

Agriculture biologique – Stratégie pour nourrir le monde, protéger les écosystèmes naturels et préserver la biodiversité

Gheorghe Valentin ROMAN, Elena NISTOR

Faculté d'agriculture, Université des sciences agronomiques et de médecine vétérinaire de Bucarest (B-dul Marasti 59, Sector 1, Bucuresti, 011464, Roumanie)

« Il en va de l'intérêt commun de l'agriculture et du monde naturel de développer une relation de soutien mutuel. La production de nourriture n'a pas besoin de détruire les écosystèmes sauvages et la richesse de leur diversité biologique. Et la préservation des écosystèmes sauvages ne représente aucune menace pour la nutrition de l'humanité. En fait, c'est l'opposé qui est vrai. L'utilisation sensée de la nature, qui passe par une augmentation considérable des efforts de conservation de la nature, est essentielle pour nourrir la planète. [...] Nature et nourriture sont égales. Sans espaces sauvages, nous ne pouvons pas espérer mettre de la nourriture sur nos tables. Et sans une agriculture florissante, nous ne pouvons pas attendre de la nature qu'elle prospère »

(Myers, 1987; Mc Neely et Scherr, 2003)

1. Introduction et définitions

Le monde contemporain se caractérise notamment par le besoin urgent d'apporter de nouvelles solutions aux problèmes rencontrés dans tous les domaines de l'activité humaine, et plus particulièrement aux problèmes fondamentaux posés par la production de nourriture et la protection de l'environnement. Cela s'explique, d'un côté, par l'importante dégradation de l'environnement due à des méthodes inappropriées d'exploitation des ressources naturelles et de gestion de la production agricole, ainsi qu'au manque de modération dans les diverses activités de la société humaine, et, de l'autre côté, par l'épuisement de certaines sources de matières premières et d'énergie, desquelles dépendaient les technologies intensives employées notamment au siècle dernier (Negri, 2005).

La remarquable augmentation de la productivité des cultures dans l'agriculture moderne s'est accompagnée, dans de nombreux cas, d'une dégradation de l'environnement (érosion et dégradation du sol, pollution du sol et des eaux par les pesticides et les engrais, salinité, etc.), d'une réduction considérable de la diversité biologique, de problèmes sociaux (disparition des petites exploitations familiales, concentration excessive des terres, des ressources et de la production, croissance de l'agro-industrie et sa domination sur la production agricole,

modification des schémas de migration rurale/urbaine) et d'une utilisation excessive des ressources naturelles. L'agriculture moderne est devenue très complexe, l'amélioration du rendement des cultures impliquant la gestion intensive et la disponibilité permanente d'énergie et de ressources supplémentaires. Les progrès en faveur d'une agriculture auto-soutenable, préservant les ressources, éco-énergétique, économiquement viable et socialement acceptable sont ainsi garantis (Mc Neely et Scherr, 2003).

Pour atteindre ces objectifs, on a développé de nouveaux concepts liés aux systèmes d'agriculture durable, actuellement désignés sous le terme d'« agriculture biologique ».

« L'agriculture biologique est un système de production qui évite ou exclut largement l'utilisation d'engrais et de pesticides de synthèse, de régulateurs de croissance et d'additifs alimentaires pour bétail. Les systèmes d'agriculture biologique utilisent, dans la mesure du possible, la rotation des cultures*, les résidus de récolte, les déjections animales (fumier), les engrais verts*, les déchets organiques extérieurs à l'exploitation et des méthodes biologiques de lutte antiparasitaire pour maintenir la productivité et l'ameublissement du sol, fournir les éléments nutritifs des plantes et lutter contre les insectes nuisibles, mauvaises herbes et autres parasites » (Litterick et Watson, 2003).

L'agriculture biologique est également appelée agriculture organique, agriculture écologique et agriculture biodynamique*. Les termes « biologique » et « écologique » sont généralement employés sur le continent européen, tandis qu'au Royaume-Uni et aux États-Unis, on privilégie le terme « organique ». L'agriculture biodynamique est une forme d'agriculture biologique spécialisée, qui s'inscrit dans une philosophie plus vaste englobant l'enseignement, l'art, la nutrition, la religion et l'agriculture (Toncea, 2000).

Agriculteurs, producteurs, défenseurs de l'environnement, consommateurs et décideurs politiques sont de plus en plus concernés par les problèmes liés à l'agriculture conventionnelle* industrialisée et se demandent si l'agriculture biologique peut apporter des solutions à certains de ces problèmes ou améliorer certains aspects des systèmes d'alimentation et d'agriculture. Le marché biologique a connu un fort développement, en particulier dans de nombreux pays occidentaux, en réponse à la demande des consommateurs, et cette croissance se poursuit en même temps que la qualité s'améliore et que la quantité de produits biologiques disponibles augmente (Litterick et Watson, 2003).

En 1965, seulement 0,1 % de la superficie agricole de l'UE était consacré à l'agriculture biologique. En 2001, ce même pourcentage dépassait les 2 %. Ce surcroît d'intérêt et d'activité semble lié à la fois aux pressions financières qui pèsent actuellement sur l'agriculture et au changement de perception du public à l'égard des industries agricoles. Le climat financier difficile que subit l'agriculture représente un moteur important de l'intérêt grandissant pour la production biologique, les prix à la ferme des produits biologiques pouvant être beaucoup plus élevés que ceux des produits conventionnels*. Les aliments biologiques sont perçus comme étant plus sûrs, plus sains et meilleurs par une proportion significative de la population, ce qui constitue la principale motivation d'achat. En outre, de plus en plus d'éléments tendent à prouver que certaines pratiques associées à l'agriculture conventionnelle créent des problèmes environnementaux (pollution et perte de biodiversité, notamment) ; ainsi, de nombreuses personnes achètent des aliments biologiques car elles pensent qu'ils sont meilleurs pour l'environnement.

2. Principes et pratiques généraux de l'agriculture biologique

Les principes et pratiques sous-jacents aux différentes formes d'agriculture biologique sont en grande partie similaires. Ainsi, toutes les formes d'agriculture biologique sont fondées sur le même concept — selon lequel le sol est un système vivant — et s'appuient sur l'amélioration des cycles naturels et la préservation des liens entre le sol, les végétaux, les animaux et les hommes. La réussite de l'agriculture biologique dépend du fait que chaque pratique agricole affecte de nombreux aspects de l'ensemble du système agricole. Ce concept est souvent qualifié d'« holistique » (un composant ne peut être modifié ou supprimé du système sans que cela n'affecte, de façon positive ou négative, d'autres composants).

Les principes et pratiques sur lesquels repose l'agriculture biologique ont été définis plus en détail par l'IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements¹) (Litterick et Watson, 2003 ; Negrila, 2005 ; Willer *et al.*, 2003) :

- produire, en quantité suffisante, une nourriture de haute qualité nutritionnelle ;
- interagir avec les systèmes et cycles naturels de façon constructive et en contribuant à l'amélioration de la vie ;

¹ Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique

- prendre davantage en compte l’impact écologique et social des systèmes de traitement et de production biologiques ;
- encourager et améliorer les cycles biologiques au sein des systèmes agricoles, en respectant les micro-organismes, la flore et la faune du sol, les plantes et les animaux ;
- développer un écosystème aquatique utile et durable ;
- maintenir et améliorer la fertilité à long terme des sols ;
- maintenir la diversité génétique du système de production et de son environnement, notamment en protégeant les habitats des plantes et des animaux sauvages ;
- promouvoir l’utilisation saine et consciencieuse de l’eau et des ressources en eau, et préserver toute forme de vie aquatique ;
- utiliser, autant que possible, des ressources renouvelables dans des systèmes de production organisés à l’échelle locale ;
- créer un équilibre entre la production végétale et la production animale ;
- travailler, dans la mesure du possible, en système fermé s’agissant de la matière organique et des éléments nutritifs ;
- fournir à l’ensemble des animaux d’élevage des conditions de vie qui leur permettent d’exprimer les aspects fondamentaux de leur comportement naturel ;
- réduire toutes les formes de pollution ;
- traiter les produits biologiques avec des ressources renouvelables ;
- produire des produits biologiques entièrement biodégradables ;
- produire des fibres textiles résistantes et de bonne qualité ;
- garantir à toute personne impliquée dans le traitement et la production biologiques une qualité de vie satisfaisant ses besoins fondamentaux, lui apportant une rémunération juste et lui permettant de tirer satisfaction de son travail, notamment via un environnement de travail sûr ;
- mettre en place une filière complète de production, de traitement et de distribution qui soit à la fois socialement juste et écologiquement responsable.

3. Problèmes techniques liés à l'agriculture biologique

3.1. Rotation des cultures

L'utilisation d'engrais et de pesticides de synthèse étant interdite dans les systèmes d'agriculture biologique, la production moderne de cultures biologiques est radicalement différente de la production conventionnelle. Une rotation équilibrée des cultures est indispensable à la réussite des systèmes biologiques, ce qui n'est pas le cas en agriculture conventionnelle, où les alternatives chimiques ont conduit, au cours du siècle dernier, à l'intensification et à la spécialisation. En agriculture conventionnelle, les pressions économiques ont entraîné la simplification des systèmes de culture et le remplacement des méthodes culturales de désherbage, de lutte contre les parasites et de gestion de la fertilité par des produits chimiques synthétiques. Le recours aux rotations de cultures en agriculture conventionnelle est aujourd'hui réduit. Les monocultures en continu et les rotations courtes sans éléments créateurs de fertilité sont pratique courante dans les zones tempérées du monde développé (Altieri *et al.*, 1987).

La rotation des cultures permet aux agriculteurs biologiques d'éviter et de lutter contre les insectes nuisibles, les maladies et les mauvaises herbes, de fournir les éléments nutritifs nécessaires aux cultures et de réduire les pertes de nutriments. L'existence de telles opportunités s'explique par les différences des cultures quant à leur physiologie, à l'architecture de leurs racines, à leurs besoins en nutriments et au fait qu'elles soient sensibles ou non aux parasites. Dans toute rotation de cultures biologiques auront lieu une phase de création de fertilité et une phase de culture de rente (c'est-à-dire génératrice de revenus).

En Europe, la majorité des exploitations agricoles biologiques s'appuient sur des unités mixtes (cultures végétales et élevage d'animaux) traditionnelles qui produisent une grande variété de céréales, cultures fourragères et bétail. La réussite de ces systèmes repose sur la rotation entre prairie artificielle* et culture arable, où la quantité d'azote fixé par les légumineuses lors de la phase prairie artificielle sert à la fois à la production animale et aux cultures de la phase suivante. La gestion des cultures et des animaux au sein des systèmes de rotation vise à optimiser la santé et la qualité du sol, ainsi que la santé et la productivité des cultures et des animaux. Outre les exploitations mixtes traditionnelles, il existe également de plus en plus d'unités biologiques spécialisées produisant des cultures horticoles.

La plupart des agriculteurs biologiques ont recours à la rotation de cultures sur l'ensemble de l'exploitation, mais certains producteurs spécialistes des cultures à long terme (arbres fruitiers et

vignes, par exemple) doivent importer des éléments fertilisants provenant de sources extérieures locales et compter sur la présence de plantes sauvages entre les parcelles et en bordure afin d'améliorer la biodiversité des plantes (et, par conséquent, de la faune sauvage).

3.2. Gestion du sol et des nutriments

3.2.1. Questions générales

Il est communément admis que la santé et la productivité des plantes et des animaux dans les systèmes d'agriculture biologique dépendent fortement de la santé et de la qualité du sol. La protection et la gestion du sol sont donc essentielles pour la réussite des rotations biologiques. Les exploitants choisissent, pour la rotation, des cultures équilibrées qui contribueront à l'entretien et à l'amélioration de la teneur en éléments nutritifs, du cycle nutritif, de la structure et de la teneur en matière organique du sol. Les fertilisants de synthèse étant interdits en agriculture biologique, les agriculteurs doivent s'adapter à la rareté des nutriments disponibles. Par conséquent, l'un des principaux objectifs de la gestion des nutriments dans les systèmes biologiques est d'optimiser l'utilisation des ressources provenant de l'exploitation et de limiter les pertes.

La fourniture et la gestion de l'azote sont plus complexes en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle, et les agriculteurs biologiques doivent relever un défi majeur consistant à synchroniser la disponibilité d'azote minéralisé à partir des résidus de récolte et des déjections animales avec les besoins des cultures. Les cultures biologiques cultivées sur des exploitations mixtes traditionnelles reposent essentiellement sur l'azote fixé symbiotiquement ; les cultures pouvant contribuer à la fertilité du sol doivent donc être utilisées de façon optimale. Les cultures biologiques peuvent également être alimentées en azote provenant des déjections des animaux de pâturage, des composts et fumiers importés et de l'atmosphère (par dépôt).

En agriculture biologique (notamment dans les exploitations sans stock), il peut également s'avérer difficile de garantir un apport approprié de phosphore, potassium et oligo-éléments, du fait de la réglementation, qui impose des restrictions quant aux sources de nutriments acceptées. Par exemple, aucune culture, aucun résidu de récolte et aucun produit animal génétiquement modifié n'est autorisé en agriculture biologique. Les matières organiques, telles que le fumier de ferme et certains types de compost, sont des sources de phosphore et de potassium importantes. Plusieurs matières fertilisantes contenant naturellement du phosphore, du potassium et des oligo-

éléments (phosphate naturel, scories, sulfate de potassium et extraits d'algues, par exemple) sont tolérées avec une utilisation limitée. Une caractéristique importante des systèmes d'agriculture biologique est que les résidus de récolte sont réintroduits dans le sol, ce qui a pour principal avantage de réduire les pertes de nutriments et de maintenir ou d'améliorer les niveaux de matière organique du sol.

L'agriculture intensive moderne représente certaines menaces pour l'environnement naturel ; les premières à avoir été reconnues sont : la pollution causée par les pesticides toxiques sur les cultures, la charge nutritive élevée due à la surfertilisation et les déchets agricoles organiques et inorganiques. Ces systèmes de culture, d'élevage et d'aquaculture intensifs à haut niveau d'intrants sont largement répandus dans les pays développés, tandis que, dans les pays en voie de développement, ils se limitent généralement à des activités d'élevage et d'agriculture de rente* à forte valeur ajoutée. La pollution par les engrais est une préoccupation mineure dans nombre de pays à faible revenu et dans les systèmes de culture sur terres marginales, où l'augmentation des rendements peut nécessiter des quantités accrues d'engrais chimiques et de matière organique dans les sols pauvres.

Le lessivage, l'érosion, la volatilisation et la dénitrification peuvent entraîner des pertes de nutriments du système. Les méthodes de gestion ont un impact considérable sur les pertes de nutriments (en particulier d'azote) des systèmes biologiques (et conventionnels) ; il est donc crucial de comprendre les effets de ces méthodes pour réduire les pertes.

3.2.2. Fixation de l'azote

L'azote représente le nutriment le plus important pour les plantes et agit souvent comme facteur limitant pour la croissance et la survie, bien qu'il soit présent en abondance dans l'atmosphère (gaz N_2). La plupart des cultures dépendent de l'azote réduit présent dans le sol sous la forme de nitrate (NO_3^-), qui provient principalement de la minéralisation microbienne de l'azote fixé de façon organique. Cependant, la production agricole mondiale fait de plus en plus appel aux engrais contenant de l'azote fixé de façon industrielle pour maintenir les niveaux de rendement et nourrir une population croissante. La production industrielle d'engrais azotés, qui requiert beaucoup d'énergie (généralement des combustibles fossiles), se révèle très coûteuse aussi bien sur le plan financier qu'en termes de ressources énergétiques. La pollution des eaux et l'émission

d'oxyde nitreux sont d'autres conséquences néfastes de l'utilisation des engrais azotés industriels (Thomas *et al.*, 2003).

Toutefois, de nombreux organismes procaryotes* sont capables, grâce à une enzyme appelée nitrogénase, de réduire l'azote N₂ de l'atmosphère en ammonium (NH₄⁺), ce qui leur permet de s'alimenter en azote, essentiel à leur survie et à leur croissance. Certaines de ces diazotrophes* sont libres et d'autres vivent en association ou en symbiose avec des organismes supérieurs (dont des plantes et plus particulièrement de la famille des légumineuses), fournissant à ces organismes hôtes de l'azote réduit en échange de carbone.

Les systèmes symbiotiques les plus connus, dans lesquels les bactéries fixatrices d'azote s'associent aux racines de diverses plantes hôtes, sont les associations *Rhizobium*-légumineuses. Il existe également : des symbioses actinorhiziennes sur les racines des plantes non légumineuses, comme l'aulne (*Alnus* spp.), hôte du microsymbiote *Frankia* ; des associations entre cyanobactéries et champignons, fougères et cycades ; et des symbioses associatives entre diverses graminées et des bactéries telles que *Acetobacter*, *Azoarcus*, *Azotobacter* et *Azospirillum* (Altieri *et al.*, 1987).

Les diazotrophes symbiotiques les plus importantes sont les bactéries du sol regroupées sous le terme de « rhizobiacées ». Elles établissent des associations symbiotiques en induisant la formation de nodules au niveau des racines de leur plante légumineuse hôte, ce qui crée des conditions optimales pour la fixation de l'azote. Les rhizobiacées présentent souvent une spécificité et n'infectent que certaines plantes hôtes. Toutefois, certaines légumineuses peuvent être nodulées par plusieurs espèces rhizobiales, et une seule espèce rhizobiale peut noduler plusieurs légumineuses hôtes. Des études phylogénétiques, fondées sur la séquence d'ARN ribosomique*, ont démontré une grande diversité génétique parmi les rhizobiacées, désormais divisées en cinq genres différents : *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium* (par exemple, *Bradyrhizobium japonicum* sur le soja), *Mesorhizobium*, *Rhizobium* (par exemple, *Rhizobium leguminosarum* sur le haricot [var. *phaseoli*], sur le trèfle [var. *trifolii*] et sur le pois [var. *viciae*]), *Sinorhizobium* (par exemple, *Sinorhizobium meliloti* sur la luzerne).

Des préparations bactériennes contenant des espèces de *Rhizobium* spécifiques, destinées à traiter les cultures de légumineuses, sont aujourd'hui largement employées. Produites dans des laboratoires spéciaux, elles contiennent des bactéries sélectionnées hautement actives, qui fixent l'azote de l'atmosphère. Ainsi, dans des conditions environnementales favorables, ces bactéries

peuvent pourvoir à plus de 75 % de la consommation d'azote des cultures, le reste provenant des réserves du sol. Il est intéressant de noter que les bactéries peuvent naître dans le sol si les espèces respectives y ont été cultivées l'année précédente (Aufhammer, 1998).

3.3. Lutte contre les parasites

3.3.1. Questions générales

Les insectes nuisibles, maladies et mauvaises herbes sont connus pour causer de graves dommages dans les cultures de plein champ. La baisse du volume de récolte s'accompagne généralement d'une importante baisse de la qualité des produits. Ces dommages sont de l'ordre de 24 à 28 % pour l'agriculture mondiale (Negrila, 2005).

La nécessité de réduire les pertes entraînées par les insectes nuisibles, les maladies et les mauvaises herbes a conduit à l'emploi de méthodes chimiques, au détriment des méthodes agro-techniques, biologiques et physiques. En fait, l'industrie chimique domine le secteur de la lutte contre les organismes nuisibles, notamment grâce à la nouvelle génération de pesticides de synthèse. La baisse des coûts et la minimisation de l'impact négatif des pesticides sont rendues possibles par l'application de mélanges permettant de lutter contre plusieurs organismes à l'origine de dommages et par l'utilisation alternée de produits chimiques évitant l'apparition de populations résistantes.

Dans ces circonstances, il est impératif d'appliquer des mesures complexes de prévention (prophylactiques) et de traitement (agro-techniques, physiques, mécaniques, biologiques et génétiques) pour lutter contre les insectes nuisibles, maladies et mauvaises herbes. Seules leur combinaison rationnelle et l'application du concept de « Gestion intégrée des nuisibles » (GIN)* peuvent conduire à une diminution manifeste des dommages causés aux cultures. L'application unilatérale d'une mesure de contrôle sur un complexe d'organismes nuisibles s'est avérée inefficace, tandis que l'utilisation combinée de plusieurs méthodes est plus à même d'assurer la protection à long terme des cultures agricoles.

Les mesures agro-techniques sont les plus anciennes et également les plus efficaces dans la prévention des attaques, car leur application modifie les conditions environnementales, les rendant défavorables à la reproduction et à la croissance des agents pathogènes. De toutes les mesures agro-techniques, la rotation des cultures est la plus efficace pour réduire les pertes causées par les insectes nuisibles, maladies et mauvaises herbes.

Améliorer la résistance des plantes aux maladies et aux attaques de nuisibles par des moyens génétiques représente également une méthode classique efficace. Depuis les débuts de l'agriculture, les agriculteurs sélectionnent les semences des cultures capables de résister aux invasions d'insectes nuisibles. Cependant, c'est au début du 19^e siècle qu'apparaît la sélection délibérée de variétés de cultures fondée sur leur capacité à survivre aux maladies, entraînant le développement de la sélection de plantes comme un moyen scientifique d'augmenter les rendements, fondé sur la génétique mendélienne*. L'altération constante de la virulence des différentes souches d'agents pathogènes des plantes a conduit à la nécessité permanente de sélectionner des cultivars possédant un certain niveau de résistance aux agents pathogènes les plus importants. Dans certains cas, il a été recommandé de mélanger les variétés pour élargir la gamme de résistance ou ralentir la propagation de la maladie en présence de plantes susceptibles d'être contaminées. Les sélectionneurs se sont concentrés sur la résistance aux agents pathogènes des plantes, notamment aux champignons et aux virus. Néanmoins, certains cultivars ont été sélectionnés pour leur résistance aux insectes nuisibles. Ici, l'approche pouvait être biochimique — les plantes ont été sélectionnées pour leur niveau élevé de certaines toxines — ou la résistance a pu s'obtenir via la culture de plantes physiquement moins attractives pour les insectes, présentant, par exemple, des feuilles coriaces ou pubescentes.

Le développement des cultures transgéniques* — méthode consistant à introduire des gènes spécifiques dans les cultures afin de leur apporter certaines qualités — est relativement récent. Ainsi, les plantes qui expriment un gène toxique issu de certaines souches de *Bacillus thuringiensis* sont capables de résister aux invasions de certains insectes nuisibles, notamment de lépidoptères*, tandis que d'autres souches de *Bacillus thuringiensis* permettent de résister aux coléoptères nuisibles*. Ces cultures sont toutefois sensibles à d'autres nuisibles, tels que les aphidiens (pucerons). Néanmoins, ces nouvelles méthodes ne peuvent pas s'appliquer à l'agriculture biologique, puisque les principes qui la régissent interdisent l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM)* (Dayan, 1988).

Les méthodes de lutte antiparasitaire autorisées en agriculture biologique sont les suivantes (Negrila, 2005) :

- préparations phytopharmaceutiques naturelles, tels que l'alun ou le calcaire alumineux, les pyréthrines (extraites des fleurs de pyrèthre), la roténone (extraite des racines de la

- plante tropicale *Derris elliptica*), la quassine (extraite du bois de la plante tropicale *Quassia amara*), le Neudosan, les huiles de paraffine, etc. (Fedor, 2001 ; Kreuter, 2001) ;
- plantes capables d’empêcher ou de minimiser les attaques d’insectes nuisibles ou les maladies (ail, souci, capucine, lavande, thym, absinthe, sauge commune, oignon, persil, menthe, céleri, coriandre, chanvre, etc.). En outre, l’effet répulsif du pois sur certains insectes, tels que le charançon gris du blé (*Tanymecus dilaticollis*), est également bien connu.

3.3.2. Lutte biologique

Les pesticides de synthèse et certains pesticides naturels étant interdits en agriculture biologique, les agriculteurs ont recours à une combinaison de techniques de culture et de gestion pour prévenir et lutter contre les insectes nuisibles et les maladies. Les traitements réactifs sont peu utilisés dans les systèmes d’agriculture biologique et ne sont autorisés que s’il est démontré que leur utilisation est essentielle pour éviter la perte de cultures.

La lutte antiparasitaire biologique est un concept moderne qui permet de réduire les pertes de cultures. Il est aujourd’hui reconnu au niveau international.

Les méthodes biologiques (« vivant contre vivant ») et la lutte biologique comprennent :

- l’attraction d’animaux et d’insectes utiles, via la mise en place des meilleures conditions d’alimentation et d’habitat ;
- l’élevage et l’introduction d’organismes utiles — méthode de lutte biologique de plus en plus employée dans les pays développés ;
- l’utilisation de méthodes de lutte microbiologique — modernes et efficaces, mais assez chères ;
- les techniques de confusion (utilisation de phéromones*).

Attraction de la faune utile. Attirer les animaux et les insectes utiles en créant des conditions d’alimentation et d’habitat qui leur sont favorables est une méthode traditionnelle utilisée dans les systèmes d’agriculture biologique. En fait, les principes et pratiques de l’agriculture biologique ayant généralement pour but de réduire les impacts négatifs sur l’environnement et les écosystèmes naturels, ils favorisent le développement de la faune utile, ce qui augmente son efficacité dans la lutte antiparasitaire.

Voici quelques exemples, parmi les plus courants, d'espèces appartenant à l'entomofaune utile : *Coccinella septempunctata*, *Propylea quatuordecimpunctata*, *Exochomus quadripustulatus*, *Adonis variegata*, *Cantharis* sp., *Adalia bipunctata*, *Chilocorus* sp., *Scymnus* sp., *Forficula auricularia*, *Chelidurella* sp., *Hemerobius* sp., etc. (Balan *et al.*, 2003; Fortmann, 2000).

Introduction d'organismes utiles (lutte biologique à l'aide de prédateurs et parasitoïdes).

Bien que la lutte antiparasitaire biologique soit appliquée depuis 1870 environ, l'utilisation commerciale à grande échelle des ennemis naturels des parasites est répandue depuis moins de 40 ans. Dans certains secteurs de l'agriculture (pommeraies, maïs, coton, canne à sucre, soja, vigne et serres, par exemple), cette alternative à la lutte chimique s'est révélée efficace, écologique et économique (van Lenteren, 2003).

Le nombre d'agents de lutte biologique commercialisés a considérablement augmenté au cours des 25 dernières années. Comme ils sont de plus en plus utilisés, il existe actuellement près de 100 entreprises qui produisent et vendent en masse ce type d'organismes de lutte biologique dite augmentative. Outre ces producteurs privés, il existe également de nombreuses unités de production d'ennemis naturels fondées par des gouvernements, notamment au Brésil, en Chine, en Colombie, à Cuba, au Mexique et au Pérou.

Aujourd'hui, plus de 125 espèces d'ennemis naturels sont disponibles sur le marché de la lutte antiparasitaire biologique ; près de 30 d'entre elles sont produites en grande partie dans des insectariums privés. Les producteurs privés d'ennemis naturels élèvent principalement des prédateurs et des parasitoïdes. En Europe, par exemple, la liste des ennemis naturels commercialisés comprend des insectes parasites et prédateurs, des acariens prédateurs, des nématodes entomopathogènes et d'autres parasites invertébrés, champignons, bactéries, virus, insectes, etc.

La lutte biologique augmentative, qui consiste à lâcher périodiquement de grandes quantités d'ennemis naturels, est appliquée commercialement à plusieurs systèmes de culture sur une vaste zone. Cette méthode de lutte très répandue est employée à la fois par les agriculteurs professionnels et les agriculteurs progressifs, et encouragée par les politiques internationales actuelles de réduction de l'utilisation des pesticides. À l'origine, la lutte biologique augmentative était utilisée pour gérer les parasites devenus résistants aux pesticides ; désormais, elle est appliquée en raison de son efficacité et de son coût, comparables à ceux de la lutte chimique

conventionnelle. Les agriculteurs sont également incités à appliquer les méthodes de lutte biologique pour diminuer les effets négatifs des pesticides sur l'environnement.

On distingue généralement deux méthodes de lâcher périodique d'ennemis naturels : le lâcher inondatif et le lâcher inoculatif saisonnier (van Lenteren, 2003).

Le lâcher inondatif consiste à collecter des organismes utiles, à les élever en masse et à en relâcher périodiquement de grandes quantités afin de lutter immédiatement contre un parasite (utilisation semblable à celle d'un insecticide biotique), dont le contrôle est ensuite assuré par la progéniture des organismes lâchés. Cette méthode s'applique aux cultures dans lesquelles il est possible d'établir des populations viables d'ennemis naturels, aux cultures présentant un seuil de nuisibilité très bas et nécessitant une lutte rapide dès les premiers stades d'infestation, ou aux cultures dans lesquelles ne vit qu'une seule génération de parasites. Exemple : utilisation du parasitoïde des œufs *Trichogramma* spp. contre la pyrale du maïs* qui s'attaque aux cultures de maïs en Europe (van Lenteren, 2003 ; Negrila, 2005).

Pour le lâcher inoculatif saisonnier, les ennemis naturels sont collectés et élevés en masse, puis relâchés périodiquement dans des cultures à court terme (6-12 mois) dans lesquelles se reproduisent de nombreuses générations de parasites. Un nombre relativement élevé d'ennemis naturels sont relâchés afin de lutter immédiatement contre le parasite et d'établir une population d'ennemis naturels qui agira pendant toute la saison de croissance. Cette méthode, développée en Europe au cours des trois dernières décennies, est appliquée dans les serres et connaît un grand succès commercial. Deux des principaux ennemis naturels utilisés dans cette méthode sont *Phytoseiulus persimilis* (acarier prédateur de l'araignée rouge) et *Encarsia formosa* (parasitoïde de l'aleurode ou mouche blanche des serres) (Fedor, 2001 ; van Lenteren, 2003).

Lutte antiparasitaire microbienne. Les agents microbiens de lutte antiparasitaire sont commercialisés depuis plus de 40 ans en Amérique du Nord. Désormais, les États-Unis, le Canada et les pays de l'UE disposent d'une série de produits (actuellement restreinte mais qui ne cesse de s'étendre) contenant des bactéries, champignons, protozoaires et virus divers. Leur mode d'action spécifique à l'hôte pour lutter contre les moustiques (*Culicidae*), les mouches noires (*Simuliidae*) et de nombreux insectes nuisibles a bénéficié à l'agriculture et à la foresterie. Depuis de nombreuses années, la surveillance réglementaire des pesticides microbiens s'appuie sur les précédents et normes relatifs aux pesticides chimiques (Laird *et al.*, 1990).

Ces agents biologiques sont aujourd'hui appliqués en tant que « biopesticides » de la même manière que les pesticides chimiques. Les biopesticides destinés à la lutte contre les insectes incluent des baculovirus*, des champignons (par exemple, *Metarhizium anisopliae*) et des nématodes entomopathogènes. Pour lutter contre les criquets et les sauterelles, on utilise une formulation huileuse des conidies* de *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*, qui peut être appliquée à un environnement acide. Bien qu'il agisse plus lentement qu'un insecticide chimique, ce biopesticide tue 90 % du parasite en 7-12 jours sans décimer les ennemis naturels. Des champignons antagonistes, tels que *Trichoderma* spp., sont également utilisés pour lutter contre les agents pathogènes des plantes (Thomas *et al.*, 2003).

Seules quelques entreprises produisent des agents microbiens tels que les nématodes, champignons, bactéries ou virus entomopathogènes. Les principaux producteurs d'agents microbiens sont en fait les entreprises chimiques, et on s'attend à ce que l'industrie des pesticides contrôle, à l'avenir, toutes les activités de ce secteur.

Voici la liste des pesticides microbiens utilisés dans l'UE (Laird *et al.*, 1990) :

- *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* – insecticide bactérien ;
- *Bacillus thuringiensis* ssp. *israelensis* – insecticide bactérien ;
- *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai* – insecticide bactérien ;
- *Agrobacterium radiobacter* – antagoniste bactérien ;
- *Arthrobotrys irregularis* – nématocide fongique ;
- *Trichoderma viride* – fongicide fongique ;
- *Neodiprion sertifer* – insecticide viral ;
- *Verticillium lecanii* – insecticide fongique et myco-insecticide (Mycotal).

Exemples de préparations obtenues à partir de certains micro-organismes (virus, bactéries, champignons) vivants et utilisées pour parasiter et tuer certains parasites : Granusal pour le ver de la pomme (*Carpocapsa pomonella*), Virin ENS pour la chenille verte du chêne (*Nadata gibbosa*), Virin EKS pour la noctuelle du chou (*Mamestra brassicae*), Thuringin ou Dipel pour les chenilles défoliatrices et les vers des fruits, champignons *Beauveria*, *Entomophthora* et *Verticillium* pour le doryphore de la pomme de terre (*Leptinotarsa decemlineata*), les pucerons et les mouches blanches (Negrila, 2005).

Au niveau de la sécurité, les pesticides microbiens ont été favorablement perçus, du fait de leur grande spécificité (gamme d'hôtes généralement limitée), de l'absence de toxicité ou de

pathogénicité pour les mammifères, de leur compatibilité avec les organismes utiles et de la valeur qui en résulte dans les schémas de GIN (Gestion intégrée des nuisibles). Toutefois, le succès commercial de ces produits a été freiné par leur spectre d'activité restreint, leur courte durée de vie et/ou leur action lente sur les parasites visés. Pour corriger ces problèmes, des efforts intensifs ont été déployés pour développer des formulations plus stables sur le plan environnemental, pour isoler des souches supérieures et pour utiliser des techniques conventionnelles et modernes de manipulation génétique, telles que l'ADN recombiné*, afin de produire des produits plus efficaces et plus compétitifs.

Techniques de confusion (utilisation de phéromones). Les phéromones des insectes affectent les interactions intraspécifiques. Ce sont les phéromones sexuelles — qui, dans la plupart des cas, attirent les mâles vers les femelles vierges — qui ont été le plus largement utilisées en GIN, notamment pour lutter contre les lépidoptères. Ces puissantes phéromones peuvent être utilisées à la place des pièges lumineux pour piéger les insectes de façon sélective. La décision d'utiliser un insecticide peut dépendre du nombre d'insectes piégés lors des périodes critiques de croissance des cultures. Le piégeage de masse sans traitement insecticide est moins efficace, car il requiert un grand nombre de pièges coûteux. Quant au piégeage de masse avec phéromones d'agrégation, il se révèle plus efficace, car il permet de piéger aussi bien les insectes mâles que les femelles. Les phéromones peuvent également servir à attirer les insectes vers une surface traitée à l'insecticide (technique « leurrer et tuer »).

Pour certains insectes, il est possible d'éradiquer les populations sur des zones définies en y introduisant des mâles stériles qui vont concurrencer la population sauvage. Cette technique ne convient qu'en cas d'accouplement simple, et est généralement combinée à une méthode de lutte chimique, qui réduit initialement les populations de sorte que le nombre d'insectes stériles nécessaires soit beaucoup moins important (Thomas *et al.*, 2003).

Les phéromones permettent de limiter l'utilisation d'insecticides, d'où une diminution de la pollution de l'environnement et des aliments, un effet moindre sur les organismes utiles, de moins en moins de traitements chimiques utilisés et la possibilité de choisir le meilleur moment d'application des traitements de lutte antiparasitaire, tout cela se traduisant par un gain de temps et d'argent (Negrila, 2005 ; Rosca *et al.*, 1999).

3.4. Lutte biologique contre les mauvaises herbes

Les mauvaises herbes ont toujours causé de graves dommages aux cultures, entraînant parfois des pertes extrêmement importantes.

Les produits chimiques de lutte contre les mauvaises herbes (herbicides) ont été utilisés pour la première fois en agriculture dans les années 1950 et représentent depuis lors un outil utile permettant d'obtenir des cultures agricoles de qualité supérieure. Néanmoins, dans le même temps, l'utilisation à long terme de ces produits chimiques a eu des effets négatifs, tels que (Negrila, 2005) :

- l'action non sélective d'herbicides, qui agissaient à la fois sur les mauvaises herbes et les plantes cultivées, atteignant des niveaux toxiques et causant des problèmes de phytotoxicité ;
- l'apparition de génotypes et de populations de mauvaises herbes résistantes aux herbicides. Le premier cas de résistance aux herbicides mentionné dans les textes était celui du *Senecio vulgaris*, en 1970. D'après certains rapports, plus de 50 espèces sont aujourd'hui résistantes à certains herbicides ;
- la sélection d'espèces de mauvaises herbes contre lesquelles les herbicides pré-existants ne peuvent pas lutter. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de lutte biologique ;
- le déséquilibre survenant dans les agro-écosystèmes du fait de la présence d'espèces annuelles dont les cycles biologiques imitent le cycle biologique de la plante cultivée (par exemple, *Stellaria media*, *Senecio vulgaris*, *Matricaria inodora*, *Papaver rhoeas*, *Lolium perenne*, *Avena fatua*, *Stellaria glauca*, *Echinochloa crus-galli*).

Tous ces effets négatifs, qui résultent de l'application prolongée d'herbicides, ont ouvert la voie à la lutte biologique contre les mauvaises herbes. Bien qu'elle ne représente qu'une faible part des technologies agricoles (1-2 %), la lutte biologique contre les mauvaises herbes est préconisée comme alternative à la méthode chimique.

La lutte biologique contre les mauvaises herbes inclut deux approches, l'une dite classique, l'autre fondée sur les mycoherbicides.

La lutte biologique classique contre les mauvaises herbes se caractérise par :

- le lâcher initial de l'agent pathogène (agent de lutte biologique), sans intervention ultérieure ;

- la phase de maladie, qui dépend des conditions naturelles de dispersion de l'agent pathogène — l'évolution de la maladie et de l'agent pathogène lâché dans la culture assurant la lutte à long terme contre les mauvaises herbes, réduisant ainsi la population de ces dernières sans nécessiter la réintroduction de l'agent pathogène dans la culture.

La méthode de lutte biologique contre les mauvaises herbes utilisant des mycoherbicides consiste à appliquer des produits spécifiques sur des zones spécifiques, selon des taux, des volumes et des moments définis, avant que les mauvaises herbes concernées n'atteignent le seuil de nuisibilité économique. Ici, les agents pathogènes sont entretenus, et la lutte contre les mauvaises herbes s'effectue pendant la période d'application des mycoherbicides.

Les mycoherbicides répondent mieux aux attentes que la méthode classique, car ils sont appliqués à des mauvaises herbes ciblées et à des moments bien définis, ce qui permet d'ignorer les limites liées à l'espace, au temps et à l'environnement qui s'imposent lorsque l'on utilise la méthode classique. En outre, les mycoherbicides sont recommandés pour diverses zones agricoles, zones sensibles de la biosphère, zones protégées, etc.

Jusqu'à présent, les mycoherbicides ont été créés à partir de différentes espèces de champignons, notamment les *Colletotrichum*. Parmi toutes les souches isolées de *Colletotrichum* considérées comme possibles mycoherbicides, certaines ont un fort potentiel commercial et sont utilisées depuis plus de dix ans. Les premiers mycoherbicides étaient (Negrila, 2005) :

- « De Vine » – mycoherbicide commercialisé, obtenu à partir de *Phytophthora palmivora*, utilisé pour lutter contre *Morrenia odorata* dans les cultures de cédratiers en Floride ;
- « Collego » – mycoherbicide sélectif de post-levée, obtenu à partir de *Colletotrichum gloeosporioides* séché, utilisé pour lutter contre *Aeschynomene virginica* dans les cultures de riz et de soja dans l'Arkansas ;
- « Bio Mal » – herbicide sélectif de post-levée*, obtenu à partir de *Colletotrichum gloeosporioides* sp. *malvae* séché, utilisé pour lutter contre *Malva pusilla* dans les cultures de lentille et de blé au Canada et au nord des États-Unis ;
- « Lubao » – mycoherbicide commercialisé, obtenu à partir de *Colletotrichum gloeosporioides* sp. *cuscutae*, utilisé pour lutter contre la cuscute* dans les cultures de soja ;

- « Velgo » – mycoherbicide commercialisé, obtenu à partir de *Colletotrichum coccodes*, utilisé pour la lutte sélective de post-levée contre *Abutilon theophrasti* dans les cultures de maïs et de soja au Canada et aux États-Unis.

Des bioherbicides en granulés contenant le champignon *Sclerotinia sclerotiorum* ont également été testés au Canada pour lutter contre les espèces suivantes : *Taraxacum officinale*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus vulgare*, *Carduus nutans*, *Senecio jacobaea* et *Carduus tenuiflorus* (Negrila, 2005).

3.5. Production animale biologique

Dans les exploitations agricoles biologiques, l'élevage dépend des trois principes majeurs suivants (Litterick et Watson, 2003) :

- les systèmes de production animale doivent être conformes aux normes les plus strictes en matière de bien-être des animaux ;
- l'alimentation du bétail doit être adaptée à sa physiologie et composée, dans la mesure du possible, d'aliments produits sur l'exploitation ou provenant d'une source locale ;
- concernant les soins vétérinaires, l'emploi systématique et prophylactique de médicaments n'est pas autorisé. La santé des animaux doit être préservée et améliorée via un système d'élevage préventif, avec des conditions de logement et d'alimentation appropriées, respectant le bien-être des animaux.

Les normes strictes en matière de bien-être imposées par la réglementation biologique visent à optimiser la santé des animaux et la qualité des produits (viande et autres produits d'origine animale, comme le lait et les œufs). Il a été montré que la mise à l'attache prolongée, le confinement excessif dans des cages ou des bâtiments clos, les densités de peuplement élevées et l'inadéquation des litières/planchers entraînent un mauvais état de santé chez les animaux. Par conséquent, toutes ces pratiques sont interdites dans les systèmes biologiques.

L'élevage biologique est une activité liée à la terre. Le bétail doit donc avoir accès à des espaces de plein air (« parcours »), et le nombre d'animaux par unité de surface doit être limité, de façon à assurer une gestion intégrée des productions animales et végétales sur l'exploitation, réduisant ainsi toute forme de pollution, en particulier du sol et des nappes phréatiques. La taille du cheptel doit être étroitement liée à la surface disponible afin d'éviter les problèmes de surpâturage et d'érosion et de permettre un taux d'épandage du fumier acceptable, sans risques pour

l'environnement. La densité de peuplement doit être ajustée de sorte que ce taux ne dépasse pas 170 kg d'azote par hectare et par an.

Le régime alimentaire doit être adapté à la physiologie de chaque animal. L'alimentation très riche en concentrés est interdite en agriculture biologique, car elle peut entraîner des problèmes de santé chez les animaux. Les agriculteurs biologiques doivent donc faire en sorte de fournir aux animaux une alimentation conforme à leur potentiel et aux limites de leur appareil digestif. Afin que l'ensemble du système agricole soit aussi équilibré que possible, tout le fourrage nécessaire au cheptel de ruminants doit être produit sur l'exploitation.

Dans l'idéal, les animaux d'élevage biologique doivent être nourris à 100 % avec des aliments de qualité supérieure issus de l'agriculture biologique. Leur ration alimentaire peut contenir jusqu'à 30 % en moyenne d'aliments en conversion ; néanmoins, lorsque ces aliments en conversion proviennent de l'exploitation même, ce pourcentage peut être élevé à 60 %. Une dérogation de l'UE (en vigueur jusqu'au 24 août 2005) autorisait l'utilisation d'une proportion limitée d'aliments conventionnels lorsque les exploitants se trouvaient dans l'impossibilité d'obtenir suffisamment d'aliments biologiques. Le pourcentage maximal de fourrage conventionnel* autorisé par année était de 10 % pour les herbivores et de 20 % pour les autres espèces — ces chiffres devant être calculés chaque année et exprimés en pourcentage de matière sèche présente dans les aliments d'origine agricole. Le pourcentage maximal autorisé d'aliments conventionnels dans la ration journalière était de 25 % (Litterick et Watson, 2003).

Nombre de systèmes modernes d'élevage conventionnel reposent presque entièrement sur l'administration systématique de médicaments vétérinaires (antibiotiques, anthelminthiques, vaccins, hormones de croissance et oligo-éléments). Les systèmes biologiques cherchent à éliminer la nécessité d'employer ces médicaments en créant un système qui optimise la santé des animaux. Certains médicaments vétérinaires sont autorisés dans les systèmes biologiques, mais uniquement lorsqu'ils sont indispensables. Les délais d'attente (c'est-à-dire les périodes entre l'administration de médicaments et la commercialisation de produits provenant des animaux traités) sont généralement plus longs que dans les systèmes conventionnels.

4. Problèmes sociaux et économiques

Le développement des systèmes d'agriculture biologique offre de multiples avantages économiques et sociaux.

Aujourd'hui, les agriculteurs ont de plus en plus de difficultés à produire de la nourriture en quantité suffisante pour une population mondiale croissante. Dans le même temps, les conditions environnementales se dégradent dans de nombreuses régions agricoles traditionnellement productives. On prétend que de nouvelles techniques et de nouveaux produits sont nécessaires pour nourrir un monde affamé et pour commencer à rétablir l'équilibre des disponibilités alimentaires entre pays riches et pays pauvres (Thomas *et al.*, 2003).

Des problèmes se sont posés quant à la vulnérabilité économique des agriculteurs et pays pauvres face aux effets possibles des technologies intensives conventionnelles, et concernant les inconvénients économiques dont ils risquent de souffrir. On prétend que, contrairement à l'agriculture biologique, les technologies intensives sont onéreuses et qu'elles favorisent les types d'agriculture à grande échelle et capitalistiques. Les agriculteurs pauvres ne sont pas en mesure d'acquérir les intrants et sortent perdants de la concurrence accrue qui en résulte. À plus grande échelle, des économies tout entières pourraient, à l'instar des agriculteurs individuels, être menacées, et le fossé économique qui existe déjà entre le monde « en voie de développement » et le monde « développé » pourrait encore s'élargir (Litterick et Watson, 2003).

Le débat porte en grande partie sur le fait de savoir qui sont les gagnants et les perdants en agriculture biologique. Le point de vue économique conventionnel veut que la recherche de l'amélioration des rendements profite, en fin de compte, davantage aux consommateurs qu'aux producteurs car l'augmentation de l'offre conduit à une baisse des prix qui se ressent au niveau des consommateurs. En revanche, les innovations visant à améliorer la qualité ont tendance à profiter davantage aux agriculteurs, les prix augmentant généralement du fait d'un compromis entre rendement et qualité et les consommateurs étant souvent prêts à payer plus qu'auparavant. Dans les pays en voie de développement, un changement mineur du prix des aliments courants pourrait avoir un impact considérable sur la qualité de la vie (Thomas *et al.*, 2003).

D'un autre côté, la lutte biologique est aujourd'hui appliquée aux cultures qui ne sont attaquées que par quelques parasites. Cette pratique est particulièrement répandue dans les cultures sous serre, où tous les types de parasites peuvent être contrôlés par différents ennemis naturels. Cette popularité peut s'expliquer par plusieurs avantages importants par rapport à la lutte chimique :

- pas d'effets phytotoxiques sur les jeunes plantes ;
- pas d'avortement prématuré des fruits et des fleurs ;

- le lâcher des ennemis naturels demande moins de temps et est préférable à l'utilisation de pesticides ;
- il est possible de lutter contre plusieurs parasites importants en utilisant uniquement des ennemis naturels ;
- pas de délais de sécurité ou de ré-entrée après le lâcher des ennemis naturels, d'où une récolte continue, sans danger pour la santé du personnel ;
- la lutte biologique est permanente ;
- l'opinion publique approuve la lutte biologique.

Cependant, l'agriculture biologique utilise plus de terrain par unité de production que l'agriculture conventionnelle. Certains détracteurs affirment que l'agriculture conventionnelle représente donc une meilleure option pour l'environnement car une proportion plus importante des terres est disponible pour l'habitat naturel créé hors exploitation.

La qualité des aliments biologiques est essentielle dans l'évaluation des effets positifs des pratiques agricoles biologiques. La sécurité alimentaire est un sujet de plus en plus préoccupant, étayé par les nombreuses « peurs alimentaires » qui secouent l'Europe. Le récent problème de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) — qui ne se serait pas produit si l'agriculture conventionnelle avait suivi les normes de l'agriculture biologique concernant l'utilisation de protéines animales dans l'alimentation des ruminants — a soulevé de nouvelles questions sur la sécurité des aliments produits de manière conventionnelle. En outre, étant donné que les pesticides de synthèse sont interdits, les aliments produits biologiquement contiennent moins (ou pas) de résidus agrochimiques.

L'agriculture biologique a pour but de produire des aliments nutritifs, sains et frais, ne subissant qu'une transformation minimale. Une gamme limitée d'additifs et d'adjuvants de fabrication naturels (d'origine végétale et animale) est autorisée dans les aliments biologiques, et ces produits peuvent être utilisés uniquement s'il est prouvé qu'ils sont essentiels à la production des aliments concernés. Les colorants de synthèse, les conservateurs chimiques, ainsi que les adjuvants de fabrication chimiques et génétiquement produits sont interdits dans la transformation des aliments biologiques. Les consommateurs d'aliments biologiques perçoivent ces derniers comme étant meilleurs sur le plan nutritionnel et au niveau du goût. Les fruits et légumes issus de l'agriculture biologique ont tendance à présenter des teneurs supérieures en

matière sèche et des teneurs inférieures en pesticides, mais les céréales conventionnelles se révèlent mieux adaptées aux exigences actuelles en matière de cuisson.

5. Problèmes éthiques

5.1. Questions générales

Les principes et pratiques d'exploitation des ressources naturelles, ainsi que les activités agricoles associées, doivent prendre en compte notre responsabilité à l'égard des générations futures. Par conséquent, s'agissant de l'utilisation des diverses formes de ressources foncières et naturelles, il convient de tenir compte de leur limites, de réduire l'impact des technologies sur l'environnement, de faire en sorte que les activités de production agricole aient une influence moindre sur les écosystèmes naturels, et de préserver et développer la diversité biologique (Entrup et Oehmichen, 2000).

Dans cette optique, l'utilisation durable des sols inclut notamment les composantes suivantes (Entrup et Oehmichen, 2000) :

- préoccupation pour les générations futures (composante éthique liée au futur) ;
- protection des ressources naturelles (principes et pratiques de production agricole rationnels, pression moindre sur l'environnement, amélioration de la diversité biologique) ;
- diversification et mise en œuvre de mesures biologiques relatives aux technologies agricoles (réduction de l'impact des activités agricoles sur les écosystèmes) ;
- recherche de l'efficacité économique (organisation des exploitations et gestion des ressources foncières) ;
- responsabilité de l'agriculture envers la société (réponse aux demandes alimentaires via des techniques de production et de transformation adéquates et une gestion efficace de la qualité des aliments) ;
- prise de décision sensée et sûre au niveau mondial.

5.2. Approche éthique des concepts et pratiques de l'agriculture biologique

Les exemples de problèmes moraux et éthiques mentionnés plus haut sont destinés à illustrer les principaux sujets de préoccupation actuels et à démontrer le rôle de l'éthique dans leur approche. L'un des défis posés par le développement constant des connaissances et des technologies est

l'apparition perpétuelle de nouvelles questions plus complexes sur ce qui est moralement bien ou mal. Par conséquent, la science et l'éthique doivent avancer main dans la main pour explorer des domaines nouveaux et sensibles s'il est question de porter sur eux des jugements rationnels et responsables (Litterick et Watson, 2003).

L'avènement de la technologie moderne en matière de production et de transformation des aliments a donné le jour à un vaste débat sur les sources, les utilisations et le but des produits que nous mangeons. La nourriture joue un rôle unique dans la société : alors qu'elle est devenue une marchandise à l'échelle mondiale, elle reste au cœur des sociétés humaines locales et de la façon dont ces sociétés se représentent elles-mêmes. À ce titre, de nombreuses normes sociales sont mises en cause par les récents efforts pour modifier le type d'aliments que nous produisons, la manière dont nous les produisons et l'endroit où nous les mangeons (Litterick et Watson, 2003).

Pour déterminer l'éthique des nouvelles technologies, il convient de prendre en compte : la répartition des gagnants et des perdants (qui possède et contrôle la technologie ?) ; la sécurité alimentaire et l'acceptation des consommateurs ; et l'impact sur l'environnement. En définitive, individus et gouvernements doivent examiner et débattre de ces considérations afin de définir une position éthique.

De nombreux groupes de défense de l'environnement, associations de consommateurs et formations politiques s'indignent de l'introduction de nouvelles technologies dans l'agriculture biologique, s'inquiétant du caractère nouveau de la technologie et des risques éventuels non identifiés, ou exprimant leur dégoût envers les propriétaires des technologies en quête de profit. Ce débat a également créé une fracture entre les riches consommateurs des pays industrialisés, qui peuvent se permettre de renoncer à ces technologies, et certains consommateurs ou gouvernements de pays moins développés, pour qui l'application de ces mêmes technologies représente l'une de leurs meilleures opportunités d'améliorer leur situation alimentaire et de réduire la malnutrition. Alors que les technologies agricoles biologiques peuvent permettre d'assister les agriculteurs pauvres dans de nombreuses régions en voie de développement (et augmenter ainsi la disponibilité de la nourriture dans des zones sûres de la planète), les technologies intensives conventionnelles, en revanche, exacerbent certaines tendances et déstabilisent les sociétés en introduisant la technologie et le capital dans les systèmes agricoles traditionnels des économies en voie de développement (Thomas *et al.*, 2003).

5.3. Approche éthique du rôle de l'agriculture biologique dans la réduction de la dégradation de l'environnement et l'amélioration de la diversité biologique

La pratique très répandue de l'agriculture conventionnelle intensive a, dans certains cas, entraîné la pollution des lacs, des rivières, des mers et parfois des sols. La structure et la teneur en matière organique des sols se sont dégradées dans certaines exploitations mal gérées. Nombre d'exploitations conventionnelles intensives possèdent moins d'arbres, de haies, d'étangs et de tourbières, et cette perte d'habitat a, à son tour, fait considérablement décroître le nombre d'espèces végétales et animales sauvages. L'agriculture biologique fournira aux hommes un moyen de nettoyer et améliorer l'environnement.

La gestion du sol est une tâche prioritaire dans les systèmes biologiques. L'adoption de bonnes pratiques de gestion du sol et l'augmentation de la teneur en matière organique qui en résultera permettront de réduire la sensibilité du sol à l'érosion et à la sécheresse, deux problèmes de plus en plus graves. L'ajout régulier de composts et fumiers de ferme est bénéfique car il favorise le développement de la faune du sol, comme les vers de terre, qui constitue une source de nourriture pour de plus grands animaux et améliore la structure du sol.

La pollution des sols et des eaux par les pesticides est presque inexistante dans les systèmes biologiques car très peu de pesticides sont autorisés, et leur utilisation est extrêmement restreinte. Le degré de lessivage — et donc la pollution des eaux engendrée par les exploitations — dépend du système de gestion. Plusieurs études ont montré que la pollution des eaux par les engrais, et plus particulièrement les nitrates et les phosphates, est considérablement réduite sur les sites gérés de façon biologique. Si un nombre significatif d'agriculteurs se convertit aux systèmes biologiques, les avantages que l'on pourra tirer de la réduction de la pollution seront immenses.

Toutefois, l'agriculture biologique n'offre pas de solutions idéales aux problèmes potentiels de pollution et de perte d'éléments fertilisants. Comme dans tout système agricole, une gestion prudente est nécessaire, de sorte que les procédés de préparation et d'utilisation des fumiers ainsi que la nutrition des cultures soient effectués en tenant compte du climat, du type du sol et de l'ensemble du système.

Diverses organisations environnementales ont publié des informations sur le déclin du nombre d'espèces sauvages sur les terres exploitées de façon intensive. Selon de nombreux organismes officiels, l'agriculture biologique offre une réelle opportunité d'inverser ce phénomène catastrophique qu'est le déclin de la biodiversité dans les milieux agricoles, constaté depuis les

dernières décennies. Il est prouvé que le nombre et la variété d'oiseaux, d'invertébrés et d'espèces végétales sauvages sont plus importants dans les exploitations biologiques. Le British Trust for Ornithology a ainsi indiqué que le développement de l'agriculture biologique représenterait un élément clé de toute stratégie visant à améliorer la biodiversité des terres agricoles (Litterick et Watson, 2003).

La biodiversité est une ressource limitée possédant une valeur économique et éthique pour l'humanité, mais ses réserves s'amointrissent ou disparaissent du fait de pratiques imprudentes et non durables. Par conséquent, l'un des défis majeurs que le monde doit aujourd'hui relever est la conservation de la diversité biologique, ou biodiversité, et l'utilisation durable de ses composants pour le bénéfice de l'humanité (Thomas *et al.*, 2003).

Une utilisation moindre de produits chimiques diminue les risques encourus par les exploitants, par les familles agricoles et par la population environnante, via l'exposition directe aux produits ou l'ingestion de résidus présents dans la nourriture ou l'eau. En outre, il est prouvé que les régions ayant adopté l'agriculture biologique constatent la régénération des populations d'insectes utiles précédemment anéanties par les pesticides chimiques (Laird *et al.*, 1990).

5.4. Approche éthique de l'utilisation d'insecticides microbiens dans la lutte antiparasitaire biologique

La lutte biologique contre les insectes nuisibles, incluant l'utilisation d'agents pathogènes, a une longue histoire. Avec l'apparition des insecticides de synthèse, l'utilisation de pathogènes et d'autres agents de lutte biologique n'a pas été capable de rivaliser avec les solutions chimiques disponibles, qui étaient efficaces et bon marché. Mais le développement de la résistance des principales espèces parasites, la hausse des prix des nouveaux composés et les préoccupations liées aux conséquences de l'utilisation de pesticides chimiques sur l'environnement ont encouragé la recherche en lutte biologique. Bien que le recours aux agents pathogènes pour lutter contre les parasites ne représente qu'une petite fraction de l'industrie de la lutte antiparasitaire, leur utilisation augmente, et les opportunités d'amélioration de cette méthode sont nombreuses (Leppla, 2003).

On s'est beaucoup soucié des éventuelles conséquences dangereuses des agents de lutte biologique, mais le risque n'est pas, en lui-même, un sujet moral ou éthique. Certaines activités sont inévitablement plus risquées que d'autres, et aucune n'est absolument sans danger, mais cela

ne signifie pas forcément que les activités peu risquées sont moralement supérieures aux activités très risquées. Le risque et la sécurité ne deviennent des sujets d'ordre moral que lorsqu'ils soulèvent d'autres questions sur la responsabilité et la possibilité de justification. Les préoccupations morales sont appropriées lorsque des risques irresponsables et injustifiables sont susceptibles d'être pris et peuvent porter préjudice à des innocents (Thomas *et al.*, 2003).

D'une manière générale, l'emploi des méthodes de lutte biologique pour protéger les plantes, notamment des méthodes de lutte contre les mauvaises herbes, est limité par certains risques parfois sous-évalués, ainsi que par une méfiance générale à l'égard de ces méthodes par rapport aux méthodes chimiques.

Cependant, des doutes subsistent quant à la sécurité de la lutte microbienne, notamment s'agissant des invertébrés non visés. Les conséquences négatives potentielles de l'utilisation d'agents microbiens sur les populations d'arthropodes utiles posent un problème particulier. L'impact possible de l'utilisation d'un agent ayant un effet pathogène sur un insecte au demeurant utile demeure complexe mais n'a suscité qu'un intérêt modéré. Or, ces agents pathogènes entraînent non seulement la diminution des populations d'hôtes ou de proies, mais ils infectent et tuent également directement les insectes utiles. En outre, la maladie risque de réduire les ressources nutritionnelles que constituent ces hôtes ou ces proies.

Ce problème ne se limite pas à une diminution des populations d'insectes utiles. Certains parasitoïdes et prédateurs peuvent disséminer mécaniquement des agents pathogènes au sein des populations d'hôtes ou de proie — certains parasitoïdes peuvent même transmettre certains pathogènes par voie transovarienne. Les insectes utiles peuvent donc jouer un rôle important dans la dissémination des agents pathogènes vers des populations distantes (dans l'espace comme dans le temps). Toutefois, la dissémination d'agents pathogènes produit souvent des effets très négatifs sur les populations utiles impliquées (Jensen *et al.*, 1996).

Pour limiter les risques pouvant résulter de l'utilisation d'agents de lutte biologique, il est nécessaire de respecter les réglementations sur la production, les tests, l'utilisation et la surveillance de ces agents.

Aux États-Unis, au Canada et dans l'Union européenne, l'utilisation expérimentale et l'enregistrement des pesticides microbiens sont l'objet de spécifications normatives et de réglementations très strictes portant sur l'analyse des produits, l'analyse des résidus, la toxicologie, les effets écologiques et le devenir des produits dans l'environnement. D'une

manière générale, tous les pesticides (y compris les agents de lutte microbienne) doivent être soumis à une évaluation scientifique de sécurité et d'efficacité avant d'être enregistrés, commercialisés et appliqués. Les exigences d'enregistrement incluent l'identification et la caractérisation du produit (avec spécification des ingrédients actifs techniques), la méthodologie de fabrication, d'échantillonnage et de contrôle qualité, les données toxicologiques, les études concernant les résidus, les tests d'expression et de devenir des produits dans l'environnement, les études toxicologiques environnementales et les données d'efficacité/de performance. Dans l'UE, le principe général des directives stipule qu'il doit être préalablement démontré que l'utilisation de l'agent ne présentera aucun danger inadmissible pour les utilisateurs, les consommateurs des produits traités, la faune et la flore sauvages et l'environnement (Laird *et al.*, 1990).

L'enregistrement d'un produit pesticide microbien suppose l'utilisation commerciale à grande échelle et l'exposition de l'environnement à ce produit. Par conséquent, les autorités de réglementation doivent tenir compte des conséquences potentielles, pour la santé publique et l'environnement, de l'exposition aux pesticides. L'exposition humaine à ces produits peut être directe (lors des opérations de mélange, de chargement ou d'application) ou indirecte (consommation de produits alimentaires provenant de cultures traitées). Les organismes non visés coexistent déjà avec les agents entomopathogènes présents dans la nature. Cependant, les applications à grande échelle de micro-organismes garantissent l'évaluation car elles impliquent des relations numériquement, spatialement et temporellement différentes entre agents de lutte microbienne et organismes non visés.

L'évaluation du danger des pesticides microbiens correspond à l'évaluation scientifique systématique des données de risque et d'exposition, suivie par la formulation de conclusions sur les risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement résultant de leur utilisation. Le danger est exprimé en termes d'effet négatif sur un organisme non visé — par exemple, mort causée par une toxine microbienne ou une autre action pathogène. L'exposition des organismes non visés peut être directe, au moment de l'application, ou indirecte, résultat de la reproduction ou de la dispersion des micro-organismes. Pris indépendamment, ni le danger, ni l'exposition ne sont préoccupants pour la santé humaine ou l'environnement. Des problèmes potentiels se posent toutefois lorsqu'un organisme non visé sensible est exposé à un pesticide microbien pouvant avoir sur lui un effet négatif.

L'évaluation du danger passe par l'étude d'informations en vue de démontrer si le micro-organisme a ou non des effets pathogènes, toxiques ou autrement néfastes sur les mammifères ou autre espèce non visée représentative. Le test des insecticides microbiens sur des organismes non visés se concentrerait probablement en premier lieu sur l'évaluation des insectes utiles en rapport avec le parasite visé ou susceptibles d'être exposés dans les zones traitées.

Néanmoins, comme il est logiquement impossible de garantir la sécurité totale de la lutte biologique, un jugement de valeur doit être émis quant à l'acceptabilité et la possibilité de justification des risques éventuels, et ce jugement doit impliquer la mise en balance des risques potentiels et des avantages potentiels. Le fondement éthique de cette approche est donné par l'utilitarisme, qui évalue si les actions sont bonnes ou mauvaises en fonction de la quantité totale de plaisir ou de douleur qu'elles produisent. La formule « le plus grand bonheur du plus grand nombre » (ou, en des termes plus modernes, le plus faible rapport coûts-avantages) devient donc le critère éthique ultime (Thomas *et al.*, 2003).

La protection de la santé publique, incluant l'engagement personnel dans la lutte contre les parasites et les insectes importants sur le plan agricole, est primordiale pour le développement et l'utilisation pratique d'agents de lutte microbienne appropriés.

5.5. Approche éthique de l'introduction d'espèces provenant d'autres environnements

L'une des préoccupations majeures des écologistes tient à leur conscience des problèmes qui surviennent parfois après l'introduction volontaire ou accidentelle d'espèces provenant d'autres environnements. Charles Elton (1958) a été le premier à faire mention de ce problème dans ses écrits sur les invasions biologiques. Dans un nombre croissant d'environnements, les invasions sont perçues comme menaçant sérieusement la préservation de ce que l'on considère communément comme la faune et la flore d'origine. Bien que la grande majorité des organismes introduits accidentellement échouent indubitablement dans leur implantation, ils sont tout de même nombreux à y parvenir. Certaines introductions accidentelles ont entraîné de graves développements de prédateurs (lapin européen en Australie et abeille africanisée en Amérique du Sud, par exemple), de plantes nuisibles aux forêts et à l'agriculture, ainsi que de vecteurs de maladies et d'agents pathogènes pour l'homme à travers le monde. Néanmoins, la pertinence de ces exemples par rapport à la plupart des cas d'introduction d'organismes est largement remise en cause car, en l'absence de luttes biologiques co-évaluées, le transfert d'une espèce d'un

environnement à un autre implique des considérations fondamentalement différentes comparées à la réintroduction d'une espèce légèrement modifiée dans son environnement d'origine (Levin, 1988).

Concernant le lâcher de micro-organismes dans l'environnement, il est utile de mentionner le cas du *Rhizobium*, la bactérie qui forme des nodules fixateurs d'azote sur les racines des plantes légumineuses. À l'échelle mondiale, le *Rhizobium* est inoculé chaque année sur 20 à 50 millions d'hectares, l'objectif étant d'ajouter environ 10^{10} – 10^{11} bactéries par hectare. En Australie, des normes réglementaires très strictes imposent une limite de 0,1 % de bactéries. Dans d'autres pays, une contamination de 1 % peut être considérée comme acceptable, tandis que dans les pays non réglementés à ce sujet, certains inoculants sont essentiellement constitués de contaminants. Les débuts de l'inoculation remontant à près de 100 ans, l'introduction massive d'un très grand nombre de micro-organismes dans l'environnement n'en est pas à son coup d'essai. L'expérience a montré que ces inoculants sont sûrs : il n'est donc pas nécessaire de les manipuler avec une grande prudence pour éviter les effets pathogènes. À ce jour, il n'a jamais été fait mention de dommages causés sur l'environnement par le *Rhizobium* ou un quelconque organisme inconnu (Beringer et Bale, 1988).

Les communautés écologiques sont des assemblages dynamiques, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas à l'abri d'invasions ou de perturbations diverses. Afin d'évaluer les risques et de développer de meilleurs produits, il est donc nécessaire de mieux prévoir les introductions qui se feront avec succès et celles qui auront des effets secondaires indésirables (Jukes, 1988).

Il est important de savoir si les micro-organismes lâchés dans l'environnement peuvent subsister et être ou non éliminés. Aujourd'hui, nous ne sommes pas en mesure de garantir leur élimination, et nous disposons de très peu d'informations permettant de prévoir s'ils peuvent s'implanter et subsister pendant une longue période. Les conséquences sont minimales lorsqu'il s'agit de micro-organismes inoffensifs car ils sont si petits qu'ils ne modifient en rien notre appréciation visuelle de la nature (Beringer et Bale, 1988).

6. Conclusions

Comme nous l'avons mentionné plus haut, la croissance importante de la production agricole moderne s'est souvent accompagnée d'une dégradation de l'environnement, d'une réduction considérable de la biodiversité, de problèmes sociaux (hausse importante des coûts de production,

quasi-disparition des exploitations familiales, concentration excessive des terres sur les grandes exploitations) et d'une utilisation abusive des ressources naturelles.

Aujourd'hui, il est donc essentiel de favoriser le développement durable, la préservation des ressources naturelles et l'efficacité énergétique, et de développer un système agricole économiquement viable et socialement acceptable.

Il convient de souligner la valeur éthique de l'agriculture écologique qui se manifeste dans :

- la responsabilité à l'égard des générations futures (étant donné que la composante éthique se rapporte aux années à venir) via la protection des ressources naturelles (principes et pratiques de production agricole rationnels, pression moindre sur l'environnement, développement favorisant la biodiversité) ;
- la multiplication et la diversification des mesures biologiques à appliquer dans les technologies agricoles (réduction de l'impact des activités agricoles sur les écosystèmes) ;
- la recherche de la rentabilité économique via l'organisation des unités agricoles et la gestion des ressources foncières ;
- la responsabilité de l'agriculture envers la société (corrélation entre la demande alimentaire et les techniques de production/transformation, gestion efficace de la qualité des aliments).

Pourtant, des spécialistes ont critiqué certains principes et pratiques de l'agriculture écologique.

La lutte biologique contre les insectes nuisibles, les maladies et les mauvaises herbes fait l'objet d'interprétations éthiques :

– Est-il éthique d'utiliser certains organismes contre d'autres organismes, de les « monter » les uns contre les autres, dans une lutte biologique contrôlée (« vivant contre vivant ») ? Des risques, insuffisamment évalués et souvent imprévisibles, demeurent : impact négatif possible des « biopesticides » ou « mycoherbicides » sur la faune et la flore sauvages utiles du sol ; effet négatif potentiel des agents pathogènes sur l'entomofaune utile ; dissémination mécanique d'agents pathogènes par certains prédateurs et parasitoïdes ; et menace pour la santé des personnes, notamment celles qui manipulent les agents pathogènes utilisés en lutte biologique.

– En outre, les écologistes sont préoccupés par les problèmes que soulève l'introduction volontaire ou accidentelle d'espèces provenant d'autres environnements. Les espèces invasives sont généralement considérées comme des menaces sérieuses pour la faune et la flore d'origine.

Un autre problème important doit également être mentionné : l'expansion des systèmes d'agriculture écologique fondés sur un faible niveau d'intrants peut conduire à une baisse de la production par unité foncière. Par conséquent, la superficie des terres cultivées doit augmenter afin de répondre à la demande alimentaire de la population. Malheureusement, les ressources foncières actuellement disponibles, relativement limitées, ne représentent pas un moyen fiable d'augmenter la quantité de produits alimentaires et agricoles.

De plus, les principes de l'agriculture écologique interdisent l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés. Il a pourtant été prouvé que ces derniers permettent de lutter efficacement contre plusieurs types de parasites, sans l'ajout de produits chimiques chers et polluants et sans dommages pour les cultures. Avec les organismes génétiquement modifiés, les technologies agricoles sont plus simples et plus économiques pour les agriculteurs et les pays pauvres, les activités agricoles deviennent plus rentables, les coûts de production et les prix de vente diminuent, et l'impact polluant des technologies agricoles sur l'environnement, les produits agricoles et les consommateurs est faible.

Par conséquent, au vu de la situation actuelle, nous pouvons logiquement conclure à la nécessité et à la possibilité d'une co-existence des deux systèmes : d'un côté, le système d'agriculture conventionnelle, qui lutte efficacement contre les organismes nuisibles et fournit les nutriments nécessaires aux cultures agricoles, assurant ainsi une quantité suffisante de produits alimentaires et agricoles et, de l'autre côté, le système d'agriculture écologique qui se développe actuellement, centré sur la production agricole avec un faible impact sur l'environnement et sur les liens biologiques au sein de la chaîne technologique, fournissant des produits alimentaires et agricoles biologiques de qualité supérieure et moins coûteux.

Glossaire

ADN recombiné : ADN issu de la combinaison de segments d'ADN de différents types d'organismes.

Agriculture biodynamique : système d'agriculture organique développé par Rudolf Steiner, scientifique et philosophe autrichien, au début des années 1900, tenant compte des cycles biologiques et des aspects « dynamiques » (métaphysiques ou spirituels) de l'agriculture. Ce système vise à trouver un juste équilibre entre les aspects physiques et non physiques.

Agriculture conventionnelle : terme généralement utilisé pour distinguer les pratiques agricoles traditionnelles (qui font appel à de grandes quantités de ressources chimiques et énergétiques, généralement dans de grandes exploitations mécanisées) des pratiques agricoles alternatives (agriculture durable). L'utilisation de charrues à socs pour enfouir les chaumes, la pulvérisation régulière de pesticides et le recours aux fertilisants synthétiques sont des exemples de pratiques conventionnelles qui s'opposent aux pratiques alternatives telles que l'agriculture sans labour, la gestion intégrée des nuisibles et l'utilisation d'engrais verts ou d'origine animale.

Agriculture de rente : agriculture destinée à produire un revenu hors de l'exploitation.

ARN ribosomique : type le plus répandu d'ARN qui, avec les protéines, forme la structure des ribosomes (petites structures cellulaires dans lesquelles l'ARN traduit le code génétique en protéines).

Baculovirus : groupe de virus d'insectes infectant les larves de lépidoptères.

Coléoptères nuisibles : insectes de l'ordre des *Coleoptera* munis de quatre ailes, dont la paire extérieure (les élytres) protège la paire intérieure au repos. Les scarabées et les charançons en sont des exemples. Ils sont responsables de nombreux ravages dans les cultures et les jardins.

Conidie : spore asexuée, formée par le détachement d'une cellule d'une hyphe, à l'extrémité d'un conidiophore, se développant en donnant naissance à un tube germinatif.

Culture transgénique : culture dans le génome de laquelle on introduit, au début de son développement, un gène d'ADN provenant d'une autre espèce végétale (transgène). Le transgène est présent dans les cellules somatiques et germinales, s'exprime dans un ou plusieurs tissus et se transmet à la descendance selon les lois mendéliennes.

Cuscuta (*Cuscuta europaea*) : plante parasite qui s'attaque à différents types de plantes sauvages et cultivées, plus particulièrement la luzerne, le lespédéza, le lin, le trèfle et la pomme de terre.

Cycades : groupe ancien de plantes porte-graines caractérisées par une grande couronne de feuilles composées et une tige robuste. Elles se trouvent aujourd'hui en faible quantité dans les régions tropicales et subtropicales.

Diazotrophe : bactérie qui fixe l'azote atmosphérique et présente des propriétés biofertilisantes.

Engrais vert : culture de protection annuelle destinée à fertiliser le sol par application directe d'une couverture végétale.

Fourrage conventionnel : fourrage produit à l'aide de pratiques agricoles conventionnelles.

Génétique mendélienne : fondements de la génétique établis par Gregor Mendel, premier scientifique à étudier les caractéristiques des générations successives d'un organisme vivant. Ses études l'ont conduit à la conclusion que les facteurs héréditaires ne se combinent pas mais sont transmis de façon intacte ; chaque membre de la génération parente transmet uniquement la moitié de ses facteurs héréditaires à sa progéniture (dont certains « dominant » les autres) et les membres conçus à partir des mêmes parents reçoivent différents ensembles de facteurs héréditaires.

Gestion intégrée des nuisibles (GIN) : optimisation des contrôles chimiques, biologiques et culturels régie par un programme global de lutte antiparasitaire.

Herbicide de post-levée : herbicide appliqué après la levée de la culture.

Lépidoptère : ordre d'insectes comprenant les papillons diurnes et nocturnes, ainsi que les hespéries. Les adultes sont munis de deux paires d'ailes généralement de couleurs vives. Les larves (chenilles) sont particulièrement nuisibles pour les plantes.

Organisme génétiquement modifié (OGM) : plante, animal ou microorganisme transformé par une technique de génie génétique. Selon le contexte, un produit qui est le résultat du génie génétique est désigné comme « produit du génie génétique » ou « dérivé d'OGM ».

Organismes procaryotes : organismes unicellulaires (dans de rares cas, multicellulaires) dépourvus de noyau. Les bactéries et les algues bleues sont des exemples d'organismes procaryotes.

Phéromone : substance chimique sécrétée par un animal ou un individu, déclenchant une réponse physiologique ou comportementale chez les autres membres de la même espèce ; inclut les phéromones de piste, les phéromones sexuelles et phéromones d'alarme.

Prairie artificielle : surface couverte d'herbe destinée à la nourriture du bétail ; pâture, pâturage, culture fourragère.

Produit conventionnel : produit agricole issu de pratiques conventionnelles.

Pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*) : insecte de l'ordre des lépidoptères, de la famille des pyralidés, s'attaquant aux cultures de maïs (*Zea mays* L.) ainsi qu'à d'autres cultures telles que le sorgho, le coton et de nombreux légumes.

Rotation des cultures : alternance de différentes cultures sur la même terre, par opposition à la monoculture. La rotation permet généralement à la terre de retrouver sa fertilité et réduit les populations d'organismes nuisibles. Elle accroît ainsi le potentiel de production à long terme.

Bibliographie

Altieri M.A., Norgard R.B., Hecht S.B., Farrell L.G., Liebman M., 1987. *Agroecology – The Scientific basis of alternative agriculture*. Boulder, Westview Press, Inc., 205 p.

Aufhammer W., 1998. *Getreide- und andere Körnerfruchtarten*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 560 p.

Balan V., Dejeu L., Chira A., Ciofu R., 2003. *Horticultura alternativa si calitatea vietii*. Bucarest, GNP MINISCHOOL Publishing House, 462 p.

Beringer J.E., Bale M.J., 1988. The Release of Genetically Engineered Plants and Microorganisms. In Dayan A.D., Campbell P.N., Jukes T.H., 1988. *Hazards of Biotechnology – Real or Imaginary*. Londres, Elsevier Applied Science : 29-34.

Dayan A.D., Campbell P.N., Jukes T.H., 1988. *Hazards of Biotechnology – Real or Imaginary*. Londres, Elsevier Applied Science, 135 p.

Entrup L.N., Oehmichen J., 2000. *Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 2: Kulturpflanzen*. Gelsenkirchen, Verlag Th. Mann., 856 p.

Fedor J., 2001. *Organic gardening*. Hong Kong, Frances Lincoln Ltd., 288 p.

Fortmann M., 2000. *Das grosse Kosmosbuch der Nützlinge. Neue Wege der biologischen Schädlingsbekämpfung*. Stuttgart, Franckh-Kosmos Verlag., 320 p.

Jensen D.F., Jansson H.-B., Tronsmo A., 1996. Monitoring antagonistic fungi deliberately released into the environment. *Development of Plant Pathology*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, vol. 8.

Jukes T.H., 1988. Hazards of Biotechnology: Facts and Fancy. In Dayan A.D., Campbell P.N., Jukes T.H., 1988. *Hazards of Biotechnology – Real or Imaginary*. Londres, Elsevier Applied Science : 1-11.

Kreuter M.-L., 2001. *Pflanzenschutz im Biogarten*. Munich, BLV Verlagsgesellschaft GmbH, 249 p.

Laird M., Lacey L.A., Davidson E.W., 1990. *Safety of microbial insecticides*. Boca Raton, CRC Press, Inc., 247 p.

Leppla N.C., 2003. Aspects of Total Quality Control for the Production of Natural Enemies. In van Lenteren, J.C., 2003. *Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures*. Wallingford, Oxon, CABI Publishing : 19-24.

Levin S.A., 1988. An Ecological Perspective on the Introduction of Genetically Engineered Organisms into the Environment. In Dayan A.D., Campbell P.N., Jukes T.H., 1988. *Hazards of Biotechnology – Real or Imaginary*. Londres, Elsevier Applied Science : 13-19.

Litterick A.M., Watson C.A., 2003. Organic Farming. In Thomas B., Murphy D.J., Murray B.G., 2003. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Londres, Elsevier Academic Press : 934-945.

Mc Neely J.A., Scherr S.J., 2003. *Ecoagriculture – Strategies to feed the World and Save Biodiversity*. Washington D.C., Island Press, 279 p.

Negrila M., 2005. *Cercetari privind elaborarea unui sistem de agricultura durabila pentru conditiile din Dobrogea. PhD Thesis*. Bucarest, Université des sciences agronomiques et de médecine vétérinaire de Bucarest, Faculté d'agriculture, 286 p.

Rosca I., Muresan F., Trotus E., Udrea A., Popov C., Brudea V., Bucurean E., Voicu M., 1999. *Stadiul actual si directiile cercetarilor privind utilizarea feromonilor sexuali de sinteza pentru culturile de camp*. Bucurest, Agris Publishing House, 155 p.

Thomas B., Murphy D.J., Murray B.G., 2003. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Londres, Elsevier Academic Press, 1319 p.

Toncea I., 2000. *Practical Guide of Ecological Agriculture*. Bucurest, Ceres Publishing House, 192 p.

van Lenteren J.C., 2003. Need for Quality Control of Mass-produced Biological Control Agents. *Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures*. Wallingford, Oxon, CABI Publishing : 1-18.

van Lenteren J.C., 2003. Commercial Availability of Biological Control Agents. *Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures*. Wallingford, Oxon, CABI Publishing : 167-179.

Willer H., Lünzer J., Haccius M., 2003. Ökolandbau in Deutschland, *SÖL-Sonderausgabe*, Bad Dürkheim, Stiftung Ökologie & Landbau SÖL : 80.