



Catherine Regnault-Roger

Produits de Protection des Plantes

Innovation et sécurité
pour une agriculture durable



TEC
& DOC

Lavoisier

Préface

En ce début du XXI^e siècle, l'humanité est plus que jamais confrontée à la menace des organismes nuisibles qui attaquent les cultures, réduisent la production alimentaire ou transmettent des maladies en résurgence ou recrudescence. Les moyens mis en place depuis le XX^e siècle (pesticides de synthèse, lutte biologique, lutte intégrée) ont dû être réévalués face aux contaminations environnementales, aux besoins toujours grandissants d'une population toujours en croissance – surtout dans les pays tropicaux – et aux manifestations hostiles des « écologistes » qui ont plus de critiques que de solutions. N'en déplaise à ces derniers, l'utilisation raisonnée des pesticides apporte des bénéfices suffisamment valables pour satisfaire aux besoins alimentaires et sanitaires de l'espèce humaine.

C'est dans ce contexte qu'il faut apprécier à sa juste valeur l'ouvrage que Catherine Regnault-Roger nous présente ici. Ce document nous fait reprendre conscience du chemin parcouru et des défis qui continuent à confronter toutes celles et ceux qui travaillent à nous donner une agriculture toujours plus performante, dans un contexte de développement durable, ou à trouver les moyens de protéger les récoltes et les populations sans mettre en danger la santé des animaux et des consommateurs, sans compromettre l'intégrité des écosystèmes. Ce que l'auteur nous présente ici est applicable sous tous les climats. Un tel ouvrage en français en fait un outil particulièrement précieux pour les francophones, constamment défavorisés par le peu de publications sur le sujet par rapport à ce qui est disponible en anglais.

Dans le langage clair et avec la rigueur scientifique qui lui sont particuliers, et compte tenu des limites imposées par l'éditeur, la professeur Regnault-Roger décrit les enjeux de la lutte contre les nuisibles, rappelle la place occupée par les molécules de synthèse dans le combat nécessaire pour réduire les dégâts causés par les arthropodes et les organismes pathogènes, ou encore le manque à gagner résultant de la lutte contre les plantes considérées comme des mauvaises herbes. Le lecteur prend également conscience de la place occupée

par les méthodes non chimiques et réalise que celles-ci, aussi souhaitables soient-elles, ne sont qu'un complément dans le contexte d'une agriculture raisonnée et durable.

Cet ouvrage est un excellent outil pédagogique qui aidera les non-initiés autant que les intervenants du monde agricole et les personnes s'intéressant à l'environnement à mieux saisir la complexité de la lutte phytosanitaire dont le succès est avant tout basé sur la connaissance des organismes impliqués et l'approche scientifique qu'elle exige.

Bernard J.R. Philogène

Professeur Émérite

Faculté des Sciences, Université d'Ottawa, Canada

Décembre 2012

Table des matières

Préface	V
Avant-propos	VII

Introduction

Protection des plantes et durabilité : l'impérieuse nécessité	1
1. La protection des plantes : un besoin inhérent à l'agriculture	1
2. Le contexte des trois révolutions agricoles	2
3. Le défi du ^e xxi siècle : une agriculture productive et durable	4

Chapitre 1

La protection des cultures avant 1945 : repères historiques	7
1. De l'empirisme à la rationalisation	9
2. Des techniques rudimentaires à la mécanisation	11
3. Les prémices de méthodes de lutte toujours actuelles	12
4. Les premières mesures réglementaires	14
Conclusion	16

Chapitre 2

Produits de protection des plantes : concepts et définitions	21
1. Pesticides, produits phytopharmaceutiques et biocides	22
1.1. Définition	22
1.2. Catégories de pesticides	25
1.3. Ce qui est déterminant	27
2. Biopesticides ou produits de biocontrôle	27
2.1. Définition	27
2.2. Périmètre de la définition de biopesticides	28

2.2.1. Les biopesticides sont-ils des organismes vivants ou des substances extraites d'organismes vivants ?	28
2.2.2. Un biopesticide peut-il être le résultat d'une synthèse chimique ?	29
2.2.3. Un biopesticide doit-il être non toxique pour sa cible biologique ?	30
2.2.4. Un biopesticide peut-il être une substance synthétisée par une PGM ?	32
2.3. Catégories de biopesticides ou produits de biocontrôle	33
Conclusion	36

Chapitre 3

Pesticides de synthèse à usage agricole	39
1. Insecticides	42
1.1. Insecticides inorganiques	42
1.2. Insecticides organiques de synthèse	43
1.2.1. Insecticides de la première génération	44
1.2.2. Insecticides de la deuxième génération	44
1.2.3. Troisième génération d'insecticides de synthèse.	52
1.3. Situation des insecticides chimiques de nos jours	63
2. Fongicides	64
2.1. Catégories de fongicides	65
2.1.1. Fongicides préventifs ou curatifs	65
2.1.2. Fongicides de contact ou systémiques	65
2.1.3. Fongicides unisites ou multisites	66
2.2. Principales familles de fongicides utilisées	69
2.2.1. Composés minéraux et organométalliques	69
2.2.2. Dithiocarbamates	70
2.2.3. Strobilurines	70
2.2.4. Triazoles	71
2.2.5. Benzimidazoles	73
2.2.6. Autres familles de fongicides	73
2.3. Situation des fongicides de synthèse de nos jours	74
3. Herbicides	75
3.1. Nécessité du désherbage pour la qualité sanitaire et les rendements des récoltes	76
3.2. Développement des herbicides de synthèse	77
3.3. Classification des herbicides	79
3.3.1. Classement des herbicides selon l'incidence physiologique	80
3.3.2. Catégories d'herbicides selon la sélectivité	81
3.3.3. Classification des herbicides selon le site d'action	82
3.4. Exemples d'herbicides utilisés	86
3.4.1. Herbicides racinaires	86

3.4.2. Herbicides racinaires et foliaires : sulfonylurées et imidazolinones	89
3.4.3. Herbicides foliaires	90
3.4.4. Herbicides non sélectifs	91
3.5. Situation des herbicides de synthèse de nos jours	96
4. Le marché des pesticides de synthèse et son évolution	96
4.1. Situation mondiale	97
4.2. Situation en Europe	99
4.3. Situation française	102
4.3.1. Évolution générale	102
4.3.2. Évolution par usage des produits phytopharmaceutiques	105
Conclusion	110

Chapitre 4

Effets non intentionnels et conséquences environnementales : état des lieux et surveillance	113
1. Incidence sur la biosphère	113
1.1. Imprégnation des compartiments de la biosphère	114
1.2. Les milieux, destination finale des pesticides	117
1.2.1. L'eau	117
1.2.2. L'air	130
1.2.3. Le sol	136
1.3. Conclusion sur les effets environnementaux	139
2. Incidence sur la biocénose	141
2.1. Désordres écologiques	141
2.1.1. Rémanence et Convention de Stockholm	141
2.1.2. Rupture des chaînes trophiques	143
2.1.3. Résurgence	148
2.1.4. Résistance	148
2.2. Réflexions sur les écosystèmes	154
2.3. Conclusion sur les effets sur la biocénose	156
3. Risques pour la santé humaine	157
3.1. Toxicité, exposition et évaluation des risques	157
3.1.1. Connaître la toxicité d'un xénobiotique	157
3.1.2. Définir le risque	158
3.1.3. Exposition des agriculteurs et de la population française aux pesticides	161
3.2. Toxicité aiguë	165
3.2.1. Intoxications aiguës dans les pays en développement	165
3.2.2. Intoxications aiguës en France	167
3.3. Toxicité chronique à long terme	169
3.3.1. Études de cohortes pour évaluer le risque cancérogène	171
3.3.2. Risques liés aux perturbateurs endocriniens	175
3.3.3. Risques neurologiques liés aux pesticides	179

3.3.4. Risques alimentaires et réponses réglementaires	182
3.4. Conclusion sur les risques pour la santé humaine	189
Conclusion	190

Chapitre 5

Innovations pour une utilisation durable des produits phytopharmaceutiques	193
1. Regards sur la réglementation européenne : du nettoyage au recadrage	194
1.1. Première phase : la réhomologation	194
1.2. Deuxième phase : le « paquet pesticides »	197
1.2.1. Règlement (CE) n° 1107/2009	197
1.2.2. Directive 2009/128/CE pour une utilisation durable des pesticides	201
1.2.3. Directive 2009/127/CE	202
1.2.4. Règlement (CE) n° 1185/2009	202
2. Dispositions françaises	203
2.1. Socle législatif français	203
2.2. Grenelle de l'environnement et programme Écophyto	205
2.2.1. Lois de Grenelle 1 et 2	205
2.2.2. Programme Écophyto	208
2.2.3. Prospective : Écophyto R&D	210
2.2.4. De nouvelles attitudes	212
3. Outils d'Écophyto	213
3.1. Certiphyto	214
3.2. Bulletins de santé du végétal	217
3.3. Réseau FERME	218
3.3.1. Objectifs	218
3.3.2. Organisation	218
3.4. Contrôle des pulvérisateurs	220
3.5. En résumé	221
4. Perfectionner les approches techniques : actions de l'industrie des produits phytopharmaceutiques	222
4.1. Création de nouvelles matières actives	222
4.2. Bonnes pratiques phytopharmaceutiques	223
4.2.1. Mise au point de formulations moins dispersantes	223
4.2.2. Emballages ergonomiques	224
4.2.3. Perfectionnement du matériel d'épandage	224
4.2.4. Gestion des déchets phytopharmaceutiques	226
4.2.5. Équipements de protection individuelle	230
4.2.6. Des campagnes d'information et de prévention	232
5. Penser autrement l'utilisation des produits phytopharmaceutiques	233
5.1. Agriculture raisonnée	234
5.1.1. FARRE	235

5.1.2. Certification « Agriculture raisonnée »	236
5.1.3. Certification environnementale pour les exploitations agricoles.	237
5.1.4. Réseaux de spécialisation	239
5.2. Protection intégrée.	241
5.2.1. Une démarche européenne obligatoire en 2014.	241
5.2.2. Promouvoir la recherche européenne avec des programmes-cadre	244
5.2.3. Exemple d'un programme européen : le projet ENDURE.	247
Conclusion	252

Chapitre 6

Méthodes alternatives et produits de biocontrôle	255
1. Pratiques agronomiques et agro-écologie.	257
2. Lutte physique	258
3. Lutte biologique	260
3.1. Lutte biologique par arthropode	262
3.1.1. Lutte biologique par prédateur entomophage ou par parasitoïde	262
3.1.2. Lutte biologique par insecte phytophage	264
3.1.3. Lutte biologique inoculative ou inondative et par acclimatation	264
3.1.4. Lutte autocide	267
3.2. Lutte microbiologique	267
3.2.1. Bactéries	267
3.2.2. Baculovirus	269
3.2.3. Champignons	270
4. Lutte sémi-chimique	272
4.1. Composés sémi-chimiques.	272
4.2. Stratégies phéromonales	273
5. Produits botaniques et naturels	277
5.1. Un large spectre d'activité	277
5.2. Intérêt et limites de cette approche	279
6. Stimulation des défenses naturelles des plantes.	281
6.1. Concept	282
6.2. Développement industriel	284
6.3. Limites de la technologie	286
6.4. Éclaircir le contexte réglementaire	287
7. Biotechnologies végétales.	288
7.1. Champ des biotechnologies végétales	289
7.2. Plantes génétiquement modifiées (PGM).	291
7.3. PGM et réglementation européenne	294
7.4. Cultures transgéniques dans le monde et en Europe	302
7.5. Itinéraires techniques et qualité sanitaire des récoltes	304

8. Agriculture biologique	306
9. Marché des produits de biocontrôle	308
9.1. Marché du biocontrôle en chiffres	308
9.2. Facteurs favorables à son développement	311
Conclusion	313
Conclusion	315
Références bibliographiques	321
Liste des sigles et abréviations	337
Index	341

À l'issue de la Seconde Guerre mondiale, les pesticides organiques de synthèse apparaissent comme une véritable panacée. Le DDT s'était illustré en jugulant le typhus qui s'était déclaré dans l'armée des Alliés à Naples en décembre 1943, et plus généralement avait limité le développement des épidémies dues à la prolifération des poux liée aux conditions d'hygiène douteuses qui régnaient dans les camps de rassemblements de populations et les armées en mouvement.

Ces succès orientèrent ainsi d'une manière décisive la lutte phytosanitaire, d'autant plus que l'infrastructure industrielle était là pour répondre à la demande collective de produire et diffuser ces nouveaux produits. Les conditions étaient réunies pour que s'opère la révolution phytosanitaire. Le DDT fut alors employé pour lutter contre les blattes ou les doryphores qui avaient envahi la France en 1917 (*voir* Chapitre 1). Il fut incorporé dans les badigeons pour assainir les murs des étables et des laiteries et ainsi éviter que les mouches ne souillent le matériel et le lait. Les hannetons, qui ont créé tant de soucis aux générations précédentes, furent décimés à l'état larvaire ou adulte par cet insecticide organochloré et un autre composé de la même famille, le lindane (HCH ou isomère gamma du hexacyclohexane) (Figure 3.1). De laborieuse et pénible, la lutte contre les ravageurs, les adventices et les maladies des cultures devint plus aisée.

Les applications du DDT dépassent d'ailleurs la sphère agricole. Il est employé pour lutter contre le paludisme qui ravage les pays tropicaux où pullulent les moustiques anophèles qui transmettent la maladie. Une utilisation massive provoqua une régression significative de cette maladie dans le sous-continent indien [1]. À la suite de ces succès, dans les années qui suivirent la Seconde Guerre mondiale, d'autres produits arrivèrent sur le marché. Ils avaient « mûri » dans les cartons des services de recherche des grands groupes de l'industrie chimique pendant la guerre, puisque la publication des rapports de recherche et des brevets avait été suspendue au cours de cette période. Ainsi, des insecticides comme les carbamates, dont les premières molécules insecticides avaient été mises au point dès 1931 par Du Pont de Nemours (par ex. le thirame), mais aussi des herbicides, des rodenticides, des fongicides ou encore des insecticides comme le dimétan ou le diazinon développés par la société Ciba, apparurent sur le marché dès les années 1950. La gamme des molécules pesticides s'élargit. C'étaient des produits bon marché, faciles à manipuler et efficaces. L'engouement fut total. Dès lors, ces composés furent employés comme la solution aux nombreux problèmes de protection des cultures et de santé publique qui se posaient alors.

Cette utilisation des pesticides organiques de synthèse n'aurait sans doute pas été si intensive et rapide s'il n'y avait eu au même moment d'autres facteurs concourant à leur diffusion. La mécanisation de l'agriculture se poursuit avec une diversification des machines (moissonneuses, faucheuses, herse, pulvérisateurs) qui se perfectionnent. Cette mécanisation s'accompagne d'une

motorisation massive de l'agriculture. Le parc des tracteurs équipe 34 % des exploitations en 1945 et plus de 60 % en 1955. À cela s'ajoute l'aménagement du territoire qui favorise le remembrement agricole. L'augmentation de la taille des parcelles contribue à faciliter l'emploi des produits pesticides. Toutes les conditions sont réunies pour que les pesticides ne soient plus un recours en cas d'attaques de ravageurs ou de survenue de maladie, mais soient utilisés en préventif comme une « assurance tous risques » quand bien même le risque n'est pas avéré.

Les pesticides organiques de synthèse sont arrivés dans les campagnes et les ont conquises. Leur facilité d'emploi et leur efficacité les rendent indispensables pour la protection des cultures et ils deviennent l'un des éléments majeurs de la deuxième Révolution agricole et de l'agriculture d'aujourd'hui.

Pour donner un aperçu de la diversité de ces pesticides, ce chapitre décrit plus précisément les principales catégories de produits phytosanitaires utilisés (insecticides, fongicides et herbicides) et leur évolution technologique et commerciale.

Il existe plusieurs compendiums ou manuels qui recensent de la manière la plus exhaustive possible les molécules pesticides qui ont été ou sont utilisées : le *Pesticide Manual : a World Compendium* de Clive Tomlin, publié par le British Crop Protection Council, [2], et le *Compendium of Pesticide Common Names*, réalisé par Alan Wood et disponible sur Internet [3] (voir Chapitre 2). Au fil des années, ces compendiums se sont enrichis et sont devenus des références mondiales sur lesquelles notamment nous nous appuierons.

1. ■ Insecticides

Les pertes des cultures liées aux arthropodes sont considérables et le fait qu'ils soient très visibles, au contraire des microorganismes vecteurs de maladies, a orienté très tôt la recherche de solutions efficaces et à effet rapide. C'est pourquoi les composés insecticides chimiques ont occupé d'emblée une place de choix dans la panoplie de la lutte contre les insectes. La mise sur le marché de plusieurs familles chimiques d'insecticides organiques de synthèse a considérablement changé l'agriculture. Avec leur utilisation, une nouvelle phase dans la lutte contre les insectes s'est ouverte.

1.1. Insecticides inorganiques

Si les insecticides chimiques minéraux (inorganiques), qui se rencontrent dans la nature, ont été utilisés très tôt (voir Chapitre 1), ils ont été vite délaissés au profit des insecticides de synthèse qui présentaient l'avantage d'être plus effi-

caces avec des quantités moindres, par conséquent des manipulations plus aisées et beaucoup moins d'effets secondaires immédiats. C'est pourquoi les composés inorganiques relèvent, dans leur grande majorité, d'un usage ancien, soit parce qu'ils sont tombés en désuétude, soit parce qu'ils ont été interdits d'emploi en raison de leurs effets non intentionnels. Ils n'occupent plus aujourd'hui qu'une place très marginale dans l'éventail des insecticides. Ils représentent moins de 4 % des molécules insecticides répertoriées par Wood, c'est-à-dire une vingtaine de composés sur un total de plus de 500. Les composés les plus représentatifs de cette catégorie d'insecticides sont des dérivés arsénicaux et fluorés : par exemple l'acéto-arsénite de cuivre appelé aussi « vert de Paris » ($C_4H_6As_6Cu_4O_{16}$) ou encore l'arséniate de plomb ($PbHAsO_4$), le fluorure de sodium NaF ou le fluosilicate de sodium Na_2SiF_6 .

1.2. Insecticides organiques de synthèse

Les insecticides organiques de synthèse sont des molécules carbonées issues de la synthèse chimique (composés synthétiques ou hémi-synthétiques). On en dénombre environ 550, en général classées par familles chimiques, ou par modes d'action ou de pénétration dans l'organisme, et également par génération (celle que nous adopterons). En effet, si dans les années 1950-60 les insecticides étaient déclinés en grandes familles chimiques assez homogènes, dès les années 1970-80 une diversification des molécules s'opéra afin d'apporter une réponse aux problèmes environnementaux que l'emploi des premiers insecticides chimiques suscitèrent. Compte tenu de cette hétérogénéité, il devient aussi simple de classer les insecticides chimiques de synthèse par génération. On peut ainsi distinguer trois générations d'insecticides qui correspondent à des époques de leur mise en marché mais aussi à des modes d'action différents de plus en plus ciblés (Figure 3.2). Si on choisit de classer les insecticides selon leur mode de pénétration dans l'animal, on distinguera les insecticides agissant par contact, par inhalation ou par ingestion (Tableau 3.1).

Tableau 3.1. Modes de pénétration d'un insecticide chez l'insecte.

Toxicité	Mode de pénétration
Par contact	L'insecticide (ou son résidu) pénètre à travers la cuticule pour atteindre les tissus internes de l'insecte
Par inhalation (fumigation)	L'insecticide est sous forme de vapeur et pénètre par les voies respiratoires
Par voie orale (ingestion)	L'insecticide est ingéré. La toxicité provient de l'insecticide directement ou indirectement de son résidu après transformation par la flore digestive de l'insecte ; la molécule initiale est alors considérée comme protoxique

3.1. Nécessité du désherbage pour la qualité sanitaire et les rendements des récoltes

En effet, les adventices, ou mauvaises herbes, perturbent la culture de l'espèce choisie. Une adventice (étymologiquement du latin *adventium* : supplémentaire) est dans sa définition botanique une nouvelle espèce qui survient brusquement et spontanément dans la flore d'une région à laquelle elle était initialement étrangère. Elle est la plupart du temps jugée comme indésirable quand elle contrarie les activités humaines. De là l'amalgame qui est fait en agriculture avec le terme de mauvaise herbe, qui porte en soi un jugement de valeur négatif. En effet, si une herbe est jugée mauvaise, c'est qu'elle pousse à un endroit où elle n'est pas souhaitée :

- ce peut être des plantes spontanées, endémiques ou exotiques. Ces dernières se sont installées récemment et colonisent un milieu ; certaines d'entre elles peuvent être invasives. Existantes dans le milieu, elles peuplent les parcelles dévolues à l'agriculture ;
- mais ce peut être aussi, dans ces parcelles cultivées, des repousses de la culture précédente, et par conséquent non désirées dans la rotation.

Quoi qu'il en soit, elles concurrencent les plantes cultivées. Dans la plupart des cas, elles sont plus vigoureuses et plus rustiques que les végétaux cultivés, et elles sont en compétition dans le champ pour la recherche de la lumière, de l'eau et des aliments nutritifs. La présence d'adventices occasionne ainsi des baisses de rendements importantes. Par exemple, une parcelle qui héberge 1,8 pied de gaillet (*Galium* spp.) ou 5,8 pieds de folle avoine (*Avena fatua*), deux adventices rangées dans les nuisibles de 1^{re} classe, ou bien 22 pieds de coquelicot (*Papaver rhoeas*), adventice de la 2^e classe de nuisibilité, présente un rendement diminué de 5 % de la céréale cultivée [26].

Par ailleurs, certaines de ces adventices suscitent une vive inquiétude pour la santé. Ainsi l'ambrosie à feuille d'armoïse (*Ambrosia artemisiifolia*), originaire d'Amérique du Nord, est devenue, à la faveur des grands travaux d'aménagement du territoire (réalisés depuis les années 1950) en France, une plante envahissante dans les zones où le climat lui est favorable. Dès 2004, une enquête AFPP-INRA soulignait qu'elle constituait une véritable préoccupation pour les agriculteurs. Cependant aujourd'hui, elle est d'abord perçue comme un danger de santé publique (84 %), plus qu'un problème environnemental (63 %) ou agricole (41 %) [27]. En effet, elle est devenue un risque majeur en raison des allergies qu'elle provoque : il suffit de 5 grains de pollen par mètre cube d'air pour que les symptômes apparaissent alors que 6 à 12 % de la population est sensible à l'ambrosie. Chaque année, la production globale de pollen de cette plante progresse (+ 20 % en 2011 par rapport en 2010). La région du Rhône, autour de Lyon, et le Nivernais sont des zones particulièrement touchées par la présence de l'ambrosie. Un observatoire de l'ambrosie a été créé en juin 2011. Il édite une lettre mensuelle. Un site Internet est aujourd'hui dédié à la lutte contre ce

fléau (www.ambroisie.info). En France, un comité parlementaire s'est d'ailleurs mobilisé et un projet de loi a été déposé à l'Assemblée nationale en février 2012 à l'initiative de 37 députés afin de prendre des mesures à la hauteur du problème. Ce phénomène touche également d'autres pays européens et le Canada : 15 sont actuellement concernés par l'ambroisie et trois colloques internationaux en France, Espagne et Serbie ont eu lieu en 2012 sur ce sujet [27].

À un autre niveau, et de manière plus ponctuelle, des intoxications alimentaires liées à la consommation de crêpes et de galettes, produits de l'agriculture biologique, ont été signalées fin 2012 dans la région Rhône-Alpes de la France et en Bretagne [29]. Il s'agissait de contamination de la récolte du sarrasin par du datura (*Datura* spp.), mauvaise herbe toxique et hallucinogène de la famille des Solanacées que les agriculteurs n'avaient pas identifiée dans leurs champs.

Ces deux exemples démontrent toute l'actualité et l'importance qu'il y a à désherber efficacement les sols et les parcelles. Pendant longtemps, des moyens mécaniques ont été mis en œuvre pour lutter contre les adventices. Ils consistaient à arracher ces mauvaises herbes manuellement ou avec un outillage adapté. Mais l'avènement des pesticides chimiques a rendu leur élimination plus facile.

3.2. Développement des herbicides de synthèse

La découverte des propriétés herbicides de certaines substances chimiques accompagne l'apparition des produits phytosanitaires déjà utilisés comme insecticide ou fongicide. En effet, les premières substances actives se sont révélées à la fois fongicides et herbicides, comme le sulfate de cuivre employé dans la Bouillie bordelaise en 1885 et utilisé contre les adventices en 1896 [28], ou bien herbicides et insecticides comme le DNOC (dinitro-orthocrésol) qui appartient à la première génération des insecticides (*voir* section 1.2.1). Ce composé fera l'objet ainsi d'un brevet déposé par Truffaut et Pastac en 1933 pour lutter contre les dicotylédones des céréales.

Toutefois, l'essor véritable des herbicides de synthèse se situe à partir des années 1950-1960 avec la découverte de nouvelles molécules herbicides impliquant des auxines synthétiques (par ex. le 2,4-D) (Figure 3.9). Ces molécules à caractère hormonal exercent, à une certaine dose, des effets dans la régulation de croissance des plantes, et également des activités herbicides à une dose plus élevée. Ces nouveaux herbicides, majoritairement à pénétration foliaire, visaient surtout les dicotylédones. Puis des produits à spectre plus large ont été mis au point.

Depuis plus de cinquante ans, l'usage des herbicides s'est généralisé partout dans le monde et cette catégorie de pesticides représente aujourd'hui près de la moitié des volumes de pesticides utilisés (*voir* section 4.1). En simplifiant et en homogénéisant les pratiques agricoles, cette innovation technique agricole a

Ce bilan très complet des intoxications aiguës imputables aux pesticides dresse un tableau sans appel sur des comportements négligents concernant l'entretien du matériel de pulvérisation, ou le fait de porter ses vêtements de travail à table, ou encore le refus de porter des combinaisons de protection et aussi de mettre des gants et des lunettes *a minima*. Les pesticides épandus ne sont pas des produits anodins et la vigilance reste de mise.

3.3. Toxicité chronique à long terme

Les effets chroniques des pesticides sur la santé relèvent d'expositions de faible intensité mais répétées dans le temps : il s'agit d'un phénomène insidieux. Souvent après un délai long au cours duquel rien n'a été observé, des symptômes, en général diffus dans un premier temps, se manifestent, puis des signes cliniques peuvent apparaître. Si des pathologies précises ont pu être reliées à des empoisonnements liés à des risques chimiques de pollution atmosphérique caractérisée (par ex. dioxines, HAP, PCB, furannes), aucune estimation pour les pesticides n'a été encore faite. À cela, deux causes soulignent la complexité de la démarche :

- il existe une grande palette de troubles hétérogènes dans lesquels les pesticides pourraient être impliqués (cancer, troubles de la reproduction, atteintes des systèmes endocrinien et nerveux) et qui peuvent résulter de l'action de plusieurs substances chimiques ou biologiques ou encore de facteurs abiotiques ;
- ces troubles ont une étiologie mal identifiée, de plus les circonstances d'une éventuelle exposition sont mal établies, soulevant ainsi de nombreuses incertitudes au moment d'en évaluer les risques [43].

Les effets de la toxicité chronique peuvent être mis en évidence par des études de laboratoire qui ne durent pas moins de 90 jours. Le but de ces études est d'examiner, quand un animal est exposé à un toxique : 1) les fonctions et les organes atteints ; 2) le temps d'apparition des effets toxiques ; 3) la réversibilité des effets quand c'est possible. Les animaux sont ainsi soumis à :

- des examens cliniques, physiologiques et biochimiques (glycémie, activité enzymatique) ;
- des études de comportement ;
- des tests sur la fertilité et la viabilité des nouveau-nés ;
- la mise en évidence d'un effet tératogène, ainsi que d'un pouvoir allergisant ou sensibilisant ;
- des tests de mutagénicité et de cancérogénicité.

Ces études sont très consommatrices d'animaux (plusieurs centaines) et représentent des expérimentations très lourdes à mettre en œuvre (et très chères). En raison de la souffrance animale, l'OCDE, suivie en cela par la réglementation européenne et les recommandations de l'ANSES en France, a édicté

des règles visant à limiter au maximum les expérimentations sur l'animal lorsque des méthodes alternatives (par ex. *in vitro*) peuvent être pratiquées.

Ces différentes études permettent d'établir un classement de l'évaluation des risques des substances actives testées sur le long terme. Ainsi, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC ; en anglais International Agency for Research on Cancer, IARC) a évalué et classé une soixantaine de pesticides. L'arsenic, largement utilisé sous forme d'arsénite de sodium jusqu'au début des années 2000, est classé cancérigène certain pour l'Homme (groupe 1) ; le captafol, fongicide appliqué en viticulture et en verger jusqu'à son interdiction en 1996, et le dibromure d'éthylène, utilisé comme nématicide et interdit dès la fin des années 1980, sont classés comme cancérigènes probables (groupe 2A). Dix-neuf molécules sont classées comme cancérigènes possibles (groupe 2B), parmi lesquelles plusieurs organochlorés, la plupart aujourd'hui interdits (chlordane, chlordécone, chlorothalonil, DDT, 1,2-dibromo-3-chloropropane, paradichlorobenzène, dichlorvos, heptachlore, hexachlorobenzène, mirex, nitrofène et toxaphène) ainsi que la famille chimique des hexachlorocyclohexanes (lindane et isomères).

De manière générale, les résultats obtenus permettent d'informer le consommateur, d'afficher des pictogrammes sur les étiquettes selon la classification SGH/CLP (système général harmonisé recommandé par l'ONU et le Règlement européen 1272/2008 *Classification, Labelling, Packaging*) (Figure 4.6), et de rédiger des fiches techniques afin de prévenir l'utilisateur des risques encourus.



Figure 4.6. Pictogrammes SGH/CLP à apposer sur les étiquettes des emballages de pesticides en fonction des dangers encourus.

hebdomadaire ou bimensuel. Les BSV sont diffusés gratuitement par courriel et sont affichés sur chaque site Internet des DRAAF et des Chambres d'agriculture.

3.3. Réseau FERME

Une autre initiative originale a été mise en place dans le cadre du plan Écophyto : la constitution d'un réseau de fermes expérimentales. Ce réseau s'inscrit dans le cadre « d'un réseau d'acquisition de références, de démonstration et d'expérimentation de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires » qui est considéré comme « une action majeure du plan Écophyto » [14]. Au sein de ce réseau, appelé DEPHY Écophyto (pour Démonstration Expérimentation Production de références sur les systèmes économes en pHYto-sanitaires), le réseau FERME est un « dispositif de production de référence et de démonstration » composé de groupes d'exploitations.

3.3.1. Objectifs

Ce réseau vise à favoriser le transfert de systèmes et de techniques économes en produits phytosanitaires, à travers une démarche qui a pour objet de construire des référentiels de performance à partir d'expérimentations sur le terrain. De nouvelles méthodes s'accompagnant de la réduction de l'emploi de produits phytosanitaires sont ainsi testées afin d'évaluer leur faisabilité dans des situations diverses : choix de cultures, itinéraires techniques, adaptation de systèmes culturaux, etc. En améliorant les connaissances, de nouvelles références sont susceptibles de se dégager.

Ce réseau n'a pas pour but d'étudier l'impact de l'utilisation des pesticides sur l'environnement mais doit « jouer un rôle de démonstration, de formation et d'information », afin « de démontrer à d'autres exploitants agricoles les possibilités ouvertes par ces systèmes de culture et de témoigner de leurs performances obtenues sur les plans technique, environnemental, économique et social » [14].

Centré à son démarrage sur plusieurs filières (grandes cultures, polyculture-élevage, viticulture, arboriculture et productions légumières, plantes aromatiques, médicinales et à parfum), il a pour vocation d'être aussi un dispositif d'accompagnement individuel ou collectif destiné à valoriser l'expertise résultant des innovations qui ont été produites.

3.3.2. Organisation

Démarré en 2010, ce réseau comprend près de 200 fermes de démonstration, réunies en 18 « groupes de fermes » présents dans plusieurs départements de la France métropolitaine (Figure 5.1).

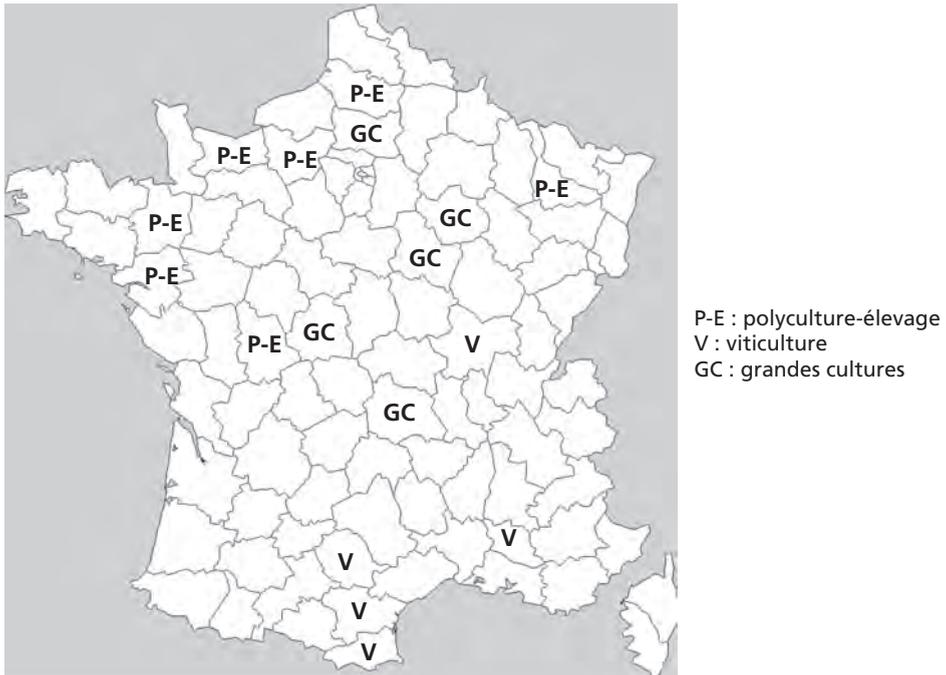


Figure 5.1. Systèmes de culture et départements de la France métropolitaine impliqués dans le Réseau FERME (d'après <http://agriculture.gouv.fr/ECOPHYTO-2018-rejoignez-le-reseau> [en ligne le 12/09/13]).

Son comité de pilotage, présidé par le ministère de l'Agriculture, est très large, puisque y siègent des représentants de l'administration de deux ministères (Écologie-Environnement et Agriculture), d'organismes de la profession (par ex. ACTA, APCA), de la recherche (INRA), l'Agence de l'eau (ONEMA) et même des fédérations engagées (Fédération nationale des CIVAM, FNE). L'intégration de l'INRA dans ce dispositif constitue un appui scientifique et technique, et souligne l'importance que doit prendre la recherche dans les expérimentations à conduire et la constitution des bases de données.

Une des originalités de ce réseau est sans doute son organisation sociale. Il existe en effet d'une part des « ingénieurs-réseau » et d'autre part des agriculteurs, qui vont s'associer dans une réflexion et des projets communs. Les ingénieurs-réseau sont le plus souvent détachés d'autres organismes (au moins à mi-temps) et leur rôle est de suivre les dispositifs en régions. Des ingénieurs régionaux assurent, quant à eux, la coordination régionale des initiatives locales et relèvent les besoins des filières et les possibilités de réduction de traitements pesticides.

L'agriculteur qui adhère au réseau FERME le fait sur la base du volontariat. S'appuyant sur l'ingénieur-réseau, il établit le projet de réaliser un système

de culture économe en produits phytosanitaires sur une échéance à trois ans. Pour réaliser ce projet, il agit en partenariat avec l'ingénieur-réseau, auquel il a communiqué les informations techniques et comptables de l'exploitation. Cet effort n'est pas fait en solitaire : l'animateur de l'équipe régionale provoque des réunions avec des exploitants agricoles engagés dans la démarche par filière pour une discussion collective de leurs résultats. Il peut être aussi demandé à l'agriculteur de participer à des opérations de communication et de démonstration (par ex. opérations « portes ouvertes ») ainsi qu'à des réunions locales ouvertes.

En matière d'outils d'évaluation et de facteurs de comparaison, un indicateur est particulièrement utilisé par le réseau FERME pour vérifier s'il y a eu réduction de l'emploi des pesticides : l'IFT (indice de fréquence de traitement). Il s'exprime en nombre de doses homologuées par hectare appliquées sur la parcelle pendant une saison de culture. Cet indicateur, relié aux traitements effectués, permet ainsi d'évaluer ce qui est communément appelée la « pression phytosanitaire » exercée sur chaque parcelle. Il ne prend pas en compte le traitement préalable des semences (enrobage) ou les traitements en post-récolte. Il est demandé à l'agriculteur postulant au réseau FERME d'indiquer, dans son dossier de candidature, les IFT des cultures de son exploitation et l'IFT régional de référence, s'il existe. La connaissance de ces indicateurs doit permettre de positionner les objectifs à atteindre pour l'exploitation. Si l'IFT de départ de l'exploitation est élevé, la baisse attendue à l'échéance des trois ans sera d'autant plus importante. L'objectif est de parvenir à un niveau d'IFT au plus égal à 70 % de l'IFT de référence, en prenant en compte les variations des pressions parasitaires annuelles. Mais il importe que les objectifs fixés soient réalistes par rapport aux possibilités de l'existant.

Grâce aux échanges qu'il génère, le réseau FERME développe ainsi une dynamique visant à créer des groupes motivés d'agriculteurs qui s'encouragent entre eux, et qui progressent d'autant plus dans leur démarche qu'ils sont accompagnés par des ingénieurs-réseau qui les appuient techniquement et scientifiquement. À travers cette démarche et cette association originale, le métier d'agriculteur évolue puisque de praticien, il devient en quelque sorte chercheur et explorateur de nouvelles solutions pour une agriculture durable.

3.4. Contrôle des pulvérisateurs

Depuis des décennies, les pulvérisateurs font l'objet d'améliorations destinées à optimiser la distribution du produit et à diminuer la dispersion des pesticides à l'épandage. À côté de cette démarche de la profession (*voir* section 4.2.3), les pouvoirs publics ont engagé une politique de surveillance du bon état et du bon fonctionnement des pulvérisateurs. Aujourd'hui, les pulvérisateurs français (environ 40 000) sont l'objet de sévères contrôles. En effet, des contrôles périodiques et obligatoires des pulvérisateurs ont été instaurés par la

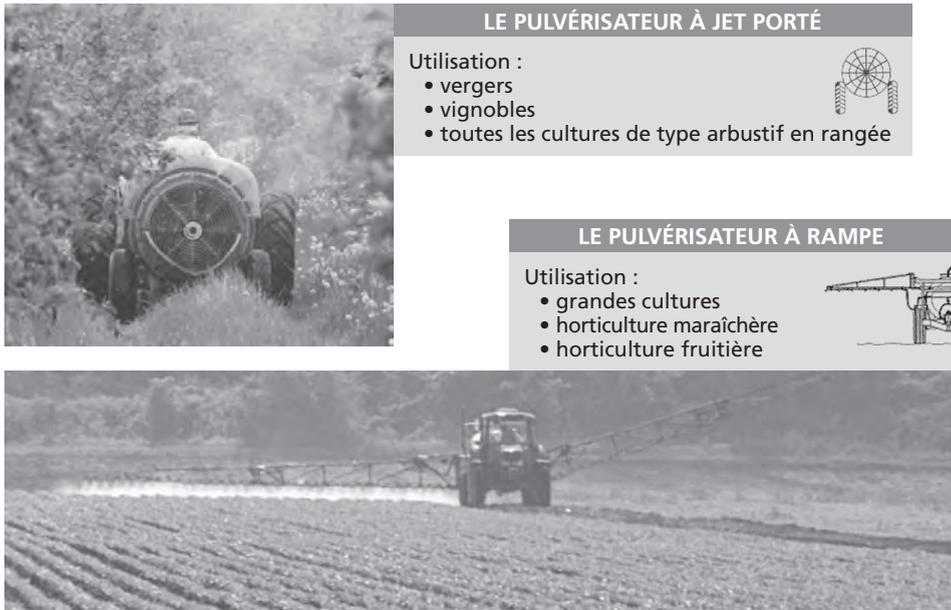


Figure 5.2. Deux types de pulvérisations tractées (Photos : Marlène Piché [17] ; reproduit avec l'aimable autorisation du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec).

L'amélioration des buses joue un rôle important dans la réduction de la dérive. L'orientation des buses et leurs réglages conditionnent la finesse de la pulvérisation, en calibrant la taille des gouttelettes et le débit à la buse, ce qui permet d'appliquer la bonne dose de pesticides. Le changement de buses permet de réduire de 50 à 85 % des dérives sur les pulvérisateurs à jet porté ou à rampe. Des écrans et des cônes antidérive sur les pulvérisateurs à rampe sont des petits équipements additionnels qui contribuent aussi à améliorer la dérive. Les matériaux traditionnels que sont le bois et le métal ont été remplacés depuis longtemps par des résines de polyesters dans les outils agricoles. L'utilisation de ces matières plastiques dans les pièces accessoires (tubulures, écrous) ou dans les carters ou déflecteurs favorisent l'utilisation des solutions liquides de pesticides à la place des poudres, et augmentent ainsi la précision de l'épandage. Il existe à présent des systèmes de mesure permettant de vérifier régulièrement l'état des buses.

Le salon du SIMA (Salon des fournisseurs de l'agriculture et de l'élevage) en 2011 a été l'occasion de présenter des équipements innovants dans lesquels des systèmes électroniques embarqués gèrent les paramètres d'épandage. La répartition de la pulvérisation s'effectue en fonction de la vitesse d'avancement (modèles *DigE-Check-Sprayer*[®] d'Agrotop et *Opti Spray*[®] de Hardy-Evrad). Un nouveau système à haute technicité, appelé ILS[®] (*Intelligent Localized Spray*), a été conçu pour être embarqué sur les pulvérisateurs à rampe destinés au désherbage foliaire. Couplé avec un GPS, il se compose : 1) d'une caméra montée sur



Figure 5.3. Le dispositif ILS[®] développé par la société Tecnomia en collaboration avec AgroSup Dijon. Innovation récompensée par la médaille d'argent du SIMA 2011 (photo Tecnomia reproduite avec aimable autorisation).

le tracteur qui filme la présence des adventices ; 2) d'un logiciel qui analyse ces mauvaises herbes ; 3) d'un dispositif qui déclenche la pulvérisation par tronçon de rampe à l'endroit précis où sont ces adventices. Il peut en effet les différencier de la culture s'il intervient en post-levée. Le système ILS[®], développé par la société Tecnomia en partenariat avec l'INRA de Dijon, a reçu la médaille d'argent de la *SIMA Innovation Awards*, qui récompense les meilleures innovations (Figure 5.3). Les systèmes électroniques embarqués sont également présents sur d'autres modèles comme l'épandeur antilimaces Spando TDS[®] de De Sangosse, mis au point avec l'aide du CEMAGREF [19].

De manière générale, on constate que l'introduction de l'électronique constitue un outil important pour l'agriculteur. L'informant en temps réel sur la météo et les tâches en cours, il lui permet de prendre les décisions les mieux adaptées pour optimiser la culture en réduisant les apports de pesticides.

D'autres innovations du SIMA 2011 ont porté sur la mise au point de micro-granulateurs qui distribuent les semis en même temps que des granulés insecticides ou qui améliorent l'épandage des granulés, limitant les phénomènes de casse des granulés.

4.2.4. Gestion des déchets phytopharmaceutiques

4.2.4.1. Réseau ADIVALOR

Un autre point est apparu essentiel pour réduire les pollutions que peuvent générer les manipulations des produits phytosanitaires sur les exploitations agricoles : la gestion des déchets liés à leur emploi (emballages vides, films agricoles usagés) et celle des effluents phytosanitaires.

Le réseau ADIVALOR a été créé en 2001, de manière volontaire, à l'initiative de l'UIPP. En partenariat avec les acteurs de la filière agricole (coopératives, négociants, exploitants), le réseau ADIVALOR collecte les déchets phytopharmaceutiques : les produits phytosanitaires non utilisables (PPNU), les emballages vides et les films agricoles. Les déchets des agriculteurs, des professionnels des espaces verts ou des collectivités sont ainsi éliminés ou recyclés dans des conditions optimales pour minimiser leur impact environnemental. Par exemple, les emballages usagés sont broyés pour être utilisés comme combustibles de substitution dans des fours de cimenteries.

En 2011, le réseau a fêté son dixième anniversaire et, à cette occasion, a dressé un bilan de son activité. Ce sont 77 % des emballages vides qui ont été collectés, soit 4 365 tonnes. Ce chiffre est en croissance régulière : 10 000 tonnes de PPNU ont été éliminées. Ces PPNU représentent des produits obsolètes, et actuellement il y en aurait moins de 10 % sur les exploitations. Le déstockage massif a eu lieu entre 2001 et 2007. Depuis, les quantités collectées sont minimales, de l'ordre de 100 tonnes les quatre dernières années.

En 2007, une nouvelle collecte, celles des *big bags*, a commencé à l'initiative de l'Union des industries de la fertilisation (UNIFA), des fabricants, conditionneurs, importateurs et distributeurs. Elle est gérée par ADIVALOR : 60 % des sacs sont à présent ramassés et la matière plastique régénérée est utilisée comme matière première pour la fabrication d'éléments de construction dans le bâtiment. Le Groupement national interprofessionnel des semences (GNIS), pour ses sections Céréales et Protéagineux, Lin Chanvre et Plants de Pomme de terre, s'est joint au mouvement en 2009. L'Association pour la récupération et le recyclage des emballages de semences (ARES) a été créée, et a signé une convention avec ADIVALOR : 54 % des emballages de semences et plants (en *big bags*) ont été récoltés et recyclés.

Débutée également en 2009, la collecte des *films agricoles* usagés (64 000 tonnes/an) a passé le cap de la moitié (exactement 53 %) lors de la troisième campagne (2010-2011). Il est remarquable de constater que ces films agricoles usagés sont recyclés à 99 % pour fabriquer d'autres films plastiques utilisés dans un grand nombre d'applications : sacs-poubelle, bâches de couverture, etc. La Commission Agriculture Plastique et Environnement (APE) qui préside cette collecte pour le compte du Comité des plastiques en agriculture, regroupe les leaders européens des films plastiques agricoles. En France, c'est presque la totalité de la filière (95 % des films plastiques agricoles mis sur le marché) qui adhère à cette démarche.

Ces résultats, obtenus sur dix ans ou moins selon les produits, traduisent un véritable succès d'une démarche industrielle responsable et citoyenne qui élimine les déchets phytosanitaires pour les transformer en produits recyclés. C'est une position pionnière qui amorce un cercle vertueux sur la question du recyclage des déchets des exploitations agricoles et concourt au développement d'une agriculture durable.

tions et la recherche. » Recueillant des données expérimentales et de terrain, ce portail se veut évolutif comme doit l'être la démarche de la protection intégrée. Il présentera ces informations à un double niveau : une plateforme transversale qui développe les généralités et les définitions, et six plateformes consacrées aux filières [27].

La protection intégrée des cultures vise donc à prévenir les attaques des bio-agresseurs par des méthodes alternatives non chimiques mobilisant les connaissances agronomiques et la création de zones de compensation écologique, et en cas d'échec de ces approches l'utilisation préférentielle de produits de biocontrôle, puis en dernier recours les produits phytopharmaceutiques de synthèse dont le choix sera guidé pour qu'ils aient le moins d'effets secondaires vis-à-vis des organismes non cibles et les compartiments de la biosphère.

Cette approche nécessite donc de bien connaître le fonctionnement des organismes en présence, le végétal attaqué mais aussi ses bio-agresseurs afin d'intervenir avec discernement pour les contrôler efficacement sans mettre en péril pour autant l'agro-écosystème. Ces connaissances se sont améliorées au cours des vingt-cinq dernières années par des recherches qui ont fortement progressé dans le monde entier.

En Europe, des programmes ont été et sont financés par la Communauté européenne dans le cadre de programmes-cadre pour la recherche et le développement technologique. L'un des plus emblématiques est le réseau d'excellence ENDURE (2007-2010), dédié au développement de la protection intégrée. Ce programme, de par ses objectifs et son mode fonctionnement, est typique du redéploiement de la recherche que l'Union européenne promeut depuis ces trente dernières années, et nous le prendrons en exemple.

5.2.2. *Promouvoir la recherche européenne avec des programmes-cadre*

Dans le processus de construction de l'Union européenne, le traité d'Amsterdam signé en 1997, et entré en vigueur en 1999, renforce l'intégration européenne en modifiant les dispositions du traité historique de Rome (acte fondateur de la Communauté économique européenne, CEE, en 1957) et du traité de Maastricht (signé en 1991 et entré en vigueur en 1993, fondant l'Union européenne, UE). C'est dans le traité d'Amsterdam qu'apparaît, pour la première fois, l'expression de développement durable. Il réaffirme dans son article 169 ce principe figurant déjà dans le traité de Maastricht de promouvoir des programmes de recherche et de développement en créant des structures adaptées à leur exécution. En outre, il lui donne toute son ampleur en soulignant que la recherche et le développement technologique sont des éléments essentiels dans le fonctionnement des pays développés que sont les États membres de l'Union européenne. L'objectif est de promouvoir le bien-être individuel et collectif des citoyens à travers le dévelop-

pement de la connaissance et les applications qui en résultent en matière d'avancées technologiques ou de protection de l'environnement.

En préliminaire à ces traités fondateurs de la démarche européenne, et percevant que les défis sont à la hauteur des enjeux, le Conseil européen a, dès 1983, adopté une résolution pour instituer des programmes-cadre de recherche et de développement (PCRD) ou programmes-cadre (en abrégé FP : *framework programme*). Il constate en effet que les efforts isolés des laboratoires de recherche ou des entreprises des États membres ne sont pas adaptés et qu'une nouvelle organisation de la recherche et du développement technologique (RDT) doit être mise en place pour susciter des coopérations à différents niveaux en mettant en réseau les équipes de recherche à travers la programmation de PCRD. Ces PCRD ont pour mission de présenter « les objectifs scientifiques et techniques à réaliser au niveau des communautés ainsi que les critères de sélection pour les actions communautaires, les priorités relatives et les indications financières » (article 2 de la résolution du Conseil du 25 juillet 1983). Le but est d'accroître les échanges au niveau européen, la circulation des idées, la mobilité des individus et la mise en commun des savoir-faire. Ces PCRD résultent d'une exigence de produire des avancées de la recherche moderne à la hauteur de la mondialisation. Ce processus de mondialisation requiert en effet d'élever le niveau d'une RDT de plus en plus complexe et interdisciplinaire, de plus en plus coûteuse, ce qui n'est réalisable que si une « masse critique » suffisante est atteinte. Telle est la philosophie des PCRD.

Les chercheurs ont compris le message. À partir d'un thème de recherche proposé dans leur domaine de compétence, ils prospectent autour d'eux les structures dans d'autres pays européens qui seraient susceptibles de devenir des partenaires : ce peut être uniquement des laboratoires de recherche universitaires ou d'instituts publics ; mais, dans certains cas, des industriels (en particulier des PME) sont impliqués pour donner une finalité appliquée à la recherche. De grands consortiums se créent à l'occasion des appels d'offres et de l'octroi de ces financements européens qui sont considérables pour les structures concernées. Ils sont à l'échelle de l'Union européenne et de son ambition pour développer ce secteur. L'ampleur des consortiums est telle qu'il est généralement nécessaire de créer des services propres à leur gestion afin de coordonner la complexité résultant de l'hétérogénéité des différents partenaires européens, d'harmoniser les différentes étapes du programme de recherche validé, de gérer les réunions intermédiaires de restitution de l'avancée des travaux, etc. Ce cadre de recherche n'autorise que très rarement la spontanéité dans le travail, et la créativité du chercheur y est très encadrée.

Bien que l'Union européenne réaffirme régulièrement l'idée de son attachement à s'exprimer dans les langues de chaque État membre (et la disponibilité des textes législatifs en fait foi), force est de constater qu'en matière de recherche et de PCRD, il existe une marginalisation des langues nationales non anglo-saxonnes tant il est nécessaire de pouvoir communiquer ensemble. L'anglais s'est imposé comme la langue internationale, non seulement sur le plan scientifique mais aussi des échanges européens courants.

Méthodes alternatives et produits de biocontrôle

Les méthodes alternatives sont nommées ainsi car elles s'inscrivent en recours alternatif pour le contrôle des ennemis des plantes sans employer de pesticides organiques de synthèse et, par conséquent, en diminuant l'emploi global. Elles sont en réalité très diverses dans leurs approches : certaines s'inscrivent dans la prévention des dommages causés par les bio-agresseurs tandis que les autres sont des méthodes curatives. Elles ont pour but de diminuer la pression parasitaire à un seuil économiquement acceptable par l'agriculteur. Ce qui est certain, c'est que leur mise en œuvre réclame plus de technicité, d'observations en champ, plus de temps de la part de l'exploitant agricole que l'utilisation des pesticides organiques de synthèse qui est, rappelons-le, la méthode de contrôle actuellement la plus aisée et la moins coûteuse au regard de l'efficacité qu'elle procure.

L'agriculture raisonnée et la protection intégrée s'inscrivent résolument, nous l'avons vu, dans l'utilisation de quantités moindres de pesticides (au bon moment, au bon endroit) pour conjuguer productivité et soutenabilité de l'agriculture. Cette réduction de pesticides ne peut s'obtenir qu'en associant plusieurs approches pour contrôler autrement les bio-agresseurs des cultures. Les méthodes alternatives, souvent anciennes dans leurs concepts, apportent un autre regard sur la mise en œuvre et l'articulation des différentes méthodes de lutte qui, au contraire d'être antagonistes, se doivent d'être complémentaires. Elles ont donc l'avenir pour elles.

Ces méthodes alternatives sont basées sur des stratégies très différentes les uns des autres (Figure 6.1) : pratiques agronomiques ancestrales redécouvertes ou innovantes ; techniques physiques, éternelles dans leurs principes, mais améliorées par la création d'un appareillage spécifique de plus en plus performant et sophistiqué ; sélection génétique découverte du début du XX^e siècle pour créer des variétés génétiquement résistantes aux maladies et aux insectes ; utilisation d'autres organismes vivants (lutte biologique classique) ou de substances extraites d'organismes biologiques ou existantes à l'état naturel pour contrôler le potentiel biotique des bio-agresseurs des cultures. Parmi ces

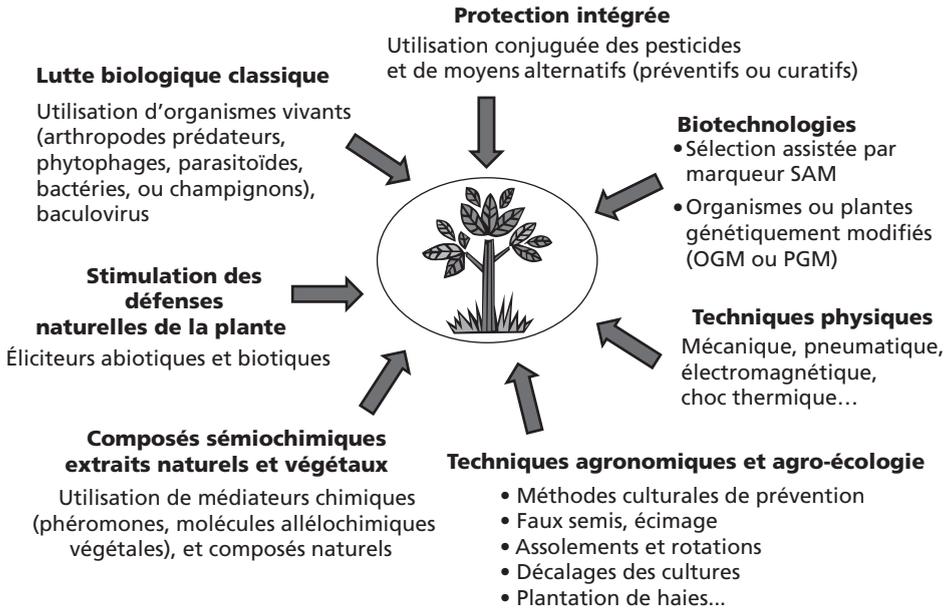


Figure 6.1. Méthodes alternatives de contrôle des bio-agresseurs des cultures.

derniers, certains font l'objet de formulations phytopharmaceutiques et sont donc homologués comme spécialités biopesticides : ce sont les produits de biocontrôle (voir Chapitre 2).

Agissant sur les ennemis des cultures pour en diminuer l'impact, les méthodes alternatives perturbent, tout comme les pesticides organiques de synthèse, l'équilibre des espèces au sein de l'agrosystème, avec nécessairement des répercussions sur les écosystèmes environnants. Elles modifient, de par leur activité, l'environnement, dans une démarche volontaire au profit de notre espèce humaine. Comme les pesticides de synthèse, elles vont s'accompagner d'effets non intentionnels sur les espèces non cibles qui ne sont pas sans conséquence. Certains de ces effets sont éphémères ; d'autres perdurent telle l'introduction volontaire dans un nouveau biotope d'espèces exotiques qui deviennent invasives. Il faut alors trouver des solutions pour remédier à ces effets pervers. Les méthodes alternatives, bien qu'elles utilisent moins de pesticides chimiques, ne sont pas pour autant anodines, et nécessitent d'être employées avec la même rigueur que les méthodes de contrôle chimiques des bio-agresseurs. Ce n'est pas pour autant qu'il faut les rejeter en bloc. Il faut en examiner le rapport bénéfice/risque au cas par cas.

Voici, en un bref panorama, les principes de ces méthodes alternatives et des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle appelés à occuper demain une place de plus en plus importante dans la protection des plantes.

Produits de Protection des Plantes

Innovation et sécurité pour une agriculture durable

La protection des plantes constitue un des enjeux majeurs d'une agriculture durable : limiter les pertes liées aux bio-agresseurs des cultures et des récoltes est indispensable pour concilier la sécurité alimentaire des neuf milliards d'humains à l'horizon 2050 et un meilleur respect de l'environnement. La conduite d'une réflexion pour une meilleure utilisation des pesticides de synthèse s'est concrétisée en 2007 par la tenue du Grenelle de l'environnement en France, ainsi que par la mise en place, en 2009, d'une nouvelle réglementation européenne sur les pesticides à usage agricole. Le développement de méthodes alternatives plus respectueuses de l'environnement et des produits de biocontrôle est à l'ordre du jour dans tous les pays. L'essor mondial des plantes génétiquement modifiées, excepté en Europe, s'accompagne de nouvelles pratiques culturales et de changements qui préfigurent une nouvelle révolution agricole. **Ces évolutions et les démarches agricoles innovantes pour faire face à ce défi du 21^e siècle sont au cœur de cet ouvrage.**

Après avoir retracé dans une perspective historique le contexte de la protection phytosanitaire des plantes, cet ouvrage souligne l'évolution des principales familles de produits de protection des plantes (insecticides, fongicides et herbicides) pour répondre aux préoccupations liées à leurs effets non intentionnels et analyse les mesures de surveillance développées. Il présente les démarches actuelles mises en œuvre pour penser autrement l'utilisation des pesticides et la réduire : agriculture raisonnée, protection intégrée, bonnes pratiques phytopharmaceutiques, méthodes alternatives reposant sur la lutte biologique par micro- ou macro-organismes, l'approche sémi chimique à partir des phéromones et d'extraits botaniques ainsi que la stimulation des défenses des plantes ou encore la transgénèse. Il aborde également les aspects réglementaires et économiques du secteur.

Cet ouvrage s'adresse aux étudiants (écoles d'agronomie, IUT, lycées agricoles, universités), aux professeurs de l'enseignement supérieur et des lycées, ainsi qu'à tous les professionnels souhaitant compléter la formation pratique qu'ils ont reçue (par exemple le Certiphyto) et à ceux qui désirent appréhender un point de vue élargi sur la protection des plantes.

Catherine Regnault-Roger, pharmacien et docteur ès-sciences naturelles, est Professeur des universités émérite à l'Université de Pau et des pays de l'Adour. Ses recherches dans le domaine de la protection des plantes ont porté sur les méthodes de lutte chimiques et alternatives. Auteur de plus de 200 publications scientifiques et techniques, elle a coordonné plusieurs ouvrages remarquables, notamment *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement* (Lavoisier, 2005), *Biopesticides d'origine végétale* (Lavoisier, 2002 et 2008 2^{de} édition) et *Révolutions agricoles en perspective* (Éditions France Agricole, 2012). Elle siège au Comité scientifique du Haut Conseil des Biotechnologies ainsi qu'au Comité de surveillance biologique du territoire. Elle est par ailleurs membre titulaire de l'Académie d'Agriculture de France et chevalier de la Légion d'honneur au titre de ses activités dans le domaine de l'écologie et du développement durable.

www.lavoisier.fr



978-2-7430-1539-8