dans le système sol-racine.

- ✓ La mycorhize est une association symbiotique entre des champignons et des racines de végétaux. Le champignon peut pénétrer dans les cellules des racines (endomycorhize) ou non (ectomycorhize). Il favorise la croissance des racines et étend le système racinaire, fournissant du phosphore aux végétaux.
- ✓ La mycorhize produit des acides organiques, stabilise le pH et mobilise le phosphore, notamment dans les sols à pH élevé.

### **III.1.2. Pompes à nutriments: les racines profondes contribuent à l'équilibre nutritif**

Les sols riches en matière organique disposent d'un réservoir de nutriments bien équilibrés qui contribuent à la croissance et au développement des végétaux. Ainsi, ils ne sont pas exposés à tous les problèmes résultant d'une nutrition végétale déséquilibrée, comme la baisse de l'efficacité des engrais et de la qualité des cultures.

Pour une croissance et un développement optimaux des végétaux, il est important que le réservoir de matière organique permette d'atteindre un équilibre nutritif.

Les végétaux à racines profondes pompent des nutriments qui peuvent ensuite être réutilisés par le biais de leurs résidus en décomposition.

La matière organique contenue dans le sol permet également de stocker des nutriments qui, sinon, seraient lessivés.

Les plantes à racines profondes, qui servent de cultures de couverture entre les cultures commerciales, en séquence ou en association, peuvent puiser des nutriments dans des strates plus profondes du sol et les ramener à la surface. Ces nutriments sont alors disponibles pour les cultures suivantes lorsque les résidus végétaux se décomposent.

### **III.1.3. L'azote (N): l'un des principaux éléments constitutifs des protéines**

Certaines bactéries transforment l'azote atmosphérique en composés organiques azotés dont se nourrissent les végétaux et les microorganismes du sol.



Il existe des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote, comme les rhizobiums que l'on trouve dans les nodosités radicales des légumineuses (légumes secs, graines oléagineuses, arbres et arbustes, légumineuses de pâturage).

Il existe aussi des bactéries libres fixatrices d'azote comme *Azotobacter* et *Beijerinckia* qui vivent dans la rhizosphère, la partie du sol qui entoure les racines des végétaux.

Nodosités racinaires fixatrices d'azote de légumineuses (comme les petits pois, les haricots et le trèfle).

Ces bactéries transforment l'azote présent dans l'atmosphère (diazote,  $N_2$ ) en composés organiques azotés dont se nourrissent les végétaux et les microorganismes du sol.

Dans le monde, environ 44 à 66 millions de tonnes de diazote sont fixées annuellement dans les terres agricoles par des légumineuses et d'autres organismes vivant dans le sol, ce qui fournit près de la moitié du diazote utilisé pour l'agriculture<sup>1</sup>. La fixation de diazote par les légumineuses contribue grandement à rendre l'agriculture plus viable sur le plan économique et moins nuisible pour l'environnement.



**Source: Giller, K.E. 2001. Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems. CABI Publishing, Wallingford, Royaume-Uni**

Maïs cultivé en association avec une culture légumineuse intercalaire afin d'accroître la quantité d'azote fournie au sol.

## III.2. FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE: LE RÔLE DES SYSTÈMES BASÉS SUR LES LÉGUMINEUSES

### III.2.1. Importance des légumes secs et des graines oléagineuses

Quelques 56 millions de tonnes de légumes secs, 257 millions de tonnes de graines oléagineuses et 2 351 millions de tonnes de céréales ont été récoltées dans le monde en 2007. Les rendements en grains des légumes secs sont plus faibles que ceux des céréales mais leur teneur en protéines est au moins deux fois supérieure.

### III.2.2. Fixation biologique de l'azote



Certains types de microbes peuvent fixer l'azote en tant qu'organismes libres: les bactéries hétérotrophes et autotrophes ainsi que les cyanobactéries.



En revanche, d'autres microorganismes ne peuvent le faire que par le biais d'une symbiose avec des végétaux, principalement des légumineuses. Dans les zones cultivées, environ 80 pour cent de la fixation biologique de l'azote (FBA) s'effectue par le biais de ce type d'association symbiotique entre des légumineuses et des bactéries des nodosités: les rhizobiums.

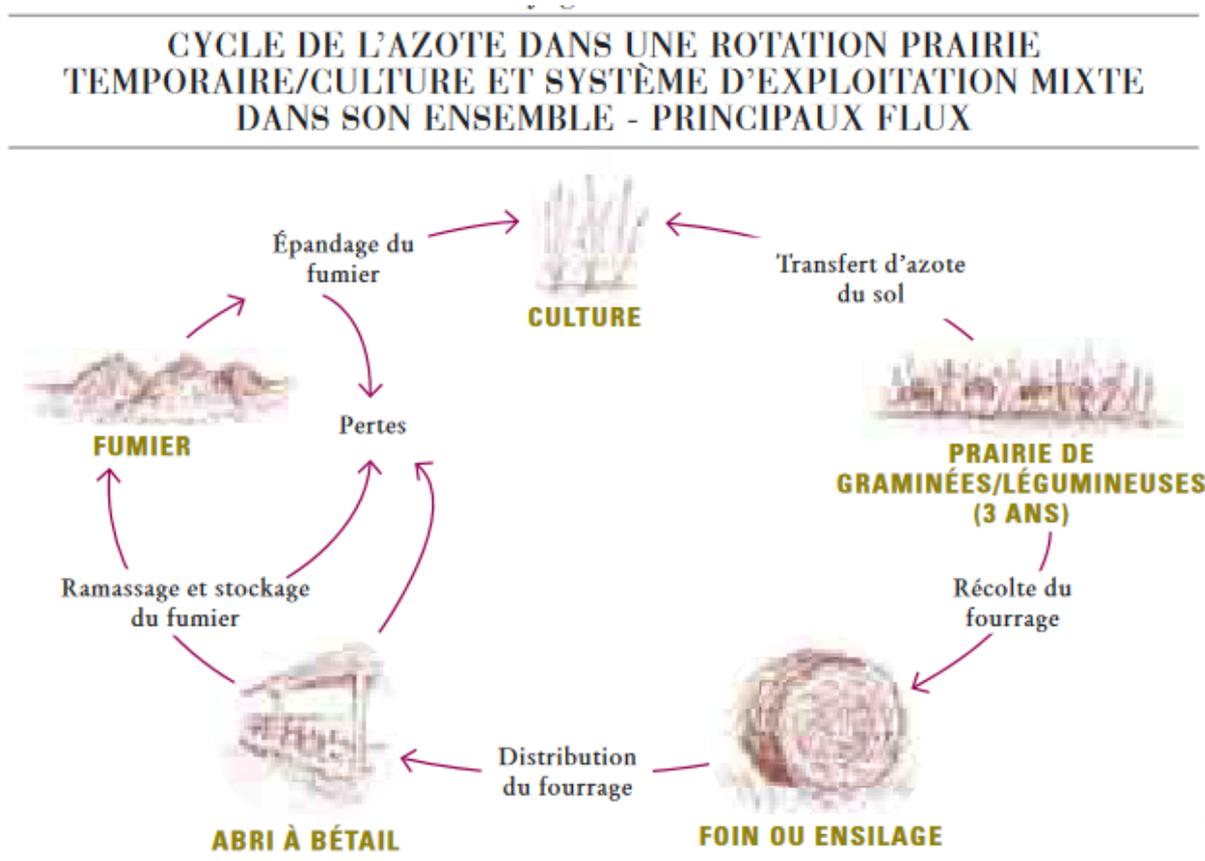
Les agriculteurs disposent d'une certaine marge de manœuvre pour influencer la FBA de plusieurs manières: sélection du génotype des légumineuses, proportion de légumineuses et de graminées dans les mélanges fourragers, inoculation de bactéries comme les rhizobiums, nutrition végétale (en particulier azote et phosphore), désherbage, lutte contre les maladies et les ravageurs, période de plantation, séquence et intensité culturales, fréquence de défoliation des peuplements de graminées destinés aux fourrages. Cependant, d'autres facteurs affectant la FBA ne peuvent être contrôlés, notamment les températures défavorables et les sécheresses.

Certaines espèces de légumineuses fixent mieux l'azote que d'autres. Parmi les légumineuses fourragères vivaces des climats tempérés, le trèfle rouge et la luzerne peuvent généralement fixer entre 200 et 400 kilogrammes d'azote par hectare (fixation totale: sur et dans le sol).

### III.2.3. Transfert d'azote vers d'autres cultures ou plantes fourragères

L'azote fixé par les légumineuses est recueilli dans la plante et partiellement transféré aux cultures suivantes, ce qui accroît leurs rendements. Ainsi, dans les mélanges de légumineuses fourragères et de graminées, l'azote fixé est transféré des légumineuses aux graminées (par exemple, entre 13 et 34 pour cent). L'azote présent dans les prés se retrouve dans l'ensilage ou le foin, et il est ensuite ingéré par les animaux. Environ 70 à 95 pour cent de cet azote est excrété par ces derniers, dont les déjections peuvent être recyclées grâce à un épandage sur les terres arables (figure 7).

**Figure 7**



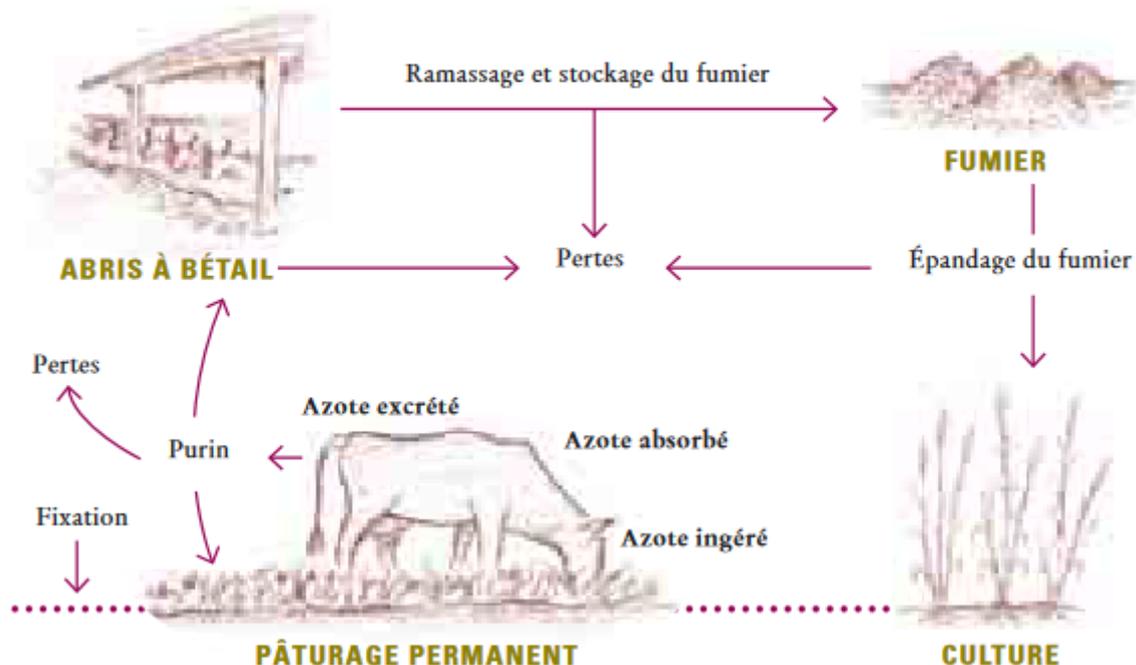
### III.2.4. Légumineuses fourragères dans les systèmes d'élevage des zones tempérées

Dans les systèmes d'élevage des zones tempérées, le trèfle blanc est particulièrement efficace dans les pâturages. Il peut fixer entre 100 et 300 kilogrammes d'azote par hectare. Par ailleurs, il est plus facile à digérer et présente des teneurs en protéine brute, en lignine, en cendre, en calcium et en magnésium plus élevées que les graminées.

Les mélanges de trèfle blanc et de graminées sont produits plus abondamment en été et peuvent accroître l'apport alimentaire des animaux en complétant celui des tapis végétaux composés uniquement de graminées. La luzerne et le trèfle rouge sont très bien adaptés aux méthodes de coupe utilisées pour le foin ou l'ensilage. Toutes ces légumineuses peuvent contribuer à une réduction des coûts pour les agriculteurs, accroître la biodiversité et modeler des systèmes durables de production végétale et d'élevage (figure 8)

**Figure 8**

**CYCLE DE L'AZOTE DANS UN SYSTÈME D'EXPLOITATION MIXTE  
(ÉLEVAGE/HERBAGE/TERRES ARABLES) –  
PRINCIPAUX FLUX**



### III.2.5. L'arachide dans les systèmes de culture tropicaux

L'azote est souvent l'élément le plus limitant en matière de production céréalière. Les engrais chimiques sont rarement accessibles aux petits

producteurs. Par conséquent, dans de nombreux systèmes de production végétale de subsistance, l'azote est en réalité "extrait" de la matière organique des sols, ce qui l'appauvrit. Les légumineuses peuvent résoudre en partie ce problème, soit en tant qu'engrais vert dans des systèmes de culture intercalaire, dans le cadre d'un plan de rotation des cultures ou dans des systèmes agroforestiers.

Une fois les graines d'arachide récoltées, les fanes peuvent nourrir le bétail ou être enfouies. Dans ce dernier cas, le rendement de la culture suivante (maïs ou riz, par exemple) peut être bien supérieur, voire doubler, même si le rendement de l'arachide est faible.



### **III.2.6. Les rhizobiums dans la production de soja**

Le soja (*Glycine max* L.) a été introduit au Brésil à la fin des années 1880. Dans les années 1950, la production était supérieure à 100 000 tonnes; elle dépassait 1 million de tonnes en 1970 et cette culture occupe aujourd'hui 22 millions d'hectares avec un rendement moyen de 2 737 kilogrammes par hectare et par an, ce qui représente une production annuelle de 60 millions de tonnes. Les sols brésiliens étaient à l'origine dépourvus des rhizobiums nécessaires pour noduler efficacement le soja (fixer le diazote). Cependant, le gouvernement a reconnu l'importance des rhizobiums et leur contribution

potentielle. Il a donc apporté son concours par le biais de politiques et d'efforts de recherche. Une inoculation massive à partir de quelques souches de rhizobiums utilisées dans des inoculants commerciaux au cours des dernières décennies a permis à cette bactérie de s'installer dans la plupart des sols cultivés en soja. Le Brésil est aujourd'hui le deuxième producteur mondial de soja et n'applique aucun engrais à base d'azote aux cultures.

### **III.2.7. Impact des systèmes de production végétale basés sur les légumineuses**

Les rendements accrus régulièrement observés après la culture de légumineuses et l'augmentation des disponibilités en azote des sols sont liés:

- ✓ A la capacité de certaines espèces de légumineuses à mobiliser le phosphore peu soluble dans le sol;
- ✓ A l'effet mécanique positif des racines pivotantes des légumineuses sur la structure et le drainage des sols;
- ✓ A la quantité d'eau plus faible utilisée pour certaines légumineuses comparativement à d'autres cultures;
- ✓ Ou encore à l'effet bénéfique de la rhizosphère des légumineuses (excrétion H<sup>+</sup>) sur les microorganismes présents dans le sol, qui peuvent entrer en concurrence avec les agents pathogènes affectant les cultures ou les supprimer.

### **III.2.8. Impact des légumineuses sur les ressources naturelles**

Le coût environnemental direct associé aux systèmes basés sur les légumineuses est légèrement inférieur à celui des systèmes s'appuyant sur les engrais à base d'azote. Le risque de lessivage des nitrates dépend beaucoup des pratiques culturales et n'est pas obligatoirement plus faible dans les systèmes basés sur les légumineuses. Les émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) semblent être comparables dans les deux cas. Cependant, la synthèse d'engrais chimiques nécessite de grandes quantités d'énergie fossile (au moins 27 GJ/t NH<sub>3</sub>). En revanche, la FBA s'appuie sur l'énergie solaire et ne rejette pas de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère.

Il a été prouvé que l'introduction de légumineuses (légumineuses de couverture, pâturages composés de graminées et de légumineuses, jachère fondée sur les légumineuses ou même légumineuses annuelles) dans la

rotation des cultures limitait l'infestation de plantes adventices, les maladies et les attaques de ravageurs.

Les systèmes de culture basés sur les légumineuses contribuent à préserver la biodiversité, en particulier des pollinisateurs et d'autres arthropodes, de la faune et la flore du sol en général, ainsi que de nombreuses espèces d'oiseaux et de mammifères qui peuvent vivre dans les paysages agricoles.

### **III.2.9. Importance des légumineuses pour l'agriculture durable**

Dans le contexte de hausse des cours des combustibles fossiles et des prix des engrais minéraux azotés, il serait fortement souhaitable d'abandonner progressivement ces engrais au profit de légumineuses capables de fixer l'azote. Actuellement, la FBA par les légumineuses cultivées est estimée à environ 20-22 millions de tonnes par an dans le monde<sup>1</sup>.

Il est possible d'exploiter davantage ce phénomène, à condition de favoriser les processus biologiques appropriés dans les systèmes de production basés sur les légumineuses.

Les légumineuses à graines (légumes secs et oléagineux) et divers types de légumineuses fourragères occupent entre 12 et 15 pour cent des terres arables du globe et couvrent un tiers des besoins en protéines de l'humanité. Dans des conditions de subsistance, cette proportion peut atteindre deux tiers.

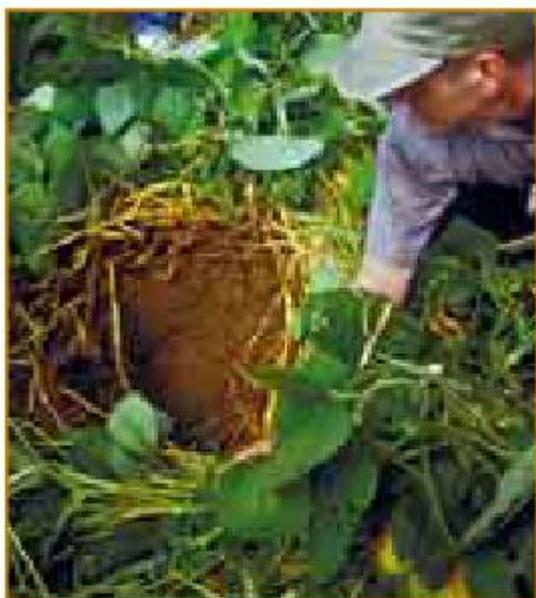
### **III.3. PROCESSUS RELATIFS À LA STRUCTURE DU SOL (LABOUR BIOLOGIQUE)**



Un sol qui ne subit aucune perturbation et dispose d'un réservoir suffisant de matière organique fournit un bon habitat à la faune souterraine. La réduction du labour mécanique se traduit par un accroissement de la population de vers de terre, de diplopodes, d'acariens et d'autres animaux vivant dans le sol. Cette macrofaune effectue le labour et influe sur la porosité ainsi que la structure du sol. Elle intègre la matière organique présente en surface; ses excréments fournissent des mélanges de

<sup>1</sup> Herridge, D.F., Peoples, M.B. et Boddey, R.M. 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation by agricultural systems. *Plant Soil*, 311: 1-18

sol stables et les macropores verticaux créés par les vers drainent l'eau en excès. Grâce à cela, la terre est moins sensible aux inondations et à l'érosion car l'infiltration de l'eau en profondeur est améliorée. La matière organique incorporée par cette faune améliore la structure du sol et la capacité de stockage de l'eau, ce qui permet aux végétaux de survivre plus longtemps lors des périodes de sécheresse. Il s'agit de deux stratégies importantes pour Les quantités accrues de matière organique contenues dans le sol permettent également d'ATTÉNUER LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE grâce au stockage du carbone issu du dioxyde de carbone



Renforcer la santé des sols grâce à une espèce de *Mucuna*, une plante à forte biomasse dotée d'un système racinaire profond et utilisée comme culture de couverture

atmosphérique dans la matière organique du sol. La formation de matière organique stable lors du processus d'humification s'effectue par le biais des microorganismes du sol. Un autre élément contribue au labour biologique: l'introduction de végétaux, y compris d'arbres et d'arbustes, dotés de racines pivotantes profondes. Certaines de ces cultures "pionnières" comme le lupin, le haricot-sabre ou le radis peuvent lutter contre le compactage du sous-sol si, par exemple, elles sont plantées dans le cadre d'une rotation ou en association intercalaire et servent de

cultures de couverture fournissant de l'engrais vert.

## **EXPLOITER LES PROCESSUS BIOLOGIQUES RELATIFS AUX SOLS GRÂCE À DES PRATIQUES AGRICOLES DE CONSERVATION**

Bien que les agronomes aient pleinement conscience de l'importance de la fixation de l'azote, de la mobilisation du phosphore par les mycorhizes et des

pompes à nutriments, ces processus jouent un rôle mineur dans la production végétale.

En effet, la plupart des sols cultivés ne constituent plus un environnement de vie adapté aux microorganismes qui sont si essentiels à ces processus.

Même lorsque ces microorganismes sont utilisés (les rhizobiums et même les mycorhizes peuvent servir d'inoculants pour certaines cultures), ils ne prospèrent pas dans les systèmes agricoles qui reposent sur le labour mécanique car cette technique perturbe le système édaphique et rompt la continuité de l'habitat souterrain, ce qui est intolérable pour la plupart des organismes qui vivent normalement dans des sols intacts.

L'une des manières de remédier à cela est de réorienter la gestion des sols vers les processus biologiques capables d'améliorer la santé et les fonctions du sol, y compris la nutrition et la productivité des végétaux.

Cela nécessite:

- ✓ Des processus aérobie dans les sols poreux présentant des macropores qui facilitent l'aération et les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère, et permettent le drainage en profondeur de l'excédent d'eau afin de recharger les nappes souterraines;
- ✓ De la matière organique qui fournit des nutriments et un substrat énergétique aux microorganismes souterrains;
- ✓ Un environnement stable sans brusques changements de température, de taux d'humidité, de concentration en sel ou de pH.

Ces conditions peuvent être remplies de manière durable en ayant recours à un certain nombre de pratiques agricoles, regroupées sous l'appellation d'agriculture de conservation, qui se fondent sur l'amélioration des processus biologiques naturels à l'œuvre sur et dans le sol. Ces pratiques limitent également autant que possible les interventions comme le labour mécanique. Des intrants externes, notamment des produits agrochimiques et des nutriments d'origine minérale ou organique, sont appliqués d'une certaine manière et dans une certaine quantité afin de ne pas influencer les processus biologiques ni les fonctions écosystémiques qui y sont associées.



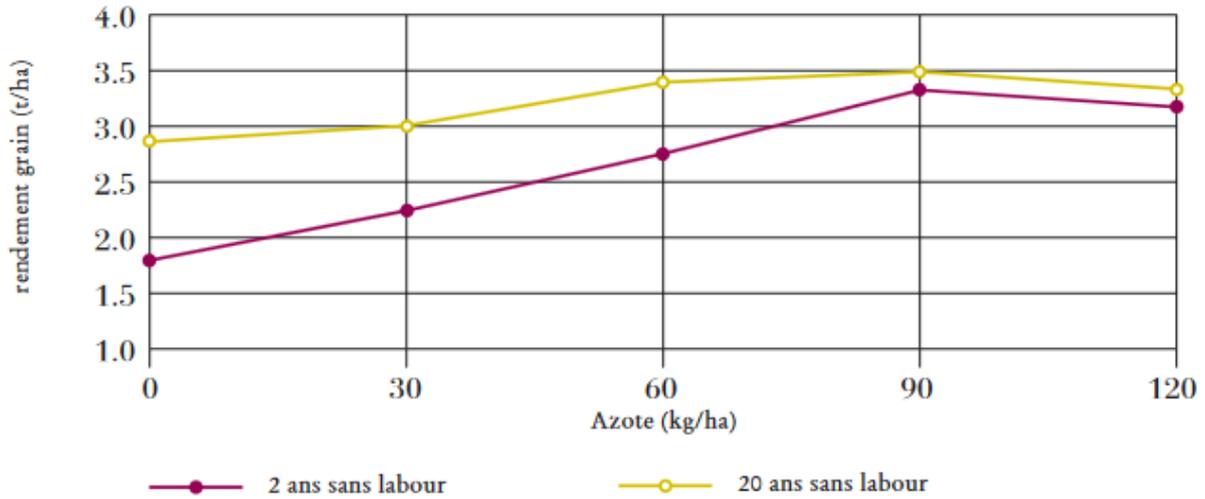
Dans le cadre de l'agriculture de conservation, une agricultrice kenyane fournissant des explications relatives à une association de maïs et d'un sous-semis de *Desmodium* (légumineuse), qui fournit de l'azote et permet également de lutter contre les foreurs de tige et striga

Le recours continu et simultané à des pratiques de l'agriculture de conservation peut contribuer au développement de la faune et de la flore ainsi qu'à la biodiversité des sols, améliorer les processus biologiques liés à la capacité productive des sols et à la nutrition végétale et, surtout, il fournit un environnement favorable qui permet aux microorganismes souterrains de prospérer et crée un système édaphique vivant. Bien qu'une inoculation initiale puisse être nécessaire dans certains cas, ce système améliore la productivité des cultures et les services écosystémiques.

Des éléments montrent que les besoins en engrais minéraux (en particulier à base de phosphore et d'azote) des sols qui ont été soumis aux pratiques de l'agriculture de conservation pendant une longue période diminuent. Par ailleurs, le problème de la faible disponibilité ou de l'immobilisation du phosphore dans les sols est atténué, même si les analyses ne révèlent pas la présence de quantités importantes de phosphore soluble (figures 9 et 10).

**Figure 9**

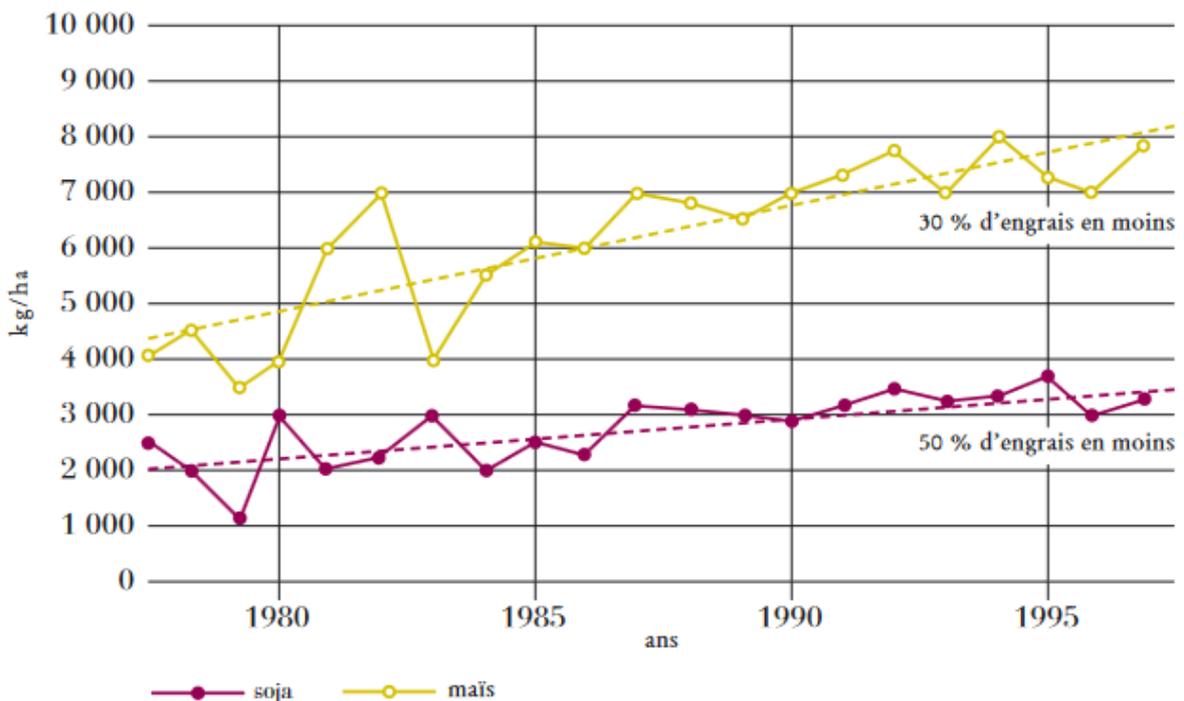
**RENDEMENT DU BLÉ ET QUANTITÉ D'AZOTE POUR DIFFÉRENTES DURÉES D'INTERRUPTION DE "SANS LABOUR" AU CANADA (2002)**



Source: <http://www.topcropmanager.com/content/view/4427/38>

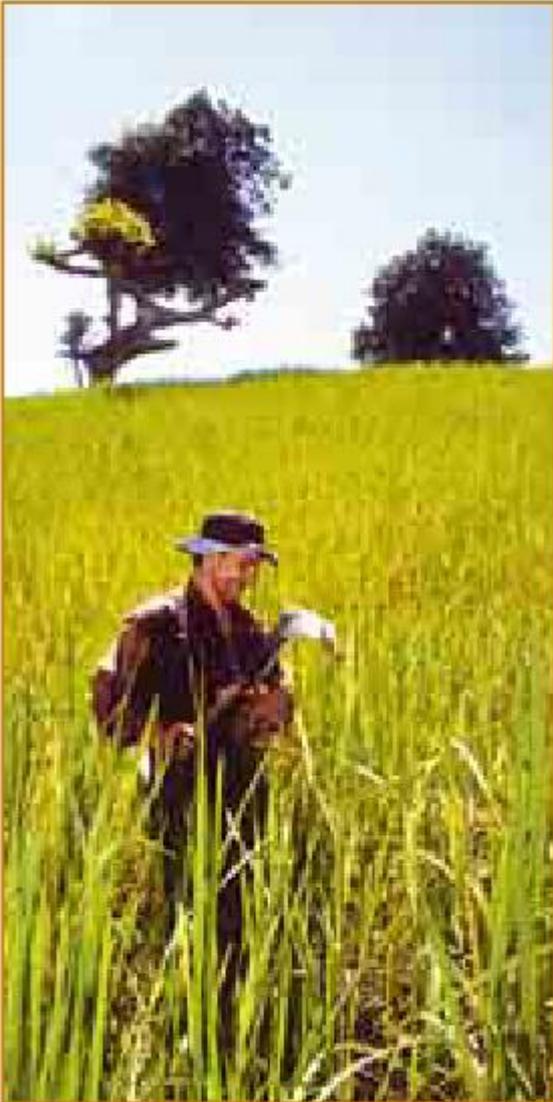
**Figure 10**

**RENDEMENTS ACCRUS DU MAÏS ET DU SOJA POUR UNE UTILISATION MOINDRE D'ENGRAIS, OBSERVÉS SUR UNE PÉRIODE DE PLUS DE 20 ANS (1977-1998) DANS UNE EXPLOITATION DE PONTA GROSSA (BRÉSIL)**



Source: Derpsch R. 2005. The extent of Conservation Agriculture adoption worldwide:

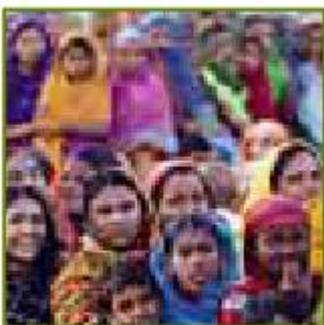
**implications and impact. Proceedings of the 3rd World Congress on Conservation Agriculture, Nairobi, Kenya, 3-7 October. ACT, Harare**



En outre, les pratiques de l'agriculture de conservation accroissent la diversité et les populations de la macrofaune, qui déterminent la structure des sols.

Afin que ces pratiques soient efficaces, il est indispensable que les agriculteurs comprennent les principes écologiques sous-jacents en matière de santé et de productivité des sols, mais aussi qu'ils puissent s'appuyer sur une politique favorisante et bénéficier d'un soutien institutionnel, notamment qu'ils aient accès à des formations participatives de vulgarisation, des intrants abordables et des outils adaptés.

#### **IV. ENVIRONNEMENTS POLITIQUE ET INSTITUTIONNEL FAVORABLES**



Des politiques favorables et un soutien institutionnel doivent être mis en place afin d'exploiter efficacement et à une échelle suffisante les rôles et fonctions des processus biologiques dans l'intensification durable de la production, en vue de satisfaire la demande alimentaire future.

#### **IV.1. PLANIFICATION ET POLITIQUE AGRICOLES**

Les objectifs, stratégies, politiques, plans et programmes nationaux de développement agricole ainsi que les lois, règles et réglementations pertinentes en matière d'intensification durable de la production végétale doivent protéger et renforcer les fonctions écologiques qui favorisent l'agriculture afin d'optimiser les biens et services écosystémiques.

Les décideurs peuvent, par exemple, promouvoir une gestion responsable et adaptative des ravageurs grâce à la vulgarisation et à des campagnes de sensibilisation. Ils peuvent également influencer la consommation en supprimant les subventions pour les produits présentant des risques plus élevés. Ils jouent un rôle clé dans l'enregistrement des pesticides vendus et distribués sur le territoire dont ils ont la responsabilité, et peuvent ainsi avoir un impact direct sur l'offre de produits agrochimiques. Par ailleurs, ils peuvent vérifier la qualité des produits utilisés et veiller à ce qu'ils soient correctement étiquetés, commercialisés et appliqués afin de réduire autant que possible les risques.

La planification de l'utilisation des terres et les régimes fonciers sont un autre exemple. En termes simples, les agriculteurs qui n'envisagent pas nécessairement de continuer à cultiver dans un lieu donné sur le long terme sont peu enclins à adopter des pratiques de production durables.

Les responsables politiques peuvent résoudre ce problème par le biais des régimes fonciers.

La reconnaissance et l'utilisation accrues des processus biologiques en matière d'intensification durable de la production témoignent d'un changement fondamental dans la réflexion sur les systèmes de production. Cela implique un certain nombre d'éléments qui, encore récemment, n'étaient pas reconnus ou suffisamment mis en avant dans ces systèmes lorsqu'il s'agissait de la santé et des fonctions des écosystèmes, ou de l'amélioration de la capacité productive de la base de ressources.

La meilleure intégration des processus biologiques à l'intensification durable de la production végétale nécessite donc une compréhension plus profonde de leur rôle de fondement écologique de la production et des moyens de subsistance.

Cette compréhension permet aux agriculteurs de manipuler et de gérer les différentes parties des systèmes de production, dont l'objectif est d'optimiser l'utilisation des ressources et de protéger ou d'améliorer, sur le long terme, les processus écosystémiques dans le temps et l'espace. Voilà certains des

éléments qui sous-tendent les pratiques de production dictées par des considérations biologiques qui sont basées sur du “savoir intensif”.

#### **IV.2. MOBILISATION DES PARTIES INTÉRESSÉES**

Les expériences de nombreux pays ont montré que le fait de développer la gestion des processus biologiques dans les systèmes de production impliquait que toutes les parties intéressées évoluent dans leur engagement et leur comportement. Pour les agriculteurs, la mise en place d’un mécanisme (comme les champs-écoles) permettant d’expérimenter, d’apprendre et de s’adapter est un préalable indispensable.

Pour les décideurs et les responsables institutionnels, la transformation des systèmes non durables en systèmes améliorés et efficaces nécessite qu’ils prennent pleinement conscience des bénéfices économiques, sociaux et environnementaux significatifs que peuvent en tirer les producteurs et la société dans son ensemble.