



## Science et Protection intégrée des Plantes cultivées

Jean-Louis Bernard

Membre de l'Académie d'agriculture de France

Manuscrit révisé le 18 mars 2013 - Publié le 28 octobre 2013

**Résumé :** *Hormis le cas du modèle vivrier primitif où les possibilités d'intervention sont limitées, la protection des cultures s'articule autour d'un ensemble de mesures et de moyens que le producteur choisit ou non de mettre en œuvre. Les mesures indirectes de protection, strictement préventives, n'ont de valeur qu'appliquées avant que la pullulation des nuisibles ne soit enclenchée ou que des dégâts préjudiciables ne se soient produits. Elles ne sont pas toujours suffisantes pour empêcher l'apparition dommageable des bioagresseurs lorsque le contexte agro-climatique leur est favorable. En revanche, elles sont de nature à retarder l'apparition des infestations et en minimisent la virulence. Durant la période de végétation, lorsque le développement des bioagresseurs crée une menace directe, l'agriculteur dispose d'une palette de moyens directs de protection comprenant des procédés physiques, biologiques ou chimiques de défense.*

*C'est la combinaison cohérente et judicieuse de mesures indirectes bien choisies et de moyens de lutte directe appropriés que l'on considère aujourd'hui comme la meilleure voie capable d'assurer une protection efficace à moyen et long terme tout en contribuant à la durabilité des systèmes de production. Cette vision a donné naissance au concept de protection intégrée et aux méthodes qui en découlent, adoptées au fil des années par un nombre croissant d'agriculteurs.*

*Nous illustrons ici huit domaines dans lesquels des avancées scientifiques ou techniques récentes apparaissent de nature à favoriser un développement plus rapide de la protection intégrée. Plus quelques autres où davantage de science serait bien utile...*

### Protection des cultures : les raisons d'être d'une discipline

En agriculture, quel que soit le système adopté pour les productions végétales, la protection des cultures reste un exercice obligatoire. Cela se vérifie à la fois pour le modèle vivrier primitif (emploi du feu, arrachage des herbes indésirables, collecte manuelle des larves...) et pour les systèmes plus ou moins intensifs des pays dont l'agriculture développée vise à une productivité régulière.

En sus des facteurs limitants que sont le sol, l'eau, le climat... les êtres vivants compétiteurs potentiels des plantes cultivées sont extrêmement variés et jouent souvent un rôle crucial pour la réussite des cultures. On trouve parmi eux des plantes adventices (« mauvaises herbes »), des parasites (champignons, bactéries, phytoplasmes, virus) et des organismes regroupés sous le vocable de ravageurs (insectes, acariens, nématodes, mollusques, rongeurs, oiseaux...). Adventices, parasites et ravageurs sont parfois regroupés sous le terme de « bioagresseurs » ou de « pestes » dont on précise alors la nature et la cible biologique.



*Semé en avril-mai sous nos climats, le maïs est soumis à l'envahissement rapide des adventices dont l'impact sur le rendement dépasse facilement les 50%. Quel que soit le moyen utilisé, le désherbage est une obligation absolue. Photo Syngenta.*

Sans protection, Oerke *et al.* (1994) ont estimé que les pertes de production au niveau mondial seraient de l'ordre de 82% pour le riz, 73% pour la pomme de terre, 70% pour le café, 60% pour le maïs, 52% pour le blé, etc. Les aspects qualitatifs sont aussi très importants. Les pommes attaquées par la chenille du carpocapse tombent de l'arbre ou pourrissent avec rapidité et seront invendables. Les lots de grains parasités par des fusarioses contiennent des taux de mycotoxines élevés qui rendent les farines dangereuses pour le consommateur. La farine du blé contaminé par la carie possède un mauvais goût et devient impanifiable, etc.

### Protection des cultures : boîte à outils

Hormis le cas du modèle vivrier primitif où les possibilités d'intervention sont limitées, la protection des cultures s'articule autour d'un **ensemble de mesures et de moyens** que le producteur choisit ou non de mettre en œuvre.

En dehors de la période végétative des cultures pérennes ou avant la mise en place d'une culture (semis, plantation), il dispose d'un certain nombre de **mesures indirectes de protection** qui peuvent concourir à réduire l'impact des bioagresseurs en cours de culture. Ces mesures sont strictement préventives et n'ont de valeur qu'appliquées *avant* que la pullulation des nuisibles ne soit enclenchée ou *avant* que des dégâts préjudiciables ne se soient produits. Elles comprennent :

- Des mesures appliquées à *l'espèce cultivée* ou à sa conduite pour favoriser son auto-défense : organisation de rotations plus ou moins longues et diversifiées, choix de variétés résistantes ou tolérantes, de semences ou de plants sains, dates de semis...
- Des mesures appliquées à *l'environnement de la plante cultivée* pour accroître sa compétitivité vis-à-vis des bioagresseurs ou rendre son infection plus difficile : travail du sol, drainage, nature et importance des fumures, conduite des irrigations...

- Des mesures appliquées à *l'organisme à combattre en dehors de sa période de nuisibilité* afin d'en diminuer le potentiel néfaste : élimination des abris, des plantes relais ou des foyers primaires, destruction des reliquats de récolte, réduction des sources d'inoculum, aménagements paysagers pour favoriser la présence d'auxiliaires...

Ces mesures ne sont pas toujours suffisantes pour empêcher l'apparition dommageable des bioagresseurs lorsque le contexte agro-climatique leur est favorable. En revanche, elles sont de nature à retarder l'apparition des infestations et en minimisent la virulence.

Durant la période de végétation, lorsque des constats (observation, modèles...) montrent que le développement des bioagresseurs crée une menace pour la culture, l'agriculteur dispose d'une palette de **moyens directs de protection** capables d'éloigner ou de combattre directement des bioagresseurs précis. Ces moyens comprennent :

- Des *procédés physiques* de défense : effeuillage, capture, effarouchement, filets de protection, destruction par le travail manuel ou mécanique, le feu, la chasse...
- Des *procédés biologiques* de défense : lâchers d'auxiliaires spécifiques, traitements à l'aide de bactéries ou de champignons antagonistes...
- Des *procédés chimiques* de défense visant précisément l'organisme combattu *en période de nuisibilité* : fongicides, insecticides, herbicides, piégeage de masse, confusion sexuelle, répulsifs...

C'est la **combinaison cohérente et judicieuse** de mesures indirectes bien choisies et de moyens de lutte directe appropriés que l'on considère aujourd'hui comme la meilleure voie capable d'assurer une protection efficace à moyen et long terme tout en contribuant à la durabilité des systèmes de production. Cette vision a donné naissance au concept de *lutte intégrée* et aux méthodes qui en découlent, adoptées au fil des années par un nombre croissant d'agriculteurs.

Pendant très longtemps la protection des cultures a été peu opérante voire inefficace, bien souvent par manque de connaissances sur la biologie des espèces et des interactions naturelles qui régissent leur évolution. Au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle, le développement de la chimie de synthèse a permis de disposer de substances capables de détruire des adventices, des ravageurs ou des agents pathogènes. Cette possibilité nouvelle s'est traduite par une réduction dans la fréquence d'emploi des mesures indirectes de protection. De même, certains moyens directs d'intervention traditionnels ont été abandonnés au profit de substances chimiques : cas du hannetonage, des façons manuelles ou mécaniques de désherbage des céréales à paille... Dans la période 1950-1990, le recours privilégié à la lutte chimique a cependant montré des effets non intentionnels dommageables tels que contaminations de l'environnement, impacts sur des espèces non cibles, apparition de résistances... qui, en retour, ont amené à réfléchir à d'autres modes de protection.

A la lumière de cette évolution et de l'objectif largement partagé qui consiste à développer des mesures indirectes plus efficaces et des moyens directs performants, durables et respectueux du milieu naturel (eau, sol, air, biodiversité), on peut s'interroger sur les avancées scientifiques récentes qui favorisent un développement plus rapide de la protection intégrée en illustrant le propos de quelques exemples concrets.

Nous nous limiterons ici à la description très rapide de quelques-uns des fruits résultant du progrès scientifique dans huit domaines d'investigation.

### 1°) *La connaissance des bioagresseurs*

Avant le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, il n'était pas rare que certains problèmes de croissance végétale soient faussement attribués au milieu (ex : qualité du sol) ou à des êtres vivants non concernés (ex : vers de terre). Depuis lors, l'expansion des techniques de microscopie, des méthodes d'élevage, des contaminations artificielles, etc., a beaucoup aidé à identifier les bioagresseurs responsables, à clarifier leur cycle biologique, autorisant la mise au point des premières méthodes de lutte rationnelles. Cette connaissance demeure un pivot essentiel pour le pilotage des stratégies de défense. Quelques exemples :

Appliquées à des parasites très anciennement connus comme la pourriture des grappes ou le piétin-verse des céréales, les nouvelles techniques de la **mycologie** conduisent souvent à séparer différents cryptogames rassemblés auparavant sous un seul et même nom, réorientant en conséquence des pans entiers du système antérieur de protection des cultures. Dans l'avenir, ces méthodes seront certainement à l'origine de solutions nouvelles pour protéger les vignobles d'affections complexes comme l'esca.

En pointant au cas par cas le comportement des ravageurs, l'**entomologie classique** a dégagé des pistes fondamentales pour les stratégies de lutte. Ainsi, depuis dix ans, on a pu proposer des mesures concrètes qui ont retardé la rapidité de dispersion (Délos et Huguet, 2011) de la chrysomèle du maïs (*Diabrotica virgifera*), un insecte introduit sur le territoire national en 2002 qui pourrait devenir un des plus importants ravageurs de la culture. Retarder l'avancée de tels nuisibles donne du temps à la recherche appliquée pour mettre au point des variétés résistantes, développer de nouvelles méthodes de lutte et identifier les auxiliaires potentiellement utilisables pour un contrôle naturel. Dans les serres par exemple, le redoutable aleurode introduit *Trialeurodes vaporarium* qui se révélait vers 1975 peu contrôlable dans la durée au moyen d'insecticides est aujourd'hui prioritairement combattu au moyen de microhyménoptères comme *Encarsia formosa*.

Des avancées scientifiques sur la **vision des insectes** ont conduit à la mise au point des pièges chromatiques adaptés à des groupes de ravageurs définis. En quelques années, des pièges englués, jaunes pour les diptères, bleus pour les thrips... ont été adoptés par les serristes puis par nombre de particuliers pour protéger des plantes d'intérieur.

C'est aux travaux sur la physiologie des lépidoptères et les **mécanismes biochimiques qui président aux phénomènes de mue** que l'on doit les insecticides de type RCI (Régulateurs de Croissance d'Insectes). Ces substances qui perturbent l'action des hormones de mue ne tuent pas directement leur cible mais bloquent la croissance des larves à un stade particulier, ce qui élimine le ravageur tout en influençant beaucoup moins la faune auxiliaire que ne le ferait un insecticide classique.

La connaissance des bioagresseurs reste donc fondamentale pour la protection intégrée. Elle sera d'autant plus profitable à son développement rapide que les organismes de recherche appliquée seront capables de la diffuser au sein des réseaux de conseillers en charge d'en favoriser l'adoption par les agriculteurs.

## 2°) *Les progrès de la physiologie végétale*

La manière dont une plante croît et se développe, les mécanismes qui conditionnent sa résistance, les agents biochimiques qu'elle met en œuvre en réponse aux agressions du milieu extérieur... sont autant de thèmes de progrès pour la santé des cultures.

Les recherches déjà anciennes sur les **cultures de tissus *in vitro***, le **clonage végétal** et les méthodes de **micropropagation** ont eu d'immenses répercussions sur les productions modernes de pomme de terre, de fraisier et bien d'autres encore qui leur sont très largement redevables. Dans les années 1960, les recherches fondamentales sur la dynamique de répartition des virus à l'intérieur des végétaux ont conduit à mettre au point des méthodes de **thermothérapie** qui, appliquées par exemple aux fruitiers ligneux, ont permis de débarrasser nombre de nouveaux vergers de maladies très pénalisantes, auparavant transmises avec régularité par le greffage ou le bouturage.

Un des domaines les plus prometteurs de la physiologie végétale en relation avec les bioagresseurs est sans doute celui des **substances élicitrices**, communément appelées SDN (Stimulateur des Défenses Naturelles ; voir aussi l'article « **La protection phytosanitaire des cultures** » de Charles Descoins). On appelle éliciteur ou substance élicitrice une molécule qui déclenche chez la plante qui la reçoit des mécanismes de défense caractérisés par la biosynthèse de substances spécifiques. À ce jour, il n'existe sur le marché qu'un petit nombre de composés de ce type. Les plus connus sont des phosphonates comme le fosétyl-Al, très utilisé contre les mildious et généralement assimilé à un fongicide. D'autres, aux usages encore limités, sont issus de synthèse comme l'acibenzolar-S-méthyl ou proviennent de végétaux comme l'extrait de fenugrec ou la laminarine obtenue à partir d'algues. Le nombre des candidats est beaucoup plus étendu et d'autres éliciteurs sont appelés à prendre place dans les stratégies de protection à venir.

## 3°) *L'utilisation des éléments biologiques qui régissent les équilibres naturels*

Les interactions permanentes qui existent entre espèces vivantes dans les milieux naturels, y compris dans les milieux anthropisés, sont à l'origine de solutions intéressantes pour la protection des végétaux.

Une des grandes avancées des vingt dernières années est la prise en compte croissante de l'intérêt des **aménagements paysagers**, non seulement pour sauvegarder la biodiversité, mais aussi pour favoriser l'abondance des auxiliaires généralistes ou spécialisés directement utiles à la protection des cultures. Bien que des travaux existent pour la vigne, les légumes et les grandes cultures, c'est en arboriculture fruitière que des applications concrètes ont d'abord vu le jour. Lancée au début des années 1970, cette recherche a dégagé des solutions concrètes (Baudry *et al.* 2000) appliquées au champ dès la décennie suivante. Ainsi, l'existence sur des végétaux non cultivés bien précis (ex : arbre de Judée) d'un cortège de ravageurs spécifiques hébergeant des auxiliaires polyvalents utiles aux cultures voisines (cas des punaises anthocorides prédatrices du psylle du poirier ; Debras, 2007) a convaincu nombre d'arboriculteurs qui garnissent aujourd'hui leurs bordures de haies composites optimisées afin de fournir de fortes populations d'auxiliaires directement utiles à l'espèce cultivée. Elles seront les premières à intervenir durant la saison contre des ravageurs particuliers (Debras *et*



al. 2007). De tels dispositifs font actuellement l'objet d'études intensives en horticulture d'ornement, en grandes cultures et sur légumes de plein champ (Colignon *et al.* 2002) pour attirer les auxiliaires souhaités au plus près des productions. De bons résultats ont été obtenus au moyen de bandes fleuries destinées à attirer des syrphes dont les larves exercent une pression forte et prolongée sur les pucerons des cultures voisines.



Les aménagements paysagers ont fait l'objet de nombreuses études depuis 1990 et l'on voit apparaître dans nos campagnes des bandes fleuries destinées à attirer des insectes auxiliaires ou à favoriser – comme ici en Bretagne – l'alimentation des abeilles et des bourdons. Photo Syngenta.

rapide d'organismes vivants en bon état, capables de remplir leur rôle, à des milliers de kilomètres de leur lieu de naissance et de conditionnement. La combinaison des lâchers avec un emploi judicieux d'insecticides spécifiques est devenue la règle pour de très nombreuses productions légumières sous abri, loin de l'image de culture intensive cadencée par la chimie que véhiculent certains médias.

L'étude des relations interspécifiques dans le milieu naturel conduit enfin à sélectionner un nombre grandissant d'agents vivants utilisables pour une lutte directe contre les ravageurs et les parasites. Bien sûr, le très célèbre *Bacillus thuringiensis* capable de tuer les larves de lépidoptères est connu depuis plus d'un siècle, ce n'est que récemment que des souches particulières de cette bactérie, spécifiquement actives sur des coléoptères ou des diptères, ont été commercialisées en remplacement ou en complément d'insecticides chimiques. Des insecticides biologiques entièrement nouveaux font aussi l'objet d'utilisation de routine ; comme le virus de la granulose pulvérisé dans les vergers de pommiers et de poiriers contre le carpocapse, les préparations à base de nématodes entomopathogènes *Steinernema carpocapsae* ou *S. feltiae*, le champignon *Beauveria bassiana* utilisé contre les nouveaux ravageurs des palmiers. Contre certaines maladies de grande importance économique, l'agriculture dispose même, depuis quelques années, de préparations à base de bactéries ou de champignons antagonistes... à l'exemple de *Bacillus subtilis*, une bactérie active sur *Botrytis cinerea* en viticulture ou de *Coniothyrium minitans*, champignon parasite des sclérotés de *Sclerotinia sp.*, utilisable sur colza et salades.

La recherche poursuit la **prospection entomologique** afin d'identifier les auxiliaires capables de répondre aux introductions calamiteuses de ravageurs nouveaux. L'exemple récent des lâchers du microhyménoptère parasitoïde *Neodryinus typhlocybae* pour contrer l'invasion de la cicadelle pruineuse *Metcalfa pruinosa* dans le sud de la France est un bon exemple de réussite.

Une des retombées pratiques de ces travaux systématiques est la mise à disposition des agriculteurs d'un nombre croissant d'arthropodes auxiliaires grâce au développement de sociétés privées faisant appel à des techniques d'**élevage industriel** mais surtout à une logistique très élaborée permettant la délivrance

#### 4°) Les ressources nouvelles de la chimie de synthèse

Depuis le milieu des années 1970, la chimie organique de synthèse s'est orientée vers la sélection de substances phytopharmaceutiques non bioaccumulables, de plus en plus facilement biodégradables, dotés d'une meilleure innocuité pour l'homme et les organismes vivants non-cible. Elle a été puissamment aidée en cela par différentes avancées de la Science (voir aussi l'article de Charles Descoins « *La protection phytosanitaire des cultures* »).

D'une part, l'approfondissement de la connaissance de notre environnement a permis de repérer dans la Nature des **mécanismes biochimiques exploitables pour la santé des cultures**. Ainsi, les fongicides du groupe chimique des strobilurines sont dérivés de molécules synthétisées par des champignons vivant sur les litières forestières comme *Strobilurium tenacellus* et *Oudemansiella* sp. L'herbicide mésotrione sélectif du maïs est né de l'étude de la leptospermone, une substance fabriquée par le feuillage de l'arbuste *Callistemon citrinus* et dotée *in natura* de propriétés herbicides, etc.



*Callistemon citrinus*, un arbuste ornemental d'origine australienne à partir duquel ont été obtenues des substances actives qui révolutionnent le désherbage du maïs. Photo : JL.Bernard.

D'autre part, les **processus de synthèse** ont bénéficié du progrès des mathématiques, de l'informatique et de la robotique. La création et le choix des molécules ne peuvent plus guère se passer des méthodes de conception assistée par ordinateur, des bases de données moléculaires et des outils de modélisation. Grâce à leur utilisation combinée, le chercheur est à même de dégager plus rapidement les relations qui existent entre structure chimique et propriétés biologiques. De tels outils permettent de raccourcir les délais de création, de rendre plus solides les brevets industriels et de maîtriser des coûts de synthèse auparavant explosifs.

Enfin, les sciences humaines et celles qui se préoccupent de l'organisation du travail apportent une contribution grandissante à la conception et à la gestion d'équipes pluridisciplinaires regroupant des centaines de chimistes, de physiciens, de mécaniciens, de biologistes, d'agronomes, d'informaticiens, etc... tous engagés de manière simultanée dans un processus d'innovation lourd et complexe où les erreurs peuvent conditionner la vie de toute l'entreprise.

### **5°) Météorologie et protection des cultures**

Depuis des siècles, il est connu que le climat conditionne la levée plus ou moins rapide des adventices, l'expression plus ou moins dommageable des maladies et des ravageurs. Avec l'apparition de la bouillie bordelaise (1885), on a pu mesurer les conditions et la fréquence pratique des pertes d'efficacité consécutives au lessivage par les pluies des fongicides appliqués sur le feuillage. Les premières stations d'avertissements agricoles ont vu le jour en France dès 1898 pour suivre l'évolution des parasites en regard de la météorologie pour préciser la date des traitements.

Au cours des trente dernières années, la **prise en compte des paramètres climatiques** s'est amplifiée avec la pénétration de l'informatique dans les campagnes. Le temps où l'existence d'un pluviomètre dans la cour de ferme était un indicateur de modernité paraît déjà bien lointain... Aujourd'hui, la qualité de prévision du temps à l'échelle locale et la facilité d'accès à cette information sont telles que bien peu d'agriculteurs arrivent à s'en passer. Au-delà de la sécurité offerte pour organiser les chantiers touchant à la protection des cultures, ces nouveaux moyens ont vu leur intérêt amplifié par leur couplage avec des **outils de modélisation** pilotés depuis la ferme. Pour de grands fléaux cryptogamiques comme la septoriose du blé d'hiver, le mildiou de la vigne ou de la pomme de terre, la **prévision des risques** est maintenant tout-à-fait accessible au niveau de l'agriculteur considéré individuellement. Ce qui représente une opportunité extraordinaire pour optimiser la conduite des cultures, gérer les charges variables de l'exploitation et accéder plus facilement aux systèmes de protection intégrés.

L'accès en continu aux données de l'**hygrométrie** et des **températures** influence dorénavant beaucoup la réalisation des traitements au moyen d'herbicides foliaires. Pour optimiser l'efficacité des spécialités, affiner les doses d'emploi, décider de l'emploi éventuel d'adjuvants, l'agriculteur cherche à cibler pour ses interventions les périodes de la journée où l'hygrométrie de l'air est égale ou supérieure à 50%, où les températures sont en adéquation avec une pénétration foliaire maximum des herbicides. Il cherche également à éviter les conditions atmosphériques extrêmes (hygrométrie très faible, températures trop basses ou trop élevées, grandes amplitudes thermiques jour-nuit) afin d'obtenir une efficacité maximum sans risquer un manque de sélectivité vis-à-vis de la culture.

Une étape importante en cours d'acquisition : l'autonomie croissante des décideurs de terrain grâce aux nouveaux moyens de la **téléphonie mobile** et de l'**électronique embarquée** qui permet la prise en compte des paramètres météorologiques depuis la cabine des tracteurs. Un exemple simpliste : l'anémomètre. Perçu en agriculture comme un gadget voici dix ans, il équipe maintenant la plupart des tracteurs modernes et permet, entre autres, de maîtriser la dérive lors des applications phytosanitaires depuis le poste de pilotage.



## 6°) Les multiples facettes du machinisme

Depuis de grands ancêtres comme le semoir de Tull (vers 1701) ou la charrue sans avant-train de Mathieu de Dombasle (vers 1830), le machinisme n'a cessé d'évoluer. En matière de protection intégrée des cultures, de nombreux outils sont concernés.

En premier chef, les **nouveaux outils de labour** et ceux permettant de s'affranchir de tout travail profond. Ce choix fondamental en matière d'économie et d'environnement influence la fertilité des sols, l'aptitude des terres à la durabilité, oriente les rotations, la réalisation des semis, la gestion de l'interculture... opérations qui, en raison de leur influence sur les bioagresseurs, conditionnent la mise en œuvre de la protection intégrée. La conception du semis, la stratégie de désherbage, la **nature des semoirs** et leur mode d'utilisation (travail simplifié, semis direct) et les équipements nécessaires à la protection précoce des cultures découlent directement de l'option « travail du sol » choisie par l'exploitant. L'utilisation de traitements de semences performants dans les semoirs modernes et leur capacité à localiser les nouveaux microgranulés insecticides dans la raie de semis ont réduit le recours aux traitements insecticides précoces en végétation qui étaient auparavant destinés à éliminer en post-levée précoce les pucerons ou les cicadelles vecteurs de maladies à virus (ex : céréales, colza).



*Composer avec la météorologie, garantir la sécurité des applicateurs, maîtriser la dérive et optimiser la pulvérisation sont devenus plus simples avec les nouveaux matériels d'application dotés d'une électronique embarquée importante. Photo J-L. Bernard.*

Les restrictions sur l'emploi des herbicides ont aussi favorisé le retour des bineuses et relancé la conception de machines permettant d'envisager un **sarclage mécanique**. Nouvelles bineuses inter-rang, houes rotatives ou herse étrille bousculent aujourd'hui les pratiques, influencent la technique du faux semis et toute la gestion du désherbage (voir l'article de Jean Dunglas «*Mécanisation, automation, robotisation*»). On assiste même à la naissance de méthodes (Bibard *et al.* 2007) de désherbage mixte comme le **désherbinage** qui combine en post-levée les avantages respectifs du travail du sol et du désherbage chimique. Plus récentes encore sont des méthodes d'ensemencement qui associent espèces gélives à développement rapide et culture à semis de fin d'été comme le colza, bouleversant le désherbage chimique classique.

L'équipement des pulvérisateurs se transforme également rapidement, intégrant de nouvelles buses à limitation de dérive et les outils GPS qui feront bientôt des traitements sur taches une réalité. En viticulture, les panneaux récupérateurs qui équipent certains pulvérisateurs vigneron augmentent l'efficacité des traitements précoces dirigés contre l'excoriose ou l'oïdium, économisent les fongicides et réduisent la dispersion des substances actives dans l'environnement.

La protection intégrée bénéficie aussi d'outils spécifiques nouveaux permettant de réduire l'importance de l'inoculum cryptogamique ou des formes hivernantes de certains ravageurs ; c'est le cas avec les broyeuses utilisées pour émietter les résidus de cultures céréalières, les ramasseuses de feuilles dans les vergers pour minimiser le risque de tavelure, les extirpateurs de pivots en maïsiculture pour lutter contre les larves hivernantes de pyrale, etc.

Plus globalement, il apparaît que les outils de l'agriculture de précision, encore à l'état d'ébauches au début du siècle, sont en train de pénétrer en force le quotidien des agriculteurs, favorisant la traçabilité des tâches et fournissant de nombreux moyens qui améliorent la transition vers une production intégrée.

### **7° ) Les bénéfices à attendre de la connaissance du génome**

Dans bien des domaines, la révolution silencieuse liée à l'exploitation de la connaissance des mécanismes du vivant nourrit des craintes parfois peu rationnelles. En matière de protection des plantes, cette exploitation remonte pourtant aux origines même de l'agriculture. Depuis près de 10 000 ans, la sélection massale des épis sains à grosses graines, des fruitiers les mieux conformés ou les plus agréables au goût est à la base de l'immense palette des variétés végétales cultivées à ce jour. Mais ce n'est qu'à partir du milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle que la sélection généalogique et l'hybridation ont dynamisé l'amélioration des végétaux. S'il est vrai que des critères de résistance aux maladies, aux ravageurs, une aptitude à la compétition avec les adventices n'ont pas toujours été systématiquement recherchés, on constate néanmoins que ces travaux ont rendu nos blés modernes beaucoup moins sensibles aux maladies que ne le sont les variétés cultivées un siècle auparavant (Doussinault, 1995). Et ce, alors même que les sélectionneurs se montraient capables « *d'une part, d'augmenter la variabilité du blé en ce qui concerne les gènes d'intérêt agronomique et, d'autre part, de maintenir la variabilité neutre à la sélection* » (Doussinault et al. 2001).

La recherche d'une résistance absolue n'est cependant pas toujours souhaitable en raison de la propension des bioagresseurs à contourner les gènes de résistance. Les rouilles des céréales ou la tavelure du pommier en fournissent d'excellents exemples. La Science a dû ici faire preuve de pragmatisme. Démarche couronnée de succès comme en témoigne le développement actuel des nouvelles variétés de pommier tolérantes à la tavelure dont la résistance n'est certes pas totale mais qui permettent de réduire assez largement le nombre des traitements qu'exigeaient auparavant les variétés de pommier classiques.

Une opération de regroupement et d'échange des connaissances sur le génome des céréales est aussi en cours ces dernières années au niveau mondial afin de contrer l'expansion de nouvelles races de rouille noire qui, parties d'Ouganda, menacent actuellement la production asiatique et concerneront dans les années à venir les autres greniers à blé de la planète.

Cependant, les progrès de la génétique permettront d'aller beaucoup plus vite beaucoup plus loin. D'une part, en améliorant la connaissance des **mécanismes intimes de la résistance des végétaux** cultivés aux bioagresseurs, on autorise plus de pertinence dans les croisements, augmentant le potentiel d'innovation de la création variétale classique. D'autre part, les

propriétés élicitrices évoquées précédemment seront plus facilement exploitables. Enfin, le génie génétique permettra l'introduction dans le génome de variétés d'intérêt agricole de caractères choisis de résistance ou de tolérance aux ennemis des cultures. Cela a commencé avec les maïs Bt, toujours objet de polémiques en France, mais gageons que le thème des plantes génétiquement modifiées est bien loin d'être épuisé.

Par ailleurs, en appliquant les connaissances nouvelles, nous vivons déjà un tournant dans la compréhension des **mécanismes de résistance des bioagresseurs** aux moyens de lutte directe, chimique ou biologique, qui leur sont opposés. Le progrès génétique appliqué à cette connaissance est même devenu essentiel pour piloter la création des produits phytopharmaceutiques. Aujourd'hui, on ne raisonne plus guère les stratégies de lutte selon les « familles chimiques » mais selon les sites d'action des substances actives. Dès la création du dossier de dépôt des AMM (autorisations de mise sur le marché), le potentiel innovant et les modalités d'emploi des herbicides, des fongicides ou des insecticides sont ainsi précisés et regroupés au niveau international en suivant les procédures mises au point par les experts réunis au sein du FRAC (Fungicide Resistance Action Committee), de l'HRAC (Herbicide Resistance...) ou de l'IRAC (Insecticide Resistance...).

### **8°) Les retombées multiples d'une découverte : les phéromones sexuelles**

Un exemple concret de ces retombées scientifiques peut être illustré avec la protection des vergers contre un ravageur ancien et toujours redouté : le carpocapse des pommes et des poires.

Avant la seconde guerre mondiale, outre l'emploi d'insecticides arsenicaux, efficaces mais dangereux pour l'utilisateur, on ne préconisait guère aux arboriculteurs, pour lutter contre ce ravageur, que des moyens de lutte très peu performants (pièges alimentaires ou lumineux, ramassage des fruits véreux tombés à terre) ou d'efficacité médiocre (bandes pièges autour des troncs). Entre 1945 et 1980, les insecticides organophosphorés et carbamates ont pris le relais

des arsenicaux, concurrencés par la suite par des pyréthrinoïdes et des régulateurs de croissance d'insectes moins toxiques.

La caractérisation et la synthèse des phéromones sexuelles spécifiques de l'espèce, puis leur mise à disposition des techniciens sous forme de microcapsules ont permis, dans un premier temps, de rendre fiable le **piégeage** des adultes mâles, autorisant un suivi précis des vols et le positionnement optimum des interventions insecticides. Par la suite, une stratégie innovante, la **confusion sexuelle**, a utilisé



*Larve de pyrale attaquant un épi de maïs. Si l'on sait organiser la confusion sexuelle pour combattre ce ravageur redouté, c'est encore dans des conditions non économiques qui lui font préférer l'emploi des trichogrammes. Photo Syngenta.*

plus largement ces phéromones. Il ne s'agit plus alors d'attirer spécifiquement des mâles pour prévoir la date des pontes et des éclosions mais de saturer l'atmosphère avec des signaux olfactifs surabondants qui perturbent la rencontre des sexes, diminuant ainsi les chances d'accouplement, donc l'importance des pontes et des dégâts. Au cours des dernières années, les stratégies faisant appel à la confusion sexuelle ont été adoptées par une proportion croissante d'arboriculteurs pour lutter contre le carpocapse et d'autres ravageurs majeurs des vergers. Elles continuent à progresser grâce à la mise au point de cocktails qui exercent un effet de confusion de manière simultanée sur plusieurs ravageurs.

Demain, il est possible d'envisager des **stratégies nouvelles** qui, par exemple, se passeraient de la pulvérisation des insecticides ou de la diffusion massive des médiateurs chimiques. En plein air, le concept « attract and kill » vise à attirer grâce aux phéromones le ravageur vers des pièges contenant un insecticide, permettant ainsi son élimination spécifique. Contre d'autres ravageurs redoutés dans les milieux clos (serres, locaux de stockage...), on imagine combiner l'emploi des auxiliaires avec le piégeage de masse des ravageurs en associant de manière coordonnée lâchers, pièges colorés englués et phéromones spécifiques.

### Quelques domaines où davantage de Science serait bien utile...

Dans le cadre du Plan Ecophyto 2018, les **mesures indirectes de protection** des cultures, présentées comme alternatives à l'emploi des produits phytosanitaires, font l'objet d'un regain dans le conseil à l'agriculteur. Or, elles sont fort inégalement utilisées et souvent contestées par leurs utilisateurs potentiels. Le principal contre-argument, non sans valeur, est qu'un flou persistant existe en ce qui concerne leur niveau de performance et leur efficacité économique, sachant que leur adoption représente souvent une contrainte, voire un investissement supplémentaire, avec un risque élevé de moindre rendement.

Quelques exemples :

- Un nombre conséquent d'agriculteurs est prêt à envisager une **gestion nouvelle de l'interculture** par la couverture permanente des sols au moyen de semis de cultures intermédiaires, démarche unanimement perçue comme allant dans le sens d'une meilleure durabilité. Mais les avantages potentiels d'une telle orientation ne sont que rarement appuyés par des éléments scientifiques solides... d'où un changement lent des pratiques. Quels sont les risques de pullulation de rongeurs ou de limaces ? Comment évolue l'inoculum d'un parasite important donné selon la nature des couverts envisagés ? Quelles sont les espèces à semer pour réduire les nématodes selon le type de rotation ? Quelle évolution du stock semencier ? etc.

- Dans les régions de viticulture septentrionale, la **pratique de l'effeuillage** tardif tend à réduire l'installation de la pourriture grise. En renforcer la mise en œuvre pourrait réduire le nombre de traitements fongicides. Or, c'est une opération manuelle coûteuse ou elle exige d'investir spécifiquement dans une effeuilleuse... tout en sachant que la technique est très insuffisante en cas de forte pression de maladie. Faute de disposer de données scientifiques pour calibrer les bénéfices d'une telle pratique, son adoption relève donc souvent davantage de l'éthique personnelle de l'exploitant plutôt que de la rationalité économique.

La plupart des mesures indirectes de protection ont en commun d'être des objets d'expérimentation pleins d'aléas. Améliorer la connaissance dans ces domaines nécessite des essais lourds, conduits de façon pluriannuelle avec de nombreuses répétitions pour parvenir à des conclusions rigoureuses. *In fine*, des sujets de publication souvent peu gratifiants pour une carrière de chercheur.



A l'inverse, on connaît des domaines où les données scientifiques qui existent n'ont pas débouché sur des applications pratiques. Depuis leur découverte par Hans Molisch en 1937, les **substances allélopathiques** biosynthétisées par de nombreux végétaux n'ont guère été exploitées en agriculture (on appelle allélopathie tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante, micro-organisme inclus, sur une autre, par le biais de composés biochimiques libérés dans l'environnement ; Rice, 1984). Pour reprendre l'exemple de l'interculture évoqué précédemment, il n'existe pas de conseil concret à l'agriculteur lui permettant d'orienter le choix d'un couvert intermédiaire en fonction des adventices qu'il redoute le plus dans ses terres, des bactéries ou des champignons du sol dont il voudrait minimiser l'incidence sur les récoltes à venir. Cet exemple est caractéristique d'une situation où rapprocher Agriculture et Science pourrait être à l'origine de modifications conséquentes du système de production.

Autre exemple : les méthodes de **lutte biologique au moyen d'auxiliaires visant des ravageurs introduits** ont démontré à de multiples reprises tout leur intérêt, facilitant l'adoption de la lutte intégrée dans les cultures. Or, près d'un siècle après les premiers succès démontrés en métropole, on ne peut guère proposer aux agriculteurs qu'une petite poignée de solutions applicables en plein air contre des **ravageurs indigènes**. L'exemple positif des trichogrammes contre la pyrale du maïs est encore bien isolé. Il n'y a encore rien de tel contre l'eudémis ou la cicadelle de la flavescence de la vigne, le carpocapse des pommes ou les pucerons du pêcher.

Enfin, et pour conclure, on doit pointer des domaines où la Science encore faible n'apporte aucun appui véritable à la protection des cultures. Un des meilleurs exemples nous semble être celui de **répulsifs** qui seraient reconnus efficaces sur les rongeurs, mais surtout sur les oiseaux ou les insectes. Depuis l'élimination de l'antraquinone de la pharmacopée européenne, il n'y a plus de répulsif spécifique pour limiter les dégâts de corvidés sur les semis de céréales ou de maïs. Pour les insectes, hormis les effets répulsifs observés avec certains pyréthrinoïdes de synthèse, cette propriété n'a jamais été revendiquée à l'AMM d'une substance quelconque, faute de recherche dans ce domaine pourtant plein d'intérêt.

## Bibliographie

- BAUDRY O., BOURGERY C., GUYOT G., RIEUX R. (2000). Les haies composites réservoirs d'auxiliaires. Editions du Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 116 p.
- BIBARD V., NICOLIER S., RENOUX J.-P. (2007). Les stratégies de désherbage du maïs. Efficacité et coût des techniques alternatives (mécaniques et mixtes) et chimiques, Phytoma/LDV, n° 603, avril
- COLIGNON P., HASTIR P., GASPARD C., FRANCIS F., (2002). Effets de l'environnement proche sur la biodiversité entomologique en carottes de plein champ. AFPP. 2<sup>ème</sup> Conf. Inter. sur les moyens alternatifs de lutte contre les organismes nuisibles aux végétaux.
- DEBRAS J.-F. (2007). Rôles fonctionnels des haies dans la régulation des ravageurs : le cas du psylle *Cacopsylla pyri* L. dans les vergers du sud-est de la France - Thèse de doctorat - Université d'Avignon.
- DEBRAS J.-F., DUSSAUD A., RIEUX R., DUTOIT, T. (2007). Recherche prospective sur le rôle « source » des haies en production fruitière intégrée. Le cas des perce-oreilles : *Forficula auricularia* L. = *Forficula pubescens* Gené. Comptes rendus de l'Académie des Sciences 330 (9) : 664-673.
- DELOS M., HUGUET B., 2011. Note sur l'évolution du contexte de lutte contre *Diabrotica virgifera* en France et en Europe. Phytoma-LDV, n° 647.

- DOUSSINAULT G. (1995). Cent ans de sélection du blé en France et en Belgique. In « Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? ». Ed. AUPEL-UREF.
- DOUSSINAULT G., PAVOINE M.-T., JAUDEAU B., JAHIER J. (2001). Evolution de la variabilité génétique chez le blé, Dossier de l'environnement de l'INRA, n°21, p 91.
- OERKE E.C., DEHNE H.W., SHÖNBECK F., WEBER A., 1994. Crop production and crop protection. Estimated losses in major food and cash crops. Elsevier, 808 p ; NEVEU A., Nourrir le monde en 2050. Académie d'Agriculture de France.
- RICE E.L. (1984). Allelopathy, Academic Press. 422 p.