

Introduction

Protection des cultures, environnement et développement durable : enjeux pour le XXI^e siècle

Bernard J.R. Philogène, Gérard Fabres,
Catherine Regnault-Roger

Les problèmes de lutte phytosanitaire qui se posent à l'humanité en ce début du XXI^e siècle sont aussi nombreux et divers qu'ils ont pu l'être tout au long de l'histoire de l'agriculture des 12 000 dernières années. Il suffit de s'attarder sur les peintures des cavernes chinoises datant de 4 000 ans avant notre ère, les dessins rupestres du Tassili n'Ajjer dans le Sahara ou d'examiner des fresques et papyrus égyptiens datés de 2 300 ans avant J.-C. Les invasions des criquets migrants sont atemporelles et universelles, que ce soit dans l'Égypte de l'époque des pharaons, dans les états américains du sud de 1874 à 1876 (Howard, 1935) ou dans le Sahel. Elles sont récurrentes, comme celle qui a débuté à la fin de l'été 2004, et elles montrent toujours la même intensité destructrice. Ces exemples illustrent que la survie de l'espèce humaine est en grande partie fonction de sa capacité à protéger les végétaux essentiels à son alimentation, dans les champs ou après la récolte. La mise en œuvre, par les hommes du néolithique, de moyens pour mettre cette nourriture à l'abri des ravageurs phytophages, remonte, elle aussi, loin dans le temps puisque des fouilles archéologiques en font foi (Marinval, 1988).

La préservation des cultures et des récoltes s'inscrit comme « *un phénomène de compétition entre consommateurs au premier rang desquels s'affrontent l'Homme, l'Insecte et le Rongeur* » (Ferron, 1989). En effet, une part considérable de ce que l'agriculture produit est perdue du fait des animaux qui se développent aux dépens des plantes que l'homme cultive et des denrées qu'il entrepouse. Ils deviennent ainsi des « ravageurs », concurrents de l'homme pour la consommation de la production végétale. Ce dernier a longtemps toléré (et les tolère encore dans certains pays) les pertes diverses, faute d'armes pour les combattre et habitué qu'il était à la

fatalité de récoltes faibles et très variables en quantité et en qualité. Très inventifs, nos prédécesseurs surent mettre à profit les connaissances de leur époque. L'avènement, au XIX^e siècle d'une agriculture spéculative et les progrès de l'agronomie ont amené à rechercher les moyens de réduire autant que possible les déprédations des insectes, acariens, nématodes, oiseaux et autres rongeurs.

Ainsi, la protection des cultures s'inscrit dans l'histoire de l'humanité et de l'agriculture. Son évolution est intimement liée à notre passé et sans doute orientera de manière décisive notre futur. Aussi est-il temps de dresser un bilan de la situation qui prévaut maintenant et d'avancer des propositions pour l'avenir.

1. Agriculture et protection des cultures : quelques points de repères

1.1. Modification des équilibres biocénotiques

La dépendance de l'humanité envers les plantes domestiquées est, comme nous le rappelle Dethier (1976), un phénomène indissociable des origines de l'agriculture. Très tôt dans l'histoire de l'agriculture, les plantes sont devenues une source incontournable de nourriture pour l'espèce polyphage que nous sommes. Mais en favorisant la domestication de certaines espèces végétales, l'homme a sélectionné des plantes qui, contrairement aux espèces non cultivées, ne sont plus en équilibre avec leurs ennemis phytophages naturels. Au fur et à mesure que l'homme a modifié son environnement, les nouvelles conditions du milieu ont favorisé la prolifération des organismes nuisibles, et contribué à compromettre gravement les récoltes.

Parmi les moyens mis en œuvre par les plantes pour se défendre contre leurs prédateurs, les médiateurs chimiques jouent un rôle déterminant (Strebler, 1989). Feeny (cité par Strebler) suggère que l'évolution de ces défenses chimiques serait liée à des critères d'exposition de la plante, c'est-à-dire à sa visibilité. Les plantes cultivées qui dérivent de plantes sauvages « inapparentes » par un processus de sélection, sont, avec l'avènement des monocultures, devenues très « apparentes ». Cette visibilité, accompagnée d'un abandon des pratiques agricoles anciennes (assolements), augmente l'exposition des cultures à leurs ravageurs. Strebler (1989) souligne que la sélection de variétés à haut rendement « s'accompagne souvent de l'abandon des caractéristiques morphologiques ou chimiques de la résistance ». Ainsi, les plantes cultivées aujourd'hui ont plus que jamais besoin d'une protection (biologique ou chimique), procurée par l'homme, pour survivre et pour maintenir une production optimale. En effet, face aux bouleversements des révolutions industrielles et agricoles des XIX^e et XX^e siècles, de notre capacité à mieux contrôler les vecteurs des maladies, et de la mondialisation de l'économie et des échanges, l'expansion démographique fixe l'objectif d'une agriculture de plus en plus performante pour mieux satisfaire les besoins alimentaires de la population planétaire. Là où des interventions artisanales suffisaient, au tout début, à limiter les dégâts, il a fallu utiliser des moyens plus drastiques pour satisfaire des besoins alimentaires,

de plus en plus importants. Comme l'a si bien écrit Dethier (1976) : « *l'agriculture est un phénomène artificiel qui avance selon la culture humaine à l'intérieur d'une parade qui défile aux accents d'un air biologique.* »

1.2. Du manuel au chimique

À chaque époque, la protection des cultures met en œuvre des moyens technologiques représentatifs des avancées scientifiques du moment. Les dégâts provoqués par les rongeurs et les insectes, phytoravageurs facilement identifiés, ont très tôt suscité des initiatives et actions de prévention : obstacles mécaniques, appâts empoisonnés pour les premiers. Pour les seconds, jusqu'au milieu du XIX^e siècle, la lutte se faisait essentiellement par intervention manuelle : lavage, lessivage ou destruction des parties végétales infestées, utilisation de décoctions de plantes pour l'assainissement des locaux, ramassage des ravageurs au cours de séances de « hantonnage ». Des pièges, puis des substances chimiques d'origine minérale (arséniates) ou extraites de plantes (nicotine), ainsi que des variétés et des porte-greffe résistants, comme ce fut le cas en France pour lutter contre le Phylloxéra, puceron ravageur du vignoble, ont été également utilisés à cette époque (Balachowsky, 1951).

Au cours du XX^e siècle, avec la mécanisation de l'agriculture, les mains ont été remplacées par des appareils de plus en plus sophistiqués fixés sur les tracteurs, comme le soulignent ces deux exemples :

- le désherbage des adventices, se fait par traitement électromagnétique ou électrocution (Vigneault et Benoît, 2000) ;
- la collecte d'insectes : le Coléoptère *Leptinotarsa decemlineata* (doryphore) ou l'aleurode *Bemisia tabaci* sont décrochés du feuillage des plants de pomme de terre par de puissants systèmes pneumatiques (Lacasse *et al.*, 2000 ; Weintraub et Horowitz, 2000).

Un recensement des méthodes physiques contre les ravageurs des cultures et des denrées stockées montre que ces techniques peuvent constituer un appoint précieux pour le contrôle de bio-agresseurs (chapitre 39) mais que leur efficacité, dans les stratégies de lutte intégrée, suppose une connaissance des limites physiologiques des insectes ciblés (chapitre 38).

L'apparition sur le marché, au milieu du XX^e siècle, de produits chimiques, abondants et efficaces contre les ravageurs, a ouvert la porte à la mise en place de méthodes d'éradication des nuisibles sur une grande échelle (Casida et Quistad, 1998). C'est la belle époque des pesticides organiques de synthèse parmi lesquels les insecticides occupent une place de choix.

L'importance de ces produits, qui ont contribué à la révolution agricole de la deuxième moitié du XX^e siècle, nous a conduits à leur consacrer la première partie de l'ouvrage. Cinq chapitres examinent les propriétés phytopharmaceutiques des différentes catégories de pesticides, leurs modes d'action, leur réactivité et leur évolution. Les insecticides (chapitre 1) ont été développés très tôt, sans doute parce que la nuisance d'un certain nombre d'espèces d'insectes (ces derniers représentent

80 % des espèces animales), est plus facilement perceptible. Le rôle des champignons phytopathogènes, des nématodes phytoparasites, et des adventices dans les champs cultivés n'est pas de moindre importance et nécessite l'utilisation de fongicides (chapitre 2), de nématicides (chapitre 4) et d'herbicides (chapitre 3), ces derniers représentant la moitié des ventes de pesticides du marché mondial (chapitre 40). Depuis peu, une autre catégorie de composés intervient dans la protection phytosanitaire : les régulateurs de croissance, qui, auparavant, étaient utilisés pour leurs seules propriétés hormonales (chapitre 5).

Le bilan de ces chapitres démontre que si les pesticides organiques de synthèse sont encore aujourd'hui une pierre angulaire de la protection des cultures, une prise de conscience s'est opérée pour les utiliser en moins grande quantité et à bon escient ainsi qu'en témoignent les ventes de produits phytosanitaires ces dernières années (chapitre 40). En effet, l'utilisation intensive et sans discernement de ces pesticides a conduit à des effets non intentionnels qui ont créé différents désordres environnementaux.

1.3. Impact environnemental des pesticides organiques de synthèse

Au début des années soixante, l'intervention de Rachel Carson (1962) a fait prendre conscience des effets pervers des pesticides de synthèse et a obligé les gouvernements à se préoccuper des problèmes de l'environnement associés à l'utilisation des pesticides.

Il aura fallu moins d'un demi-siècle pour que les insectes phytophages s'attaquent aux plantes cultivées, et les insectes vecteurs de maladies, fassent une démonstration darwinienne de leur capacité à résister à la pression des pesticides. Une grande variété de formulations de produits inorganiques ou organiques (organochlorés, organophosphorés, carbamates), et même certains dérivés d'insecticides d'origine végétale (pyréthriinoïdes), ont contribué à la sélection d'espèces résistantes et doivent être utilisées à des concentrations de plus en plus fortes. Entre 1948 et 1990, le nombre des cas de résistance chez les insectes est en constante progression : 14 espèces en 1948, 224 en 1969 et plus de 500 en 1990 (Mouchès *et al.*, 1990).

Cette capacité des insectes à résister à la toxicité des insecticides de synthèse est une conséquence logique de l'incessante co-évolution des êtres vivants et, dans ce cas précis, des mécanismes de co-adaptation entre les plantes et les organismes qui se développent à leurs dépens. Ainsi, pendant des millions d'années, un demi-million d'insectes phytophages ont réussi à se maintenir sur un quart de million de plantes diverses, sous tous les climats. Alcaloïdes, substances phénoliques et autres terpènes n'ont pas réussi à éliminer les Lépidoptères, Coléoptères et autres Hémiptères qui se sont révélés capables de détoxifier et même d'exploiter ces substances pour s'en prémunir. En fait, ces composés phytochimiques biosynthétisés ont tout simplement préparé les insectes phytophages, par le jeu de la sélection naturelle, à contrecarrer l'action des produits synthétiques du xx^e siècle (Philogène, 1972 ; Philogène et Arason, 1996).

Les phénomènes de résistance des insectes aux insecticides organiques de synthèse ont conduit à utiliser des concentrations de plus en plus fortes de substances actives pour obtenir des résultats similaires à ceux du passé. Cette augmentation s'est révélée source de plusieurs désordres écologiques qui ont été qualifiés d'« effets 4R » pour résistance, rémanence, résurgence et rupture des chaînes trophiques (Regnault-Roger, 2002). La biodégradabilité des pesticides est variable d'un composé à l'autre. Les premiers utilisés, les organochlorés, sont particulièrement rémanents dans la biosphère et leur diffusion à travers ses différents compartiments (chapitre 6) va provoquer des contaminations qui ne sont pas sans conséquence. Les risques provoqués par l'accumulation de leurs résidus se sont accrus : fragilisation des écosystèmes, impact sur la reproduction (particulièrement pour les espèces qui sont en haut de la pyramide alimentaire) ainsi que sur la santé humaine (chapitres 7 et 11). Ces effets non intentionnels touchent également les insectes auxiliaires (chapitre 10). Les phénomènes de résistance aux insecticides observés chez les insectes (chapitre 9) sont également apparus chez les champignons, vis-à-vis des fongicides (chapitre 2) mais aussi chez les adventices pour les herbicides (chapitre 8). C'est donc l'ensemble de la biocénose qui est affectée.

1.4. Mise en œuvre d'une surveillance de plus en plus performante

Face aux désordres écologiques constatés, il était urgent de développer des méthodes de contrôle et de surveillance de l'emploi de ces pesticides organiques de synthèse. L'analyse chimique est utilisée depuis fort longtemps et a permis de fixer des seuils au-delà desquels les contaminations des milieux allaient se révéler préjudiciables aux biocénoses. Les progrès réalisés dans les méthodes d'extraction et l'abaissement des seuils d'identification des pesticides, par des méthodes et appareillages de plus en plus performants, contribuent à une meilleure appréciation du niveau réel de ces pollutions (chapitre 12). Toutefois, la détection d'un résidu pesticide, ou plus généralement d'un polluant dans un écosystème, ne signifie pas que la concentration observée va affecter les organismes qui y sont présents. De nombreux facteurs interfèrent avec la biodisponibilité de ces éléments et leur réactivité vis-à-vis des êtres vivants. Aussi pour connaître l'impact réel des contaminations provoquées par les pesticides sur les organismes est-il indispensable de recourir aux biomoniteurs qui mettent en évidence les conséquences de la présence des résidus de pesticides. Cette surveillance biologique est en pleine expansion et démontre la réalité de l'incidence des contaminants présents sur les espèces (chapitre 13). Méthode de veille, elle n'est pas prédictive et il est nécessaire d'utiliser une autre approche pour prévoir et prévenir les dégâts provoqués par les bio-agresseurs. À ce niveau, la modélisation est un instrument précieux dont il convient cependant d'apprécier les limites (chapitre 14).

Ce sont donc 14 chapitres de cet ouvrage qui vont brosser un bilan de l'utilisation des pesticides organiques de synthèse, de leurs succès et des limites de leur emploi, dans le cadre d'un développement durable.

L'âge d'or des pesticides de synthèse n'aura duré qu'un demi-siècle. Devant les besoins de plus en plus grands d'une population mondiale en croissance exponentielle et les nécessités de développer une agriculture performante qui nourrisse l'humanité entière, préserve l'environnement et l'équilibre des biocénoses, il est plus que jamais nécessaire d'identifier de nouvelles alternatives pour la protection des cultures du XXI^e siècle contre les déprédations des arthropodes, des nématodes, des rongeurs, des micro-organismes et autres pestes, ainsi que contre les effets négatifs des mauvaises herbes sur la production agricole.

2. *Développement durable*

Après la prise de conscience des années soixante sur les effets pervers d'une utilisation massive des pesticides organiques de synthèse, il a tout de même fallu attendre 1987 pour que la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Organisation des nations unies) présidée par Mme Brundtland, premier ministre de Norvège, avance la notion de « développement durable ». Le développement durable est celui qui « *répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs* ». Cette définition a aussi été reprise dans l'article 2 du traité de Maastricht de l'Union européenne (UE). Sa formalisation par la conférence de Rio (1992) s'est accompagnée d'un cortège de règlements qui concernent, au niveau européen, les exigences réglementaires pour les autorisations de mise sur le marché des produits phytosanitaires, l'eau potable et des mesures agri-environnementales (Séverin, 2003).

La notion de développement durable rassemble autour d'elle un large consensus puisqu'elle suppose la prise en considération de la protection de l'environnement, dans le cadre d'un développement économique moins consommateur de ressources, plus équitable et soucieux du long terme (Viaux, 2003). Pour être durable et soutenable, le développement doit être écologiquement sain, socialement équitable, et économiquement viable.

Si la dimension économique est facilement évaluable, les dimensions sociales et écologiques sont plus difficiles à cerner. La dimension sociale est certainement la plus floue car elle concerne autant la vie citoyenne qui régit les rapports humains dans la société que la qualité de la vie à laquelle participe la qualité des produits commercialisés. Les résidus des pesticides dans les produits alimentaires en font donc partie. La dimension écologique prend en compte la préservation des ressources naturelles, la qualité de l'air ou de l'eau, la diversité biologique. Au niveau de l'agriculture, des outils de diagnostic de durabilité, basés sur des indicateurs pluridisciplinaires, sont en cours d'évaluation. Ils prennent en compte les ressources génétiques et la diversité biologique, les pratiques agricoles (facteur pesticide), ainsi que l'organisation spatiale du milieu (Viaux, 2003 ; Devillers *et al.*, 2005). Les méthodes utilisées dans la protection des cultures sont, par conséquent, en prise directe avec ces préoccupations, et les effets non intentionnels des pesticides

organiques de synthèse soulignent qu'il est urgent de proposer des solutions alternatives « écologiquement saines ».

3. *Stratégies alternatives*

La lutte phytosanitaire est un des éléments de la production agricole et forestière dont les conséquences sont fonction d'un ensemble complexe d'interventions à plusieurs niveaux : scientifique, agronomique, social et économique.

Dès lors, pour intégrer cette démarche dans le cadre du développement durable, plusieurs questions se posent :

- de quels moyens dispose-t-on actuellement pour assurer une production alimentaire ou une production ligneuse satisfaisantes ?
- quelle sera la place des pesticides organiques de synthèse dont le bannissement total et immédiat n'est pas envisageable, malgré les problèmes connus et prévisibles qu'ils posent ?
- comment promouvoir l'utilisation et l'intégration des molécules allélochimiques dans les moyens de défense de la plante ?
- comment rendre plus performante une approche agro-biologique de la protection des cultures ?
- quelle place donner à la lutte biologique classique et à ses dimensions plus moléculaire et génétique ?
- quel sera l'impact économique de ces nouvelles stratégies dans un contexte de réglementation de plus en plus exigeant ?

Ces questions sont le résultat d'observations sur la réalité de l'agriculture actuelle. Plusieurs approches tentent de répondre à ces préoccupations.

3.1. **Une approche intégrée et raisonnée sous tous les climats**

Il est patent aujourd'hui que les pesticides de synthèse (insecticides, fongicides, herbicides, nématicides, rodenticides) continuent à assurer une protection efficace et économiquement abordable. Selon le *National Research Council (NRC)* des États-Unis, qui a entrepris une étude exhaustive de la question, il n'y aurait aucune justification à complètement abandonner les produits chimiques comme outils de lutte contre les organismes nuisibles. Il faut donc s'attendre à voir les pesticides de synthèse continuer à être utilisés pour le maintien de la production alimentaire des pays du nord et du sud, à un coût acceptable. Cet usage continuera inévitablement de s'accompagner de problèmes de contamination de l'environnement, de résistances des organismes à l'action des produits de synthèse, et de risque d'intoxication des populations humaines, à court ou à long terme. Aussi, les scientifiques qui arrivent à cette conclusion ne peuvent s'empêcher d'ajouter qu'il doit y avoir un effort concerté, à la fois en recherche et en politique, pour augmenter la compétitivité des méthodes alternatives et leur donner une meilleure place (NRC, 2000).

En effet, l'évolution des découvertes, depuis l'avènement du DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) indique que les chercheurs sont déjà en mesure de proposer des solutions alternatives en ce début du XXI^e siècle. Contrairement à l'usage des pesticides tel qu'il était pratiqué au cours du siècle dernier, les méthodes alternatives ne se réclament pas de l'exclusivité pour assurer le contrôle des bio-agresseurs. Elles n'ont que la prétention de réduire la pression de ces derniers et font systématiquement référence à la mise en œuvre conjuguée de plusieurs méthodes de nature différente. Cette approche dite « intégrée » sera illustrée par huit chapitres qui débutent la seconde partie de l'ouvrage (chapitres 15 à 21).

Une réflexion approfondie précise les points à prendre en compte pour une agriculture durable tant au niveau du contrôle des nuisibles, de la gestion des populations et de leurs habitats, que de la biodiversité (chapitre 15). Les lignes-force de ce propos sont illustrées par des exemples de gestion des populations d'insectes piqueurs-suceurs (chapitre 16), de rongeurs non commensaux (chapitre 17), d'adventices (chapitre 18) ou de plantes parasites (chapitre 19).

Dans les pays en développement, l'agriculture reste l'activité économique la plus importante. C'est sur les cultures de rente (café, cacao, coton), les grandes cultures de plein champ (céréales) ou les vergers (olivier, agrumes) que se fait la plus grande utilisation de pesticides de synthèse. L'utilisation des insecticides y est plus répandue, ces produits ayant un effet plus direct sur les rendements escomptés. Mais, pour le petit producteur, les méthodes traditionnelles restent la façon la plus commune de lutter contre les déprédateurs (Abate *et al.*, 2000). Le paysan pratique donc une agriculture plus apte à se conformer aux stratégies agrobiologiques du XXI^e siècle, pour autant qu'il puisse recevoir une juste compensation monétaire pour ce qu'il produit. Deux chapitres, correspondant à des études de cas (chapitres 20 et 21), mettent l'accent sur cette approche originale qui illustre bien que certaines méthodes alternatives relèvent d'usages ancestraux.

3.2. Approches microbiologiques et entomophages

L'utilisation d'autres organismes biologiques pour le contrôle des nuisibles s'inscrit dans la nuit des temps : n'est-ce pas là le principe du chat qui protège les habitations des souris ? Il s'agit de la lutte biologique dite « classique », celle dont DeBach dit qu'elle est « *si intellectuellement satisfaisante, si biologiquement mystérieuse et si écologiquement rationnelle* » (DeBach, 1974).

En matière de protection des cultures, l'utilisation d'organismes arthropodes parasitoïdes ou prédateurs, et de micro-organismes pour le contrôle des bio-agresseurs s'effectue maintenant depuis plusieurs décennies (chapitre 22). L'exemple de la lutte biologique en serre est très illustratif du propos (chapitre 28). Mais l'introduction d'auxiliaires entomophages dans de nouveaux milieux n'est cependant pas sans risque (chapitre 24) et nécessite un suivi rigoureux qui permet d'en tirer les leçons pour de futures luttes (chapitre 23).

Les micro-organismes ont connu un très large succès au cours des dernières décennies. Le bacille de Thuringe (*Bacillus thuringiensis* ou *Bt*), dans différentes

formulations, est la « *star* » de cette forme de lutte phytosanitaire (chapitre 25). Elle représente près de 90 % des ventes de biopesticides à base de micro-organismes (chapitre 41). À côté des bactéries et des communautés microbiennes qui jouent un rôle dans le contrôle des maladies d'origine tellurique (chapitre 26), les virus entomopathogènes sont également utilisés contre les insectes nuisibles, mais le plus souvent sur une petite échelle (chapitre 27). Une évolution très nette en faveur de cette forme de lutte est cependant observée au cours des dernières décennies. En Amérique du Nord où les mauvaises herbes sont le problème phytosanitaire le plus important (Newsome, 1979), le coût de la main-d'œuvre et la mécanisation extensive des systèmes de production agricole ont favorisé l'utilisation des herbicides. Le désherbage fait maintenant souvent appel à la lutte biologique, l'introduction, à cette fin, d'insectes phytophages, étant plus répandue. Ce genre d'intervention représente cependant un faible pourcentage de l'élimination des mauvaises herbes (McFayden, 1998).

La lutte phytosanitaire fondée sur l'utilisation des organismes auxiliaires, microbiologiques et entomophages, a longtemps été considérée comme la seule approche biologique de la protection des cultures. Elle est souvent désignée sous le vocable de « lutte biologique classique ». Il existe toutefois d'autres approches alternatives, tout aussi biologiques, qui mettent en jeu l'utilisation d'organismes et produits biologiques : les méthodes basées sur l'utilisation de composés sémiologiques ou d'OGM (Organismes génétiquement modifiés) par exemple. Pour cette dernière, il convient d'apprécier dans quelle mesure on peut la considérer comme une méthode « bio » compte-tenu des incertitudes qui y sont attachées (cf. 3.4.). Si le terme de biopesticide a maintenant été élargi (chapitre 41), on a toujours tendance à réserver le terme de « lutte biologique » à la seule utilisation d'auxiliaires du monde microbiologique ou du monde animal (parasites ou prédateurs).

3.3. Approches sémiologiques

Si l'on considère la définition scientifique des composés sémiologiques, il existe deux catégories de médiateurs chimiques qui sont impliqués dans les relations intra- et interspécifiques (au sein d'une même espèce ou entre des espèces différentes) : les phéromones et les composés allélogéniques (Strebler, 1989). Les phéromones ont été abondamment étudiées chez les insectes et les molécules allélogéniques chez les plantes où elles sont en abondance. Aussi, dans un pan de plus en plus large de la littérature anglo-saxonne, on définit comme lutte sémiologique la forme de lutte basée sur le seul emploi de phéromones (*semiochemicals*) tandis que les composés allélogéniques sont qualifiés de « *botanicals* » (Schoonoven, 1990 ; Arnason *et al.*, 1992). Toutefois, si on se réfère à la définition donnée par l'OCDE (Organisation de coopération et développement économique) qui prend en compte le concept scientifique dans sa globalité, la lutte sémiologique recouvre l'utilisation de tout composé chimique émis par les plantes, animaux et autres organismes, ainsi que des analogues synthétiques, qui modifient la physiologie ou le comportement d'individus d'une même espèce ou d'espèces

différentes (chapitre 29). C'est pourquoi, nous prendrons en considération, sous le vocable de « stratégie sémiachimique », les composés allélochimiques aussi bien que phéromonaux.

Bien que les composés allélochimiques ne soient pas biosynthétisés par les seuls végétaux, c'est certainement dans les plantes qu'on en trouve la plus grande diversité. Ces molécules, de structures chimiques très variées, jouent plusieurs rôles dans la protection du végétal (chapitre 29). Dans un ouvrage précédent (Regnault-Roger *et al.*, 2002), il a été fait état des possibilités offertes par les biopesticides d'origine végétale dans la lutte contre les insectes, les mauvaises herbes et les nématodes. En dehors du pyréthre et de ses dérivés, de la roténone et, dans certains pays, des différentes formulations d'extraits du « neem » (*Azadirachta indica*), les biopesticides d'origine végétale n'occupent pas encore la place qu'ils devraient avoir dans une agriculture plus respectueuse de l'environnement. Toutefois, des développements récents, notamment en matière de stimulation des défenses naturelles des plantes, dans lesquelles sont impliquées de nombreuses molécules allélochimiques, pourraient ouvrir de nouvelles perspectives de l'utilisation de ces composés en phyto-protection (chapitre 30).

Les phéromones peuvent réduire considérablement le potentiel de multiplication des insectes phytophages, et il a été souligné que « *l'importance des informations olfactives dans la localisation des plantes-hôtes et dans la rencontre des partenaires sexuels suggère que les efforts de la recherche scientifique dans le domaine de l'olfaction et de la chimiosensibilité des insectes pourraient conduire à de considérables potentialités écologiques et économiques.* » (Picimbon, 2002). Les phéromones sont utilisées dans les programmes de lutte intégrée pour mieux prévoir les infestations, et sont considérées jusqu'à présent comme des molécules sans effets néfastes pour les organismes non visés. Elles sont d'ailleurs classées par l'EPA (*Environmental Protection Agency*) des États-Unis, comme des pesticides biochimiques car ce sont des produits phytosanitaires qui, par eux-mêmes, ne tuent pas les insectes (chapitre 41). Placées dans différents types de pièges, elles modifient le comportement des congénères de la population, limitant le renouvellement des générations selon différents modes d'action soumis à de nombreux paramètres (chapitres 31 et 32). Cette forme de lutte sémiachimique pourrait aussi trouver des applications dans l'étude du polymorphisme des populations en mettant en évidence des variabilités phéromonales (chapitre 33).

3.4. Approches génétiques

Les développements de la génétique et de la biologie moléculaire ont permis des interventions efficaces dans le domaine de la résistance des plantes aux phytophages.

La génomique met en évidence des QTL (*quantitative trait loci*) sur les gènes impliqués dans la résistance aux pathogènes. L'étude du chevauchement de ces QTL avec ceux qui sont impliqués dans la biosynthèse de molécules d'intérêt permet de sélectionner des variétés plus résistantes aux maladies (chapitres 35 et 30).

Le génie génétique, qui autorise la modification du génome d'un organisme par l'introduction de gènes provenant d'un autre organisme (chapitre 34), peut conduire à la biosynthèse de molécules provoquant la résistance des plantes à des herbicides ou à des insectes, ce qui était impensable il y a tout juste une trentaine d'années. Le *Bt* est utilisé par le génie génétique pour rendre des plantes cultivées plus résistantes aux insectes phytophages, ce qui montre bien que l'utilisation d'OGM pourrait s'inscrire dans le cadre d'une lutte alternative. Mais l'avènement des OGM, qui a ouvert un nouveau chapitre pour la production agricole, est tout à la fois porteur d'espoir et d'inquiétude. Les esprits se sont rapidement polarisés, ce qui a trop vite occulté les bénéfiques potentiels à retirer de cette nouvelle technologie (Rissler et Mellon, 1996). Aujourd'hui, il est plus que jamais d'une grande importance de réaliser des études scientifiques rigoureuses et impartiales pour examiner les risques non intentionnels des transferts de gènes de plante à plante (chapitre 36) et s'il existe des effets non intentionnels des OGM sur les insectes auxiliaires comme l'abeille (chapitre 37). C'est à ce prix que nous pourrions juger si cette nouvelle approche phytosanitaire correspond à la philosophie du développement durable dans sa dimension « écologiquement saine ».

4. Dimensions économiques et réglementaires des enjeux phytosanitaires

Il y a déjà 40 ans, Rudd (1964) écrivait qu'à quelques exceptions, les limites biologiques et législatives associées à l'utilisation de produits chimiques n'étaient pas fondées seulement sur les risques chimiques, et que des dimensions biologiques, sociales et économiques, devaient être prises en considération. Ce sont finalement les politiques des gouvernements et des instances internationales qui influencent les orientations que prennent les activités agricoles et forestières.

Aussi est-il paru important d'examiner les aspects économiques et commerciaux au présent et dans leurs perspectives. L'Union des industries de la protection de plantes (UIPP), par l'intermédiaire de ses plus hauts responsables, a analysé l'évolution de la consommation des pesticides organiques de synthèse dans le monde, en Europe et en France : on peut y constater que les industriels du secteur de l'agrochimie sont, plus que jamais, des partenaires incontournables et responsabilisés au développement durable (chapitre 40).

Simultanément, les instances internationales (EPA, UE, OMS – Organisation mondiale pour la santé – et FAO – *Food and Agriculture Organization*) ont préconisé des mesures de plus en plus restrictives pour éliminer les molécules les plus problématiques, ou en limiter l'utilisation. C'est pourquoi il est important de se demander si les biopesticides ont un avenir commercial (chapitre 41) et si les OGM constituent une alternative tant dans leurs aspects agro-économiques (chapitre 43) que dans la circulation mondiale de ces produits (chapitre 44). Le développement de nouveaux produits, notamment biopesticides, peut d'ailleurs se révéler un processus complexe dans lequel les objectifs visés initialement sont dépassés par la

découverte de propriétés plus performantes de la substance active étudiée (chapitre 42).

La prise de conscience de la nécessaire rénovation des pratiques phytosanitaires pour une agriculture durable est également la préoccupation des autorités qui officient au niveau législatif et réglementaire. Depuis plusieurs années, dans les pays développés, un toilettage de l'homologation des substances phytopharmaceutiques a été entrepris, notamment en Europe et au Canada (chapitre 46). Dans l'Union européenne, la directive 91/414/CEE a enclenché un mouvement qui va restreindre drastiquement le nombre de molécules qui circuleront désormais sur son territoire : selon les prévisions, seules 40 % des substances actives devraient être homologuées au terme du processus qui s'achèvera en 2007-2008 (chapitres 40 et 12). Les règles de l'homologation des substances phytosanitaires ainsi que les orientations du ministère français de l'Agriculture sont rappelées dans le chapitre 46. Cette vigilance s'applique tout aussi bien aux nouvelles approches qui ne sont pas concernées par cette réglementation : ainsi les OGM font-ils l'objet de réseaux de biovigilance dans plusieurs pays européens (chapitre 45).

Conclusion

Les décisions agricoles prises au cours du xx^e siècle et les habitudes alimentaires qui se sont développées et répandues au cours de la même période, ont conduit l'humanité à une dépendance fragile fondée sur une vingtaine de denrées au sommet desquelles on trouve les céréales (blé, riz, maïs). Toutes ces espèces végétales ont fait l'objet de sélections poussées. Elles sont pour certaines très sensibles aux attaques des arthropodes phytophages ou de micro-organismes, tout autant dévastateurs, de plus en plus adaptés aux nouvelles conditions environnementales et résistants aux pesticides classiques. Ces dégâts se manifestent tant dans les champs cultivés que pendant l'entreposage, et sont susceptibles d'affecter les rendements financiers.

Le développement et l'utilisation de méthodes de lutte alternatives n'ont pas attendu l'interdiction des organochlorés et autres DDT. Lutte biologique, méthodes culturales, utilisation de produits naturels d'origine végétale font partie des stratégies de lutte phytosanitaire depuis des siècles. L'importance qu'on a pu leur donner a varié selon les régions et les circonstances. Toutefois, aucune de ces méthodes n'a encore pu remplacer la lutte chimique *stricto sensu*, en tout cas pas dans les monocultures céréalières ou les cultures industrielles comme le coton. Elles n'ont pas davantage été en mesure de permettre une production agricole intensive et à un coût comparable à ce qui est réalisable avec des pesticides de synthèse. Toutefois, il existe maintenant un nombre important de stratégies alternatives susceptibles de promouvoir une agriculture durable : la lutte biologique s'est en effet avérée efficace contre des arthropodes phytophages ou des mauvaises herbes envahissantes dans des situations géographiques particulières et l'utilisation de variétés résistantes de plantes cultivées est aujourd'hui un élément incontournable de la lutte intégrée.

Cependant, si l'on veut envisager de faire une place plus importante aux méthodes de lutte phytosanitaire dites « douces », il va falloir en accepter le prix, de plus en plus élevé, pour se nourrir au quotidien, que ce soit dans les pays développés ou dans les pays en développement, dans lesquels des millions d'individus sont souvent confrontés à la famine. Mais seules ces méthodes phytosanitaires alternatives peuvent effectivement réduire les pollutions des différentes composantes de l'environnement et les risques pour la santé humaine, et ainsi inscrire l'agriculture dans le développement durable.

Références bibliographiques

- Abate T., van Huis A., Ampofo J.K.O. (2000). Pest management strategies in traditional agriculture: an African perspective. *Annu Rev Entomol*, **45** : 631-659.
- Arnason J.T., MacKinnon S., Durst A., Philogène B.J.R., Hasbun C., Sanchez P., Poveda L., San Roman L., Isman M.B., Satasook C., Towers G.H.N., Wiriyaichitra P., McLaughlin J.L. (1992). Insecticides in tropical plants with non-neurotoxic modes of action. In Downum K.R., Romeo J.T., Stafford H.A., *Phytochemical potential of tropical plants*. Recent Advances in phytochemistry, Vol 27, Plenum Press, New-York.
- Balachowsky A.S. (1951). *La lutte contre les insectes*. Payot, Paris.
- Bull D. (1982). *A growing problem. Pesticides and the third world poor*. OXFAM, Oxford.
- Carson R. (1962). *Printemps silencieux*. Plon, Paris.
- Casida J.E., Quistad G.B. (1998). Golden age of insecticide research. *Annu Rev Entomol*, **43** : 1-16.
- DeBach P. (1974). *Biological Control by natural enemies*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dethier V.G. (1976). *Man's plague. Insects and Agriculture*. The Darwin Press. Princeton, N.J.
- Devillers J., Farret R., Girardin P., Rivière J.-L., Soulas G. (2005). *Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides*. Lavoisier Tec & Doc, Paris.
- Ferron P. (1989). Préface. In Riba G. et Silvy C., *Combattre les ravageurs des cultures*, INRA, Paris.
- Howard L.O. (1935). *La menace des Insectes (The Insect Menace)*. Flammarion, Paris.
- Lacasse B., Laguë C., Roy P.M., Khelifi M., Bourassa S., Cloutier C. (2000). Contrôle pneumatique du doryphore de la pomme de terre. In Vincent C., Panneton B., Fleurat-Lessard F., *La lutte en phytoprotection*. INRA, Paris, 301-314.
- McFayden R.E.C. (1998). Biological control of weeds. *Annu Rev Entomol*, **43** : 369-393.
- Marinval P. (1988). *L'alimentation végétale en France du mésolithique jusqu'à l'âge de fer*. Éditions du CNRS, Paris.
- Mouchès C., Pauplin Y., Agarwal M., Lemieux L., Herzog M., Abadon M., Beyssat-Arnaouty V., Hyrien O., Robert de Saint Vincent B., Georghiou G.P., Pasteur N. (1990). Characterization of amplification core and esterase B1 gene responsible for insecticide resistance in *Culex*. *Proc Natl Acad Sci USA*, **87** : 2574-2578.
- Newsome L.D. (1979). Role of pesticides in pest management systems. In Sheets TJ, Oimentel D., *Pesticides. Contemporary roles in agriculture, health, and environment*. Humana Press, Princeton, N.J., 151-173.
- NRC (2000). *The future role of pesticides in US agriculture*. Committee on the future role of pesticides in US agriculture. National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
- Philogène B.J.R. (1972). Physiological studies and pest control. *BioScience*, **22** : 715-718.
- Philogène B.J.R., Arnason J.T. (1996). Pesticide alternatives for insects in tropics. *Forum for Applied Research and Public Policy*, **11** : 81-84.
- Picimbon J.-F. (2002). Protéines liant les odeurs (OBP) et protéines chimiosensorielles (CSP) : cibles moléculaires de la lutte intégrée. In Regnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C., *Biopesticides d'origine végétale*. Lavoisier Tec & Doc, Paris, 265-283.

- Regnault-Roger C. (2002). De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième millénaire ? In Regnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C., *Biopesticides d'origine végétale*. Lavoisier Tec & Doc, Paris, 19-40.
- Regnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C. (2002). *Biopesticides d'origine végétale*. Lavoisier Tec & Doc, Paris.
- Rissler J., Mellon M. (1996). *The ecological risks of engineered crops*. The MIT press. Cambridge, Mass.
- Rudd R.L. (1964). *Pesticides and the living landscape*. The University of Wisconsin Press, Madison.
- Schoonhoven L.M. (1990). Insects in a chemical world. In Morgan E., Bhushan Mandava N., *Handbook of Natural pesticides. Insect attractants and repellents*. CRC Press, Vol 6, Boca Raton, Florida.
- Séverin F. (2003). Pour une meilleure transparence : les enjeux et les attentes d'un dialogue vrai ou durable. In ACTA, *Pesticides et protection phytosanitaires dans une agriculture en mouvement*. Éditions Acta, Paris, 885-895.
- Strebler G. (1989). *Les médiateurs chimiques*. Lavoisier Tec & Doc, Paris.
- Viaux P. (2003). Agriculture durable : de l'agronomie à l'économie. In AFPP – 7^e conférence internationale sur les maladies de plantes (CD Rom), Tours, France.
- Vigneault C., Benoît D.L. (2000). Électrocution des mauvaises herbes : théories et applications. In Vincent C., Panneton B., Fleurat-Lessard F., *La lutte en phytoprotection*, INRA, Paris, 183-198.
- Weintraub P.G., Horowitz A.R. (2000). Lutte contre les insectes ravageurs à l'aide d'aspirateurs : l'expérience israélienne. In Vincent C., Panneton B., Fleurat-Lessard F., *La lutte en phytoprotection*, INRA, Paris, 315-324.

Philogène B.J.R., Fabres Gérard, Regnault-Roger C.
(2005)

Introduction : protection des cultures, environnement
et développement durable : enjeux pour le 21e siècle

In : Regnault-Roger C. (ed.), Fabres Gérard (collab.),
Philogène B.J.R. (collab.). *Enjeux phytosanitaires pour
l'agriculture et l'environnement*

Paris : Lavoisier, p. 1-14

ISBN 2-7430-0785-0