

La protection contre les maladies et les ravageurs

À partir d'une contribution de A. Renou (CIRAD)
et J.-P. Deguine (CIRAD)

Au cours des dernières années et notamment depuis l'introduction de législations très restrictives sur l'emploi des pesticides¹, la conception des interventions de protection des cultures a fortement évolué. En effet, après une période de très fort développement de l'utilisation des pesticides, les limites de cette méthode ont été mises en évidence : disparition des auxiliaires naturels, apparition de résistance chez les ravageurs, pollution des écosystèmes, intoxication des utilisateurs et des consommateurs lorsque des normes strictes ne sont pas respectées...

La réduction de l'utilisation des pesticides est cependant liée à la capacité d'analyser correctement un problème phytosanitaire au champ et de connaître les méthodes alternatives à l'emploi des pesticides pour gérer les populations de bioagresseurs.

DES DÉFINITIONS UTILES²

Les termes définis ci-dessous sont les plus couramment employés en protection des cultures, il est nécessaire de les connaître pour comprendre ce chapitre.

Antidote : substance capable de neutraliser une substance toxique ou de s'opposer à ses effets, par un mécanisme physique, chimique, biochimique ou pharmacologique.

Autorisation de mise sur le marché (AMM) : acte administratif par lequel l'autorité compétente d'un État membre de l'Union Européenne autorise la mise sur le marché d'un produit phytopharmaceutique sur son territoire. Cette autorisation est délivrée pour une durée maximale de dix ans, renouvelable. Dans certains cas, elle peut être accordée à titre provisoire pour une durée maximale de trois ans, renouvelable (AMMP).

Auxiliaire : animal prédateur ou parasite qui, par son mode de vie, apporte son concours à la destruction de ravageurs nuisibles aux cultures.

Bactériostatique : qualifie une substance ou une préparation qui empêche la multiplication des bactéries sans les détruire.

Biocénose : ensemble des êtres vivants de toutes espèces végétales et animales coexistant dans un milieu déterminé qui offre les conditions nécessaires à leur vie.

Bioprotection : protection de la plante à l'aide d'organismes vivants contre d'éventuels agresseurs. La bioprotection est un des éléments de la lutte biologique.

¹ De la part de l'Union européenne ou des États-Unis.

² Source : PROVÉ P.C., AMBROSI D., BARRALIS G., CLUZEAU S., COUTIN R., MULLER B., RAMAT G. 2000. *Répertoire terminologique en protection des plantes*. [On-line]. [2002/01/31]. URL: <http://www.afpp.net/methodesceb/methodes.asp>.

Biotechnologie : étude des techniques mettant en œuvre des processus biologiques pour produire un bien industriel ou de consommation. Exemple : production sélective d'isomères de molécules organiques par des micro-organismes.

Cancérogène : qualifie une substance capable d'engendrer des tumeurs malignes ou de favoriser leur apparition. Ce terme doit être préféré à carcinogène et cancérigène.

Dose létale (DL) : quantité de substance qui, administrée à des animaux de laboratoire, entraîne la mort. Elle est généralement exprimée en milligramme par kilogramme de poids corporel. Exemple : DL_{50} : dose entraînant 50 % de mortalité.

Écosystème : ensemble interactif constitué par une biocénose et son biotope. Cet ensemble est défini essentiellement par son fonctionnement et non par son territoire.

Effet non intentionnel : on appelle effet non intentionnel d'un produit phytopharmaceutique utilisé dans des conditions normales, toute action bien caractérisée, autre que celle pour laquelle le produit est employé, qu'elle soit bénéfique ou non, immédiate ou à retardement. Cette locution doit être préférée à *action secondaire*. Exemple : certains fongicides actifs contre l'oïdium freinent le développement des acariens ; inversement, certains insecticides favorisent les acariens.

Entomophage : caractérise un organisme animal qui se nourrit d'arthropodes qu'il capture (prédateur) ou aux dépens desquels il se développe (parasite ou parasitoïde).

Indicateur biologique : organisme vivant, animal ou végétal, utilisé comme marqueur de la qualité de l'environnement, par exemple de l'intensité d'une pollution.

Infection : phase d'une maladie qui fait suite à la contamination et correspond au développement d'un agent pathogène à l'intérieur des tissus. Elle prend fin avec la guérison ou la mort de l'hôte.

Infestation : envahissement d'un milieu, d'une plante-hôte ou d'une culture, par une population d'organismes nuisibles, généralement des animaux (insectes, acariens...).

Lutte biologique : méthode qui consiste à combattre un organisme nuisible par l'utilisation de mécanismes naturels appartenant soit au règne animal soit au règne végétal, ou qui en dérivent.

Lutte chimique : méthode qui consiste à utiliser des produits phytopharmaceutiques de nature chimique pour combattre les organismes nuisibles.

Lutte intégrée : application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, chimiques, physiques, culturelles ou mettant en œuvre l'amélioration des végétaux. L'emploi de préparations phytopharmaceutiques y est limité au strict nécessaire pour maintenir les populations d'organismes nuisibles en dessous du seuil à partir duquel apparaissent une perte ou des dommages économiquement inacceptables.

Lutte raisonnée : emploi rationnel de préparations phytopharmaceutiques, se définissant notamment par le choix des produits, de leur dose, de l'époque d'application et des techniques à mettre en œuvre, au sein d'un programme tenant compte de l'évolution des organismes nuisibles.

Mutagène : qualifie un agent physique ou chimique capable d'induire des mutations.

Organisme génétiquement modifié (OGM) : entité biologique unicellulaire ou multicellulaire dont le matériel génétique a été modifié, autrement que par multiplication ou recombinaison naturelle.

Organisme nuisible : organisme vivant appartenant au règne animal ou végétal, ainsi que les virus, bactéries ou autres agents pathogènes, dont la présence n'est pas souhaitée, soit parce qu'il est considéré comme un ennemi des végétaux ou des produits végétaux, soit parce qu'il produit un effet néfaste pour l'homme, les animaux ou l'environnement. Exemples : termites, mérules, mouches des étables...

Parasite : organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un organisme appelé hôte, pendant tout ou partie de son cycle vital en lui portant préjudice sans entraîner obligatoirement sa mort. On distingue l'endoparasite qui se développe à l'intérieur de l'hôte et l'ectoparasite qui évolue à l'extérieur de l'hôte. Exemples : puces, punaises, tiques, gui, orobanches.

Parasitoïde : organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un hôte dont il entraîne obligatoirement la mort. On distingue l'endoparasitoïde et l'ectoparasitoïde. Exemples : trichogrammes, tachinaires, champignons entomopathogènes.

Prédateur : organisme animal qui poursuit et capture des proies vivantes pour s'en nourrir ou pour alimenter sa progéniture. Certains insectes paralysent les proies qu'ils destinent à leurs larves. Exemple : guêpes....

Produit biologique : organisme, substance ou préparation permettant de lutter contre des organismes nuisibles et dont le principe actif est constitué par des organismes vivants (par exemple : souches hypovirulentes de *Cryphonectria*³ *parasitica* contre le chancre du châtaignier) ou des produits de leur métabolisme (par exemple : toxine de *Bacillus thuringiensis* utilisée dans la lutte contre des chenilles de Lépidoptères et des larves de moustiques). Ce terme doit être préféré à *biopesticide*.

Ravageur : organisme nuisible qui vit directement aux dépens de plantes ou de denrées en provoquant des dommages plus ou moins importants. Lorsque ceux-ci sont peu importants, on parle de déprédateur. Ce terme s'applique surtout aux animaux.

Rémanence ou persistance d'action : durée pendant laquelle un produit phytopharmaceutique manifeste une activité biologique. Cette persistance peut être le fait de la substance active, de ses produits de dégradation ou de sa formulation.

Résistance d'un organisme à l'action d'une substance active : absence d'inhibition ou inhibition réduite du développement d'un organisme nuisible après application d'un produit phytopharmaceutique. Cette résistance peut être naturelle ou acquise.

Seuil biologique de nuisibilité : densité ou niveau d'infestation à partir duquel une diminution de rendement ou de qualité est statistiquement décelable.

Seuil économique de nuisibilité : densité ou niveau d'infestation à partir duquel l'effet sur la diminution de rendement ou de qualité est supérieur au coût des moyens mis en œuvre pour lutter contre l'ennemi de la culture.

Tératogène : qualifie une substance susceptible de provoquer chez l'animal des malformations ou des troubles du développement lors de l'embryogenèse.

Toxicité : effet néfaste d'une substance après pénétration dans un organisme vivant (homme, animal...). On peut la mesurer chez les animaux de laboratoire en mettant en œuvre des études portant sur divers modes d'exposition. Selon la durée d'exposition de celles-ci, on distingue généralement différents types de toxicité.

3 Ou *Endothia*.

LE DIAGNOSTIC PHYTOSANITAIRE

Le repérage d'un aspect anormal au sein d'une culture conduit tout naturellement à s'interroger sur les causes de cette anomalie et sur ses conséquences possibles en termes de production. Repérer les causes et prévoir les effets probables, c'est l'objectif du diagnostic phytosanitaire.

● *La description de l'anomalie, du syndrome ou du dégât*

L'aspect anormal peut correspondre à des symptômes⁴, des dégâts⁵, à un développement anormal de plants⁶ ou encore à un aspect anormal du champ⁷. La description, première étape du diagnostic, est facilitée par une comparaison avec des plants non atteints au sein de la parcelle ou dans un environnement proche. Parfois, il peut être utile de décrire l'évolution dans le temps de cette anomalie, grâce aux plants atteints à des degrés différents.

● *La recherche de l'agent causal*

La deuxième étape du diagnostic est la détermination de l'agent causal. Plus la description de l'anomalie est précise, plus cette détermination sera simple à réaliser. L'estimation de l'incidence possible de ce qui est observé sur la production constitue la troisième étape.

Les ennemis naturels des plantes ne sont pas les seuls agents susceptibles de provoquer un aspect anormal au sein d'une culture, même si parfois la description peut correspondre à leurs effets ; un flétrissement peut, par exemple, être provoqué par un stress hydrique d'origine climatique ou lié à un champignon. En conséquence, il importe de considérer les événements survenus avant l'apparition de ce que l'on observe, en particulier en ce qui concerne les pratiques culturales (phytosanitaires et autres) et le climat (pluviométrie et température), mais il convient aussi de s'intéresser aux facteurs biotiques⁸ susceptibles d'être intervenus. On utilise pour cela des informations recueillies auprès des agriculteurs et on extrapole les conséquences possibles d'un événement biotique sur la plante cultivée.

L'observation de l'environnement de la parcelle ou des plants atteints et l'historique des pratiques culturales associées aident à l'élaboration du diagnostic : certaines déformations de feuilles peuvent par exemple être dues à l'épandage d'un herbicide sur une parcelle voisine.

S'il s'agit d'une anomalie connue⁹, provoquée par un ennemi naturel particulier déjà identifié¹⁰, la confirmation de la présence de celui-ci donnera une certaine assurance aux deux premières étapes du diagnostic. Mais il arrive très souvent que l'agent causal ne soit pas connu ou qu'il ne soit plus présent dans la parcelle au moment de l'observation.

4 Organes déformés, coloration anormale, apparition de taches, flétrissement de plants, crispation de feuilles, etc.

5 Organes fructifères troués, tiges perforées, feuilles trouées, minées ou brûlées, etc.

6 Plants exubérants ou nains, fleurs stériles, etc.

7 Manque à la levée, etc.

8 Biotique : qui a pour origine un être vivant.

9 Des documents de référence sur la plante cultivée et l'expérience de l'observateur sont utiles.

10 Pathogène ou ravageur.

L'étude au niveau d'un champ de la répartition des plants atteints, parfois à des degrés divers, est souvent utile. En effet, ces plants peuvent se rencontrer uniquement sur certaines zones de la parcelle¹¹ ou être disposés dans une direction particulière en présentant parfois un gradient de gravité. Associée, lorsque cela est possible, à des relevés sur les ennemis naturels présents, cette analyse permet, à défaut d'identifier l'agent causal, de vérifier au moins s'il provient ou non du sol. En bénéficiant de l'existence de pressions différentes de l'ennemi naturel dans l'espace ou dans le temps, il est parfois possible d'établir sa responsabilité dans l'apparition de l'aspect anormal de la culture. Des compétences extérieures et des essais d'infestation sont dans certains cas nécessaires pour identifier précisément et mesurer l'impact d'un agent peu connu localement.

● **L'évaluation des dégâts probables**

La dernière étape du diagnostic consiste à évaluer l'importance et les conséquences probables sur la culture, en quantité et en qualité. C'est en fonction de cette évaluation qu'on peut décider, en connaissance de cause, de l'intérêt d'intervenir contre l'ennemi naturel supposé responsable. Les conséquences sur la production ne sont que très indirectement liées à l'aspect visuel de la culture : des dégâts qui apparaissent visuellement spectaculaires peuvent correspondre à une faible perte en production alors qu'une infestation peu visible peut parfois conduire à des pertes très importantes. Il est donc important, à cette étape du diagnostic, d'utiliser les références disponibles sur la relation entre le degré d'infestation par le parasite ou le ravageur concerné et le rendement susceptible d'être obtenu. Ces références ont parfois intérêt à être obtenues ou validées localement, à partir d'essais ou de suivis de parcelles paysannes.

LA PROTECTION INTÉGRÉE

● **Le concept et le principe**

Il a été élaboré en Amérique du Nord au début des années 50. L'expansion de l'agriculture reposait alors en grande partie sur le développement de l'utilisation de pesticides. Les problèmes sanitaires et environnementaux qui en résultèrent firent prendre conscience à l'opinion scientifique et publique des dangers d'une utilisation excessive des pesticides pour la santé humaine et l'environnement. Il existe des dizaines de définitions des mots et des concepts : IPM, lutte intégrée, protection intégrée, protection raisonnée, production intégrée, etc. On pourra utilement se référer aux sites internet et aux ouvrages sur le sujet.

¹¹ Dont on relève les éventuelles particularités : places inondées, enherbées, bordures de champ.

Une stratégie de lutte intégrée¹² repose sur deux principes :

- > l'intégration de différentes méthodes de lutte, sélectionnées pour leurs effets aussi réduits que possible sur l'environnement ;
- > la mise au point d'outils d'aide à la décision permettant à l'agriculteur d'évaluer les risques réellement encourus au niveau des parcelles pour décider quand et comment intervenir. Ceci fait appel aux notions de seuils de nuisibilité et d'intervention.

La protection intégrée est une composante de la production intégrée : gestion des agro-systèmes au sens large. Elle repose sur une bonne connaissance de leur fonctionnement pour maintenir les différentes nuisances en dessous de seuils économiquement préjudiciables, en tenant compte de paramètres environnementaux et sociaux : stratégies et pratiques des agriculteurs et des autres acteurs, dont les consommateurs.

De nombreux débats ont animé les spécialistes sur la place que devait occuper la protection chimique au sein des mesures à mettre en œuvre dans une protection intégrée contre les nuisibles. Si une large majorité d'entre eux accepte actuellement l'emploi raisonné des pesticides après avoir mis en œuvre toutes les alternatives possibles, des partisans d'une exclusion totale de l'utilisation de pesticides existent aussi.

La mise en œuvre d'une stratégie de lutte intégrée demande en général de combiner plusieurs méthodes de lutte. Nous présentons ci-dessous les principes et quelques exemples des méthodes les plus fréquemment employées.

● **La résistance variétale ou spécifique**

D'une manière générale, lorsqu'il est possible de disposer d'une variété ou d'une espèce résistante ou tolérante à une nuisance, l'utilisation de cette variété représente la voie efficace la plus économique et la moins dangereuse vis-à-vis de l'environnement et de la santé humaine pour lutter contre cette nuisance.

Vis-à-vis des ravageurs, les mécanismes de résistance des plantes sont très variés. Un cultivar peut par exemple :

- > présenter des caractéristiques empêchant ou réduisant les pontes d'un ravageur ;
- > sécréter des substances répulsives ;
- > être moins appétant en offrant parfois des caractéristiques nutritives défavorables au développement d'un ravageur ;
- > ne pas procurer de refuge à un ravageur pour se mettre à l'abri de ses parasites ou prédateurs.

La tolérance caractérise des variétés susceptibles de mieux résister aux dommages causés par certains ravageurs¹³ ou de mieux récupérer des dégâts¹⁴.

Un même caractère variétal peut quelquefois avoir des effets opposés ou divergents sur la même espèce de ravageur ou sur des espèces différentes : la pilosité foliaire chez le cotonnier limite les pontes de jassides mais les met indirectement à l'abri de leurs prédateurs et parasites ; elle favorise par contre les pontes d'aleurodes.

¹² En anglais IPM : *Integrated Pest Management*.

¹³ Par exemple l'épaisseur de la cuticule des feuilles rend difficile la prise de nourriture d'insectes piqueur-suceurs.

¹⁴ Par exemple l'épaisseur des tissus palissadiques au niveau du limbe des feuilles permet une reconstitution des tissus après des dégâts de jassides.

Enfin, l'expression de certains caractères variétaux peut dépendre des conditions du milieu ou de culture, de sorte qu'une variété présentant un caractère de résistance à un ravageur dans une région donnée peut lui être plus sensible dans une autre ; la virulence des populations de ce ravageur peut également varier entre ces deux régions.

Pour ces raisons auxquelles s'ajoute le fait qu'une plante cultivée affronte en général un complexe de ravageurs et non un seul, les exemples d'utilisation de la résistance variétale aux insectes sont peu fréquents au niveau des cultures tropicales. En dehors de la pilosité foliaire chez le cotonnier, on peut citer la tolérance de certaines variétés de maïs à *Sitophilus zeamais*¹⁵ qui est un ravageur des denrées stockées ou à *Sesamia calamistis*¹⁶, la tolérance de certaines variétés de mil aux borers, les variétés de sorgho à grains vitreux résistant mieux aux ravageurs des stocks ou moins sensibles à *Atherigona soccata*¹⁷.

Vis-à-vis des nématodes et des maladies, qu'elles soient d'origine fongique, bactérienne, virale ou mycoplasmique, il a en revanche été possible de créer des variétés résistantes ou tolérantes chez de nombreuses espèces cultivées. Notons toutefois que ces phénomènes de résistance ou de tolérance peuvent ne concerner que certaines souches du pathogène (cas de la maladie bleue du cotonnier).

Depuis quelques années, des variétés résistantes à certains ravageurs ont été mises au point par transformation génétique chez certaines plantes cultivées. Le principe est de transférer aux plantes cultivées la capacité de produire des substances bloquant le développement des parasites, pathogènes et ravageurs. L'utilisation de ce matériel végétal transformé, appelé couramment organismes génétiquement modifiés (cf. chapitre 431) soulève cependant un certain nombre de questions scientifiques et leur diffusion fait l'objet de larges controverses en matière de biosécurité.

15 Motschulsky.

16 Hampson.

17 Rondani.

Tableau 1. Possibilités d'utilisation de cultivars résistants ou tolérants chez les principales plantes tropicales cultivées

Cultures	Maladies importantes pour lesquelles des variétés résistantes ou tolérantes existent	Maladies importantes pour lesquelles des variétés résistantes ou tolérantes n'existent pas
Agrumes	Phytophthora, tristeza, xyloporose, exocortis	anthracnose
Ananas	bactériose	phytophthora
Arachide	rosette	cercosporiose, rouille
Banancier	fusariose	cercosporiose
Cacaoyer		pourriture brune des cabosses
Caféier		rouille
canne à sucre	charbon, mildiou, fusariose, morve rouge, gommoze, échaudement, mosaïque, viroses	
Cotonnier	fusariose, bactériose, maladie bleue, mosaïque, frisolée, virescence	
Maïs	rouille américaine, helminthosporiose, viroses	
Manioc	viroses, bactériose	
Mil	mildiou, charbon du grain	
palmier dattier	fusariose	
Papayer		mosaïque
patate douce	nématodes	
Poivrier	Phytophthora palmivora	
pomme de terre	viroses, bactérioses	mildiou
Riz	pyriculariose, helminthosporiose, rhyncosporiose, Rhizoctonia solani, bactérioses, viroses	
Soja	anthracnose, mosaïques	
Sorgho	moisissures des graines	charbons
Tabac	fusariose, mildiou, viroses	
Tomate	fusariose, bactériose, nématodes	

● Les pratiques culturales

● Augmenter la vigueur de la plante cultivée

Plus une plante est fragile, plus elle est sensible à l'action de ravageurs ou de maladies. En conséquence, toutes les pratiques culturales qui renforcent la vigueur d'une plante cultivée contribuent à augmenter sa résistance ou sa tolérance à ses ennemis naturels.

Citons :

- > *la préparation du sol* : l'incidence de la pyriculariose du riz pluvial est moins forte si un labour profond est réalisé ;
- > *la fertilisation minérale* : la correction d'une carence en silice diminue l'importance de l'helminthosporiose du riz. Mais cette fertilisation doit être équilibrée car de nombreuses nuisances peuvent être accentuées en cas d'excès : cas des jassides chez le cotonnier ou de la pyriculariose chez le riz si de fortes fumures azotées sont apportées ;
- > *l'entretien de la culture vis-à-vis des adventices* qui réduit les possibilités de refuge ou de multiplication de certains ravageurs : cas de la punaise du riz *Leptocoris acuta* Thunberg qui peut se développer sur *Echinochloa crus-galli* ou de *Chilo polychrysus* Meyrick, borer du riz sur *Scirpus gossus*.

● Utiliser un matériel végétal sain

Il est important d'utiliser des semences ou des plants (ou fragments d'organes végétaux) indemnes de tout germe pathogène ou de nématode¹⁸ et d'éviter toute introduction variétale dangereuse (pour l'Afrique cas des hévéas américains ou des théiers en provenance d'Asie).

● Choisir une bonne date de semis pour les cultures annuelles

L'influence de la date de semis est souvent essentielle. Généralement, plus la date de semis est précoce, meilleures sont les productions, moins fortes sont les incidences des nuisances et plus rentable devient leur contrôle. En effet, pour les ravageurs présents dans les régions où il existe une longue période sans pluie (saison sèche), les infestations croissent au fur et à mesure que l'on avance dans le cycle d'une culture semée au début de la saison des pluies : cas de la rosette sur arachide, de la mouche des pousses, *A. soccata*, ou de la cécidomyie *Contarinia sorghicola*¹⁹ sur sorgho, de *Thrips tabaci*²⁰ sur cultures légumières, de la coccinelle mexicaine *Epilachna varivestis*²¹ et de l'agromyzide *Ophiomyia phaseolis*²² sur haricot ou encore d'*Helicoverpa armigera*²³ sur cotonnier. En semant précocement, on permet à la culture d'échapper aux fortes pressions de certains ravageurs en fin de campagne.

Une bonne date de semis ne signifie pas toujours une date précoce, car pour certaines maladies les semis les plus précoces sont aussi les plus touchés : cas de la maladie bleue et de la virescence du cotonnier. Dans certaines régions, le semis de riz peut être soit précoce soit tardif pour éviter les dégâts de cécidomyies dont les infestations apparaissent en milieu de saison.

D'une manière générale il convient d'apprécier l'impact d'une nuisance dans une région donnée pour remettre en cause ou non l'intérêt des semis précoces d'une culture en regard des pertes de production attendues avec des semis tardifs.

18 Obtenus par thermothérapie pour le manioc ou la canne à sucre par exemple.

19 Coquillett.

20 Lindeman.

21 Mulsant.

22 Tryon.

23 Hübner.

● Choisir des cultivars au cycle adapté

Malheureusement, exception faite des régions où la saison des pluies est longue, les possibilités de choix de la date de semis sont souvent très limitées. Ainsi, c'est souvent plus à travers le choix de la variété (précoce ou tardive), en lien avec la date de semis, que l'on évite une coïncidence entre un stade sensible de la plante et une pression forte exercée par une nuisance. Il s'agit dans ce cas de pseudo-résistance variétale. Une variété de mil à floraison précoce, un riz très précoce et une variété de cotonnier très précoce pourront ainsi échapper à des attaques tardives de certains ravageurs²⁴ dans la mesure où elles ne sont pas semées trop tardivement. Cet effet peut se poursuivre l'année suivante car faute de pouvoir correctement se développer, peu de ravageurs entreront en diapause à la fin de la saison de culture²⁵. Pour le cotonnier, si la précocité est alliée à une défoliation précoce, on supprime également les possibilités de développement des ravageurs responsables des dépôts de miellats sur la fibre.

En fonction de la plante et de la nuisance, la précocité n'est pas toujours le caractère à rechercher. Ainsi, une variété de sorgho dont la maturité des grains a lieu après l'arrêt des pluies a des grains moins endommagés par des moisissures. Enfin, une variété de sorgho à floraison groupée, indépendamment de sa précocité, limite les possibilités de multiplication de la cécidomyie *C. sorghicola* et réduit donc les attaques de grains d'année en année en diminuant les niveaux d'infestation.

● Agir sur la densité et la structure du peuplement végétal

En général, les fortes densités de plantation procurent de meilleures conditions de développement pour les ravageurs, alors qu'elles nuiraient au développement ou à l'installation de certaines maladies²⁶. Mais ce n'est pas toujours le cas. Les infestations de jassides du cotonnier ainsi que la sévérité de leurs dégâts sont souvent réduites avec des fortes densités. De même, lorsque des infestations modérées de *H. armigera* sont rencontrées, l'incidence de leurs dégâts sur la production peut être limitée par la pratique de fortes densités. Enfin, toujours à propos du cotonnier, des densités de plantation trop fortes peuvent augmenter les pourritures de capsules dans les régions très humides.

L'aspect d'une culture, qui peut être modifié par la structure géométrique du peuplement végétal, change son attraction vis-à-vis de certains ravageurs (cf. le chapitre 423). Cet aspect est déterminant dans la colonisation de la culture du chou par le puceron *Brevicoryne brassicae* Linnaeus et de la culture de rave par la piéride *Pieris rapae* Linnaeus. Il importe donc pour chaque culture de déterminer la densité optimale de plantation pour bénéficier au mieux des effets favorables sur une ou plusieurs nuisances majeures sans affecter négativement les potentialités de la culture. Ce choix doit être compatible avec la faisabilité des interventions sur la culture en particulier son entretien.

24 Respectivement *Geromya penniseti* Felt, les cicelles brunes et *H. armigera*.

25 Cas du ver rose du cotonnier *Pectinophora gossypiella* Saunders.

26 Cas du *Verticillium* sur cotonnier ou de la rosette sur arachide.

● Pratiquer des rotations de cultures adaptées²⁷

La rotation des cultures peut être un moyen de limiter certaines nuisances, surtout transmises par le sol²⁸. Le principe consiste à créer des conditions défavorables au déroulement sur la même parcelle des cycles successifs d'un pathogène ou d'un ravageur en introduisant, dans la succession, des cultures sur lesquelles il est incapable de proliférer. En général, il faut pour cela cultiver en alternance des plantes de familles botaniques différentes. Cependant certains agents nuisibles peuvent, à l'image des graines de striga, rester dans le même sol plusieurs années avant d'être détruits : cas des nématodes pour les cultures de maïs. Des rotations longues sont alors nécessaires mais elles sont rarement adoptables par les agriculteurs.

● Utiliser la diversité végétale du milieu

L'espace agricole est souvent caractérisé par la juxtaposition d'une grande diversité de cultures et de plantes sauvages entre lesquelles des migrations de déprédateurs et d'auxiliaires peuvent exister. Ces migrations sont parfois bénéfiques aux cultures. Cela a été de nombreuses fois évoqué à propos des haies vives en milieu tempéré : elles détournent très probablement une partie de la faune nuisible vers des espèces non cultivées mais plus certainement elles renforcent le rôle des auxiliaires au sein des cultures. En général, les populations d'auxiliaires existant au sein des formations ligneuses présentent en effet des fluctuations d'effectif plus faibles que celles présentes dans les cultures.

Il a également été noté que l'enherbement des parcelles pouvait parfois limiter les populations de ravageurs : cela a été notamment observé sur des populations de coccinelle mexicaine ou de jassides dans des champs de pomme de terre. Mais cette dernière pratique ne peut être recommandée que si elle ne nuit pas aux productions (cf. le chapitre 435).

Il est fréquent de rencontrer, dans le même espace agricole, des cultures qui possèdent des ravageurs communs mais qui ne bénéficient pas des mêmes niveaux de protection contre les insectes²⁹. La présence de cultures non traitées ralentit alors l'acquisition de résistance chez les ravageurs communs en diluant les gènes de résistance aux matières actives insecticides par brassage des populations. En conséquence, les matières actives utilisées sur les cultures traitées sont efficaces plus longtemps.

Certains ravageurs peuvent accomplir leur développement sur des hôtes différents de la plante cultivée que l'on désire protéger de leurs attaques. Il est alors possible de les utiliser comme plantes pièges pour épargner la culture en procédant de deux façons :

²⁷ Cf. chapitre 423.

²⁸ Essentiellement les maladies cryptogamiques et les nématodes.

²⁹ Cotonnier et maïs par exemple.

- > soit cultiver la plante piège en même temps que la culture et bénéficier d'une attraction préférentielle de cette plante : cas du maïs pour *Anoplocnemis curvipes* Fabricius ravageur du niébé ou d'une crotalaire vis-à-vis de *Maruca testulalis* Geyer qui ravage aussi les cultures de niébé ;
- > soit cultiver plus tôt cette plante et détruire les ravageurs sur cette plante après leur installation³⁰. À la limite, on utilise parfois la plante cultivée en la semant plus tôt pour attirer certains ravageurs et les détruire³¹.

Enfin, le pouvoir répulsif de plantes à l'égard de certains ravageurs peut être utilisé pour protéger une culture : cas de *Chromolaena odorata* pour les crabes dans les rizières, branches d'un arbre appelé Patulang contre la punaise *Leptocorisa acuta*³² du riz et de plantes aromatiques telles que l'ail ou la ciboulette dans les cultures de légumes.

● Associer les cultures³³

La pratique des associations de cultures entraîne des modifications micro-climatiques qui peuvent nuire à certains ravageurs ou favoriser les populations d'auxiliaires (les parasites mais surtout les prédateurs) qui contiendront mieux les infestations de ravageurs. C'est le cas de l'association maïs-patate douce vis-à-vis des chrysomèles *Diabrotica balteata*³⁴ et de la pyrale *Ostrinia furnicalis*³⁵, de l'association maïs-niébé vis-à-vis de *Busseola fusca*³⁶ et *S. calamistis*, de l'association manioc-niébé vis-à-vis des thrips ou encore de l'association maïs-arachide qui favorise les lycosides, araignées prédatrices.

Par ailleurs, une espèce cultivée peut jouer un rôle de barrière physique et empêcher la colonisation de l'autre espèce cultivée par ses déprédateurs habituels pendant la durée de la cohabitation. Ce phénomène a été observé à propos des jassides lorsque le cotonnier est mis en place dans des parcelles de maïs peu avant sa récolte et pour d'autres jassides sur légumineuses en culture intercalaire avec du maïs. De la même façon, les attaques de *A. curvipes* sur niébé sont réduites lorsque les parcelles sont entourées de plants de maïs.

Il convient cependant d'être prudent dans le choix des espèces ou variétés associées, car la virulence de certains déprédateurs peut parfois être accrue. C'est le cas dans les mélanges de variétés de sorgho qui, en ayant des périodes de floraison différentes, augmentent la pression de la cécidomyie *C. sorghicola*. L'étalement de la période reproductive du sorgho lui permet, en effet, de multiplier ses cycles sur la même parcelle.

30 Cas des hibiscus pour les chenilles d'*Earias* sp et peut être de *H. armigera* ravageurs du cotonnier.

31 Cas du riz pour réduire les infestations de cicadelles brunes.

32 Thunberg.

33 Cf. chapitre 423.

34 LeConte.

35 Guénée.

36 Fuller.

● Agir directement sur les nuisances sans moyen biologique ou chimique

Face à de nombreuses maladies de cultures pérennes³⁷, pour lesquelles on ne dispose pas de variétés ou de porte-greffes résistants, la seule méthode de lutte ou de limitation de leur propagation consiste à détruire des plants ou des organes atteints puis, souvent, à les incinérer. Cette pratique est mise en œuvre également pour des maladies de cultures annuelles, même si parfois des variétés résistantes sont disponibles³⁸ dans les régions où ces maladies ne sont pas très importantes.

Des exemples de destruction des ravageurs existent également. Le labour et le sarclage peuvent détruire directement certains ravageurs ou les ramener à la surface du sol et les exposer ainsi aux effets du soleil et à l'action de divers prédateurs. Le labour peut ainsi détruire des altises de la pomme de terre, des pyrales sur le riz et des terriers à rats. L'inondation des rizières après la récolte peut également réduire les infestations de certaines pyrales. Cette exposition est pratiquée manuellement avec les oeufs de *Zonocerus variegatus*³⁹.

La destruction des résidus de récolte dans lesquels certains ravageurs accomplissent un ou plusieurs stades de développement réduit les infestations futures pour de nombreux ravageurs⁴⁰. Mais on peut aussi agir directement en cours de culture lorsque le coût de la main-d'œuvre n'est pas un facteur limitant : interventions sur cocotier vis-à-vis des crabes et des rynchophores, sur cotonniers vis-à-vis de *H. armigera* et d'autres chenilles en particulier phyllophages⁴¹, dans les plantations de manguiers avec un filet pour capturer les adultes d'*Othreis fullonia*⁴² ou sur le riz vis-à-vis des pyrales.

● Supprimer les supports des parasites et ravageurs au niveau de la culture

Cela n'est pas toujours possible car les supports des nuisances sont souvent les parties productives de la culture. Mais dans certains cas, des actions de ce type peuvent être mises en œuvre. Ainsi, en étêtant les cotonniers avant la fin de la campagne⁴³, on supprime les lieux privilégiés de ponte de *H. armigera* dont les infestations sont fortes en fin de campagne. De même, pour limiter les dépôts de miellat sécrétés par *Aphis gossypii*⁴⁴ ou *Bemisia tabaci*⁴⁵, on pourra défolier les cotonniers en fin de campagne avant que ces ravageurs produisent leurs effets. Pour le cacaoyer on pratique fréquemment un égourmandage pour réduire les infestations de mirides en supprimant des lieux privilégiés de développement de ces ravageurs. Enfin, on recèpe les plants de pyrèthre lorsqu'ils sont atteint de ramulariose qui nécrose les hampes et les boutons floraux.

37 Une maladie virale du cacaoyer ou la trachéomycose du caféier.

38 Maladie bleue, virescence et mosaïque du cotonnier.

39 Linnaeus.

40 Cas de *B. fusca* dans les tiges de maïs.

41 *Spodoptera littoralis* Fabricius ou *Sylepta derogata* Fabricius.

42 Clerck.

43 Pas trop tôt pour ne pas nuire au potentiel de production des plants.

44 Glover.

45 Gennadius.

● Les méthodes biologiques de protection

Ces méthodes concernent essentiellement les ravageurs contre lesquels on utilise soit des insectes utiles soit des entomopathogènes⁴⁶. Elles sont en général sélectives, n'affectent pas ou peu la faune auxiliaire, ne changent pas ou peu le statut d'autres ravageurs que ceux visés, sont peu toxiques et inoffensives pour l'environnement. Cependant, elles peuvent être coûteuses, souvent lentes et de courte durée dans leurs effets et parfois incompatibles avec d'autres mesures de protection destinées à combattre d'autres ravageurs que ceux visés par ces méthodes. Elles nécessitent souvent d'intervenir sur des stades précis (jeunes en général) d'un ravageur pour être efficaces et exigent parfois des conditions particulières de stockage et d'application.

De plus, bien que biologiques ces méthodes peuvent parfois présenter des risques écologiques. Ainsi, lorsque leur spectre d'action est insuffisamment connu, des espèces utiles peuvent être affectées ou éliminées : ce fut le cas d'un lépidoptère introduit pour lutter contre des adventices qui fut décimé par des introductions de trichogrammes destinées au contrôle d'autres ravageurs. Des résistances à certaines préparations biologiques, comme celles contenant des toxines de *Bacillus thuringiensis* Berliner, peuvent également apparaître. Par des flux géniques, certains microorganismes utilisés en lutte biologique peuvent perdre leurs qualités ou en acquérir d'autres pouvant se révéler néfastes. Enfin, l'efficacité de certains agents de lutte biologique peut être compromise par l'existence d'autres espèces qui occupent la même niche écologique.

Malgré une très grande diversité d'auxiliaires pour la plupart des cultures, les exemples d'utilisation sont relativement peu nombreux même s'ils peuvent parfois concerner des surfaces importantes. Les plus souvent cités se réfèrent aux lâchers de trichogrammes contre certains borers dans les cultures de riz, contre *H. armigera* dans des parcelles de cotonniers ou de tomates ou contre *B. fusca* ou *O. furnicalis* dans les champs de maïs. La production de ces hyménoptères parasites peut être réalisée dans de grandes unités mais aussi à l'échelle de l'exploitation familiale comme cela est fait dans certains pays d'Asie. Le lâcher est toujours inondatif : plusieurs centaines de milliers d'oeufs parasités sont déposés à l'hectare, sur des petits supports légers que l'on répartit dans le champ en les accrochant le plus souvent sur la plante. Cette opération peut parfois être renouvelée plusieurs fois pendant la campagne pour en augmenter l'efficacité.

D'autres exemples d'utilisation d'auxiliaires concernent d'autres parasites et des prédateurs comme les coccinelles pour lutter contre les cochenilles du cocotier ou du palmier-dattier, le braconide *Apanteles flavipes*, parasite du borer de la canne à sucre *Chilo sacchariphagus sacchariphagus*⁴⁷ et une punaise *Oecanthoconia fuscicollata*⁴⁸, pour contrôler les infestations de *H. armigera* dans les cultures de cotonniers. Mais, l'utilisation de ces entomophages repose souvent sur leur introduction à partir d'autres régions du monde et doit pour réussir bénéficier d'un ensemble de conditions favorables rarement faciles à réunir.

46 Entomopathogène : organisme (bactérie, champignon, virus... qui peut provoquer une maladie chez l'insecte ravageur.

47 Bojer.

48 Wolff.

Deux principaux types d'agents entomopathogènes sont utilisés : les baculovirus et les bacilles de *B. thuringiensis*⁴⁹. En effet, dans la pratique, il y a peu d'utilisation d'autres agents entomopathogènes : une granulose contre une chenille du manioc *Erinnyis ello*⁵⁰, des bactéries du genre *Serratia*, un champignon *Beauveria* pour lutter contre le ver blanc de la canne à sucre.

● Les baculovirus

Ils provoquent des maladies appelées polyédroses qui détruisent complètement certaines chenilles. Les préparations de baculovirus, à base de cadavres de chenilles infectées, sont épandues comme des insecticides chimiques. Elles peuvent être fabriquées en récoltant des chenilles virosées dans les cultures⁵¹ ou à partir d'élevages d'une espèce sensible, comme le font certaines sociétés phytosanitaires. Ces préparations ont longtemps été sensibles à l'action des ultra-violets et des pH alcalins. Ces défauts ont été en partie corrigés mais la fréquence d'application de ces préparations doit encore être élevée pour atteindre une certaine efficacité. Des préparations commerciales sont actuellement employées avec quelques succès sur certaines cultures tropicales comme le soja contre *Anticarsia gemmatilis*⁵² ou le cotonnier contre *H. armigera* et quelques *Spodoptera* sp. Mais il existe un plus grand nombre d'applications de ces formulations à base de baculovirus sur des cultures de milieu tempéré.

● Les toxines de *B. thuringiensis*

Elles agissent également après ingestion. Contrairement aux baculovirus, leur champ d'application ne se limite plus au seul ordre des Lépidoptères. Certaines toxines affectent des diptères⁵³ et d'autres des coléoptères. La production de ces toxines est réalisée par des sociétés phytosanitaires car elle nécessite des moyens importants. Les préparations s'épandent comme des insecticides chimiques et sont relativement efficaces. Cependant, des résistances à ces toxines sont déjà rapportées.

Avec ces insecticides biologiques qui agissent par ingestion, la mort de la cible n'intervient pas immédiatement après application comme le font la plupart des insecticides chimiques. Le ravageur peut encore, pendant quelques jours, provoquer des dégâts. Plus les stades visés du ravageur sont juvéniles, plus ces préparations sont efficaces. Une surveillance attentive des infestations doit donc accompagner l'emploi de ces méthodes de protection. Enfin, ces préparations provoquant des maladies chez les ravageurs, tout procédé qui contribuera à les affaiblir renforcera leur action. Ainsi des synergies (ou potentialisations) ont été montrées lorsqu'on leur ajoute de très faibles doses d'insecticides chimiques.

Il y a peu d'utilisation d'agents biologiques comme méthode de lutte contre les maladies cryptogamiques ou bactériennes.

49 Il en existe différentes souches.

50 *Linnaeus*.

51 Cette méthode est appropriable par les agriculteurs.

52 Hübner.

53 *Aedes aegypti* Linnaeus vecteur de la fièvre jaune.

● *L'emploi d'attractifs*

Les phéromones sexuelles sont des substances émises par un insecte⁵⁴ pour attirer l'individu de sexe opposé. Elles sont spécifiques à chaque espèce. Le plus souvent les phéromones sexuelles ne sont pas utilisées comme moyen direct de protection des cultures, mais pour surveiller ou prévoir les infestations d'une culture par un ravageur. Elles sont cependant parfois employées pour perturber les accouplements chez une espèce et réduire en conséquence les infestations. Mais cela ne donne des résultats satisfaisants que lorsque l'accouplement a lieu uniquement au sein de la culture⁵⁵. Elles peuvent aussi être employées pour capturer en masse les individus d'une espèce et les détruire au niveau des lieux de capture⁵⁶. Cela est réalisé pour le charançon du cotonnier⁵⁷ en Amérique du Sud.

En dehors des attractifs sexuels, on utilise aussi divers types d'appâts (souvent alimentaires) pour attirer certains ravageurs et pouvoir ainsi les détruire plus facilement sur le lieu de leur piégeage (cas de nombreux rongeurs et des escargots).

● *L'utilisation raisonnée des pesticides*

Lorsque toutes les alternatives à la lutte chimique ne permettent pas de contenir une nuisance, on a recours aux pesticides. Mais cela ne se justifie que si les dégâts que pourrait provoquer cette nuisance sont économiquement plus importants que les coûts engendrés par l'intervention chimique. Si les coûts directs de l'intervention sont en général assez faciles à estimer, les coûts indirects le sont beaucoup moins en raison de la diversité des effets des pesticides. Leur utilisation peut en effet faire apparaître d'autres nuisances : destruction de l'équilibre existant, augmentation de la résistance du nuisible aux matières actives utilisées pour le combattre, modification de la biodiversité, risques pour la santé humaine et l'environnement.

La définition d'un seuil économique pour une nuisance dépend d'un grand nombre de facteurs en interaction : la plante cultivée, le potentiel local de rendement, les cours des produits de la culture, les coûts de l'intervention et les effets attendus du nuisible. Ceux-ci dépendent de la dynamique probable du nuisible, fonction du climat et du stade de développement de la plante et des conditions de culture. Le seuil de nuisibilité varie dans le temps alors qu'il est très souvent nécessaire dans la pratique de définir un seuil d'intervention valable dans une large gamme de conditions.

Une bonne estimation de la nuisance probable à un moment donné requiert l'utilisation de techniques d'échantillonnage adéquates à l'échelle de la parcelle pour estimer l'effectif de ravageurs ou la nuisance elle-même (les dégâts occasionnés). Des études de répartition spatiale ainsi que de solides connaissances pour prévoir à partir d'un état initial l'évolution d'une nuisance en l'absence d'intervention sont nécessaires.

⁵⁴ Le mâle ou la femelle.

⁵⁵ Cas du ver rose du cotonnier : *P. gossypiella*.

⁵⁶ Par adjonction d'un insecticide.

⁵⁷ *Anthonomus grandis grandis* Boheman.

La lutte étagée ciblée (LEC) : un exemple de lutte chimique raisonnée

En culture cotonnière en Afrique francophone, après plusieurs décennies de lutte chimique conseillée, la lutte étagée ciblée est le premier programme de lutte chimique raisonnée à être mis au point et adopté par les agriculteurs.

La technique d'application Bas Volume (10 litres/ha) actuellement utilisée par les producteurs africains de coton a permis de lever certaines contraintes liées à l'emploi de formulations huileuses appliquées en Ultra Bas Volume (UBV = 1 à 3 litres/ha de produit commercial prêt à l'emploi). L'utilisation de formulations CE, outre le fait de générer une diminution du coût des spécialités phytosanitaires d'environ 20 %, a permis de moduler les choix de matières actives à appliquer en fonction des ravageurs présents. Elle rend également possible le mélange extemporané de plusieurs produits commerciaux et permet donc de développer des nouvelles stratégies de lutte.

Au départ, la lutte étagée ciblée correspond à un besoin de traiter moins, mais de protéger mieux le cotonnier de ses ravageurs que dans les programmes vulgarisés antérieurement en Afrique francophone. Elle permet également une adaptation aux conditions locales du parasitisme comme de la production. Généralement, trois groupes de ravageurs sont pris en compte : les pucerons, la chenille phyllophage *S. derogata* et les chenilles de la capsule. Ce choix est lié à la facilité d'observation des symptômes d'attaque des deux premiers, tandis que la prise en compte des chenilles des capsules, qui constituent la principale source des pertes de production, est incontournable.

Le principe de mise en œuvre de la LEC le plus souvent retenu consiste à appliquer au cotonnier une protection de base, assurée par un programme de 5 à 6 pulvérisations, dans lequel une formulation binaire (pyréthrinéoïde + organo-phosphoré) est appliquée à une dose réduite, mais suffisante pour contrôler les éléments secondaires du parasitisme (punaises, chenilles à régime endocarpique). Une semaine après chaque application calendaire, on réalise des observations sur 25 plantes choisies au hasard dans la diagonale de la parcelle. Si, au cours de cet échantillonnage, on totalise cinq plantes ou plus attaquées par *S. derogata* ou cinq chenilles carpophages, on applique aussitôt la formulation insecticide en forme binaire. Un aphicide spécifique sera utilisé si, lors de cette observation, on dénombre au moins vingt plantes attaquées par des colonies de pucerons. Pour lutter à la fois contre chenilles et pucerons, on associe les deux types d'insecticides. Pour faciliter l'obtention et l'interprétation des résultats, on utilise parfois une planchette perforée sur laquelle une cheville mobile permet d'indiquer au fur et à mesure du déplacement de l'observateur le nombre de plantes observées et les ravageurs comptabilisés.

Il existe d'autres variantes de la LEC selon les pays, tant le faciès parasitaire du cotonnier est complexe et virulent, mais le principe reste le même : passer d'un mode de protection où les applications sont réalisées selon un calendrier préétabli à une modalité nouvelle, où les interventions sont raisonnées en fonction de la pression parasitaire. Il existe de nombreux freins au développement de la LEC : type de parasitisme, formation des acteurs, mise à disposition et facturation des intrants. Elle a cependant connu des développements importants sur plusieurs dizaines de milliers d'hectares dans un certain nombre de pays : Cameroun, Mali, Bénin.

Dans ces pays, les résultats sont très encourageants : une efficacité très satisfaisante, des économies monétaires très significatives (de 40 à 50 %) pour les utilisateurs et un meilleur respect de l'environnement.

L'utilisation raisonnée des pesticides repose également sur d'autres règles. Dans le choix des pesticides, on opte pour ceux ayant à la fois une action sélective, le moins d'effets secondaires néfastes sur les auxiliaires et l'environnement et les moins toxiques pour la santé humaine. De plus, ce choix tient compte des stratégies développées pour éviter ou retarder tout phénomène d'acquisition par l'agent nuisible de résistance aux pesticides. Pour la même raison et afin de limiter l'ampleur des effets secondaires (cas d'un sur-dosage), la dose d'utilisation du pesticide doit correspondre aux recommandations. Enfin, on doit agir au moment où l'agent responsable de la

nuisance est le plus sensible au pesticide choisi et utiliser des équipements adaptés et en bon état de fonctionnement, en respectant les précautions d'utilisation.

Le traitement de semences avec des pesticides est souvent employé pour limiter l'incidence d'une nuisance. Cette pratique ne peut réellement être considérée comme une mesure de protection intégrée que dans les situations où, par expérience sur plusieurs campagnes, on estime suffisante l'importance d'une nuisance (par exemple pour les fontes de semis ou la maladie bleue du cotonnier).

Enfin, les pesticides d'origine végétale, appelés bio-pesticides, peuvent être employés, mais dans les mêmes conditions que les pesticides de synthèse au regard des principes de la protection intégrée. Certains de ces pesticides ont une action fongicide (extrait de feuilles de papayer ou de moringa), d'autres ont des propriétés insecticides ou acaricides : acore odorant, annones, pyrèthre, neem, pourghère. Leurs applications pratiques les plus fréquentes concernent la protection des denrées stockées.

● **Les autres technologies**

Depuis quelques années, certaines biotechnologies permettent d'insérer dans le génome des plantes cultivées des gènes exogènes d'intérêt agronomique. Parmi ceux de première génération qui sont déjà utilisés sur des cultures, certains codent pour des toxines de *Bacillus thuringiensis*, permettant à la plante de présenter une résistance à certains bio-agresseurs (notamment des insectes appartenant aux ordres des Lépidoptères). Plusieurs cultures, à base de plantes génétiquement modifiées, sont conduites de par le monde sur de très grandes surfaces. C'est par exemple le cas du cotonnier. Si l'efficacité de cette technologie est reconnue jusqu'à maintenant, les premiers phénomènes de résistance des ravageurs-cibles aux gènes d'intérêt sont avérés. Il convient donc de considérer cette technique comme un des outils de la protection intégrée, à utiliser à bon escient, en complément des autres techniques utilisées ; mais en aucun cas, l'emploi de plantes génétiquement modifiées ne peut être considéré comme la seule façon de lutter contre des ravageurs ou des maladies.

● **La gestion des organismes prédateurs par la protection intégrée**

À travers les exemples précédents, on constate que pour les principaux organismes responsables de nuisances, il est possible de mettre en œuvre un ensemble varié de méthodes conçues dans le cadre d'un développement durable des agro-systèmes.

Le principal principe sur lequel s'appuie la démarche de protection intégrée est d'associer de manière raisonnée à des caractères de résistance ou de tolérance de la plante aux bio-agresseurs, des méthodes de lutte culturales, biologiques ou, si nécessaire, chimiques.

Dans la pratique, pour atténuer l'incidence des maladies cryptogamiques ou bactériennes, on associe le plus souvent à l'emploi de variétés résistantes, tolérantes ou présentant une pseudo résistance à travers certaines caractéristiques agronomiques un ensemble de mesures culturales⁵⁸ et une utilisation raisonnée de pesticides.

Vis-à-vis des maladies virales ou mycoplasmaïques, outre la destruction des plants atteints lorsque leur nombre n'est pas trop important et l'emploi d'un matériel végétal

⁵⁸ Choix du site, destruction des résidus de récoltes, éradication de plants ou organes atteints, rotations culturales, choix d'un matériel végétal indemne, choix des dates de semis, fumure équilibrée, etc.

sain, les mesures de protection intégrée reposent sur la culture de variétés résistantes ou sur des mesures de protection intégrée contre les agents vecteurs des maladies.

Pour les nématodes, c'est essentiellement à travers les rotations de cultures que leur incidence peut être réduite car peu de variétés résistantes existent et la lutte chimique, souvent onéreuse, ne peut être considérée actuellement comme une pratique de protection intégrée.

Contre les insectes et les acariens, de nombreuses combinaisons de méthodes de protection intégrée sont possibles : profiter au mieux des facteurs naturels de limitation des populations, cultiver une variété résistante, utiliser un matériel végétal sain, mettre en œuvre des pratiques culturales qui améliorent les capacités de résistance de la culture et limitent la pression des ravageurs en favorisant ou non le rôle des auxiliaires, détruire manuellement certains stades des ravageurs ou certains hôtes alternatifs, introduire des agents biologiques de lutte contre les ravageurs, intervenir avec des moyens chimiques spécifiques, peu toxiques et ayant un minimum d'effets secondaires lorsque les seuils économiques sont dépassés. Dans les cas les plus simples, cette protection intégrée associe des pratiques culturales à une utilisation raisonnée des pesticides, sans oublier la résistance variétale lorsqu'elle existe.

Il est important de toujours raisonner la compatibilité des méthodes qu'on souhaite combiner sur la même parcelle.

L'UTILISATION DES PESTICIDES

À savoir

De nombreux pesticides sont en voie d'interdiction au sein de l'Union européenne⁵⁹. Cette législation est complexe et distingue les pesticides⁶⁰ et les biocides⁶¹. Les lecteurs sont invités à consulter le site Internet de la Commission européenne⁶². Des informations sur papier sont également publiées, en français, dans l'Index phytosanitaire ACTA⁶³. On peut enfin consulter le site de l'Agence américaine de l'environnement⁶⁴.

Certains sites Internet donnent des informations sur la gestion des pesticides :

- politique de la commission européenne en matière d'utilisation des pesticides dans les pays en voie de développement⁶⁵ ;
- banque de données pesticides pour l'Asie financée par la Commission européenne et réalisée par le consortium IPHYTROP et l'ESCAP⁶⁶ ;
- références techniques de la plupart des pesticides sur le site de l'Agence de l'environnement américaine⁶⁷.

⁵⁹ Directive 91/414/CEE du Conseil du 15 juillet 1991, Conseil européen, 2001.

⁶⁰ Directive 91/414, Conseil européen, 2001.

⁶¹ Directive 98/8, Parlement européen, 2001.

⁶² Eur-Lex, 2002.

⁶³ ACTA, 2001 ; ACTA, 2002.

⁶⁴ EPA, 2002 b.

⁶⁵ PAN, 2002.

⁶⁶ FADINAP, 2001.

⁶⁷ EPA, 2002 a.

● Les principales familles d'insecticides et acaricides

Ces molécules peuvent être d'origine minérale, végétale ou issues d'une synthèse chimique. Cette dernière catégorie est actuellement la plus utilisée en agriculture. La plupart des substances sont des neuro-toxiques⁶⁸. Elles provoquent une hyperactivité générale, perturbent les mouvements comme l'alimentation et entraînent des tremblements, des convulsions aboutissant à la paralysie et à la mort de la cible. D'autres substances agissent sur les mécanismes respiratoires⁶⁹. Enfin, un dernier groupe interfère avec les processus de mue des arthropodes⁷⁰.

Toutes ces substances pénètrent dans la cible soit par contact, soit par ingestion, soit par inhalation mais certaines d'entre elles peuvent pénétrer par deux ou trois voies différentes. Depuis que la plupart des organo-chlorés sont interdits d'utilisation ou retirés de la vente, les plus importantes familles d'insecticides et acaricides sont actuellement les organo-phosphorés, les carbamates et les pyréthri-noïdes. En général, les substances d'une même famille ont le même type d'action.

● Les organo-phosphorés

Ces molécules qui contiennent un atome de phosphore sont en général des neuro-toxiques mais certaines ont une action ovicide. Il existe une grande variabilité de structure au niveau des molécules, à l'origine d'une grande diversité de propriétés et de comportement dans le sol et les plantes. Ainsi c'est la seule famille dans laquelle on trouve des insecticides⁷¹, des acaricides⁷² et des nématicides⁷³. Indépendamment du fait que l'augmentation de la dose d'utilisation d'une substance élargisse son spectre d'action⁷⁴, certains organo-phosphorés sont efficaces sur plusieurs espèces⁷⁵ alors que d'autres sont beaucoup plus sélectifs⁷⁶.

En général les organo-phosphorés insecticides sont employés contre les insectes piqueurs suceurs⁷⁷, les coléoptères, les chenilles phyllophages et les acariens. Certaines substances telles que la phosalone préserveraient mieux la faune auxiliaire⁷⁸. Des organo-phosphorés qui présentent une faible toxicité sont utilisés dans le traitement des denrées stockées⁷⁹. Par contre d'autres sont très toxiques et nécessitent des mesures importantes de précaution lors de leur emploi⁸⁰ et ils sont d'ailleurs actuellement interdits de vente dans de nombreux pays.

Certains organo-phosphorés sont solubles dans des solvants organiques et non dans l'eau, alors que d'autres sont hydrosolubles⁸¹ ; d'autres sont complètement insolubles⁸²

68 Avermectines, carbamates, cyclodiènes, formamidines, organo-phosphorés, organo-chlorés et pyréthri-noïdes.

69 Roténone, cyhexatin, sulfonates, arsenicaux.

70 Acyl urées, benzol urées, azadirachtine, benzhydrazides, dérivés des pyridines, méthoprène.

71 Fenitrothion.

72 Triazophos.

73 Isazophos ou l'éthioprophos.

74 Profénofos.

75 Parathion et dichlorvos.

76 Diméthoate.

77 Incluant les thysanoptères.

78 Coccinelles, chrysopes et les hyménoptères parasites.

79 Malathion, pyrimiphos méthyl.

80 Azynphos éthyl, méthyl parathion, avermectines.

81 Acéphate.

82 Tétrachlorvinphos.

dans ces deux catégories de solvants. En fonction des doses mais surtout des conditions d'utilisation (surdosage) certaines molécules peuvent être phytotoxiques⁸³. En ce qui concerne leur devenir dans le sol ou sur le végétal, les organo-phosphorés sensibles à l'hydrolyse sont rapidement détruits alors que les autres peuvent parfois persister plusieurs mois. On les classe d'après leur comportement vis-à-vis de la plante : on distingue ceux qui restent à la surface du végétal⁸⁴ de ceux qui sont dotés d'un pouvoir de pénétration dans les plantes et sont véhiculés par la sève⁸⁵. Du fait de ces variations de propriétés entre molécules, les organo-phosphorés sont employés dans de nombreux usages agricoles : traitement des sols, pulvérisation foliaire, traitement des denrées stockées et traitement des semences.

● Les carbamates

Les carbamates insecticides et acaricides⁸⁶ sont pour la plupart des dérivés de l'acide carbamique. Si quelques carbamates sont utilisés comme analogues de l'hormone de mue⁸⁷ et d'autres ont une efficacité ovicide⁸⁸, ce sont en général des neurotoxiques qui agissent comme les organo-phosphorés. Les symptômes de l'intoxication chez la cible sont très légèrement différents et apparaissent beaucoup plus rapidement qu'avec les organo-phosphorés. Cependant, au niveau de la cible et dans la plante, ces molécules sont plus rapidement absorbées, détoxifiées⁸⁹ et éliminées. Ainsi, il a été observé des cas de récupération après une période de paralysie. Comme pour les organo-phosphorés, en raison de la diversité des molécules existantes et des propriétés, il existe de multiples possibilités d'utiliser les carbamates en agriculture. Cependant, ils sont principalement employés pour le traitement des sols et des semences.

Certains⁹⁰ sont peu toxiques alors que d'autres⁹¹ nécessitent plus de précautions dans leur utilisation. Certains carbamates ont un très large spectre d'action : l'aldicarbe est doté de propriétés insecticides, acaricides et nématocides et le carbofuran agit sur les insectes, les myriapodes et les nématodes. Mais ces substances sont aussi très toxiques pour l'homme. Le carbaryl est actif contre de nombreux lépidoptères et coléoptères et quelques insectes piqueurs suceurs, sauf les pucerons. On lui reproche de favoriser les acariens. Le pyrimicarbe est un aphicide efficace qui épargnerait la faune auxiliaire. Les carbamates pénètrent dans la cible essentiellement par contact et par ingestion. Seul le carbofuran est cité pour agir par inhalation. De nombreuses molécules sont dotées de propriétés systémiques : aldicarbe, carbofuran, carbosulfan, furathiocarbe et méthomyl. Plus rarement elles sont translaminaires⁹². Enfin certaines peuvent être phytotoxiques lorsqu'elles sont mal employées⁹³.

81 Acéphate.

82 Tétrachlorvinphos.

83 Monocrotophos.

84 Triazophos.

85 Action systémique : profénofos.

86 Aucun n'étant considéré comme uniquement acaricide.

87 Fenoxycarb.

88 Méthomyl.

89 Par hydrolyse et oxydation.

90 Carbaryl, fenoxycarb.

91 Méthomyl, aldicarbe.

92 Pyrimicarbe.

93 Carbofuran.

● Les pyréthrine et les pyréthrinoides

Le pyrèthre est un végétal connu depuis très longtemps pour ses propriétés insecticides. Les substances actives sont contenues dans les inflorescences de plantes du genre *Chrysanthemum*⁹⁴ que l'on pulvérise après les avoir fait sécher. Ces substances appelées pyréthrine sont au nombre de six. Elles confèrent les propriétés insecticides et sont à l'origine de l'effet de prostration⁹⁵ réversible caractéristique de cette famille de molécules. Pour limiter la destruction des pyréthrine au niveau de la cible, on leur adjoint un synergiste (pyperonyl butoxide le plus souvent) dans la plupart des formulations. En raison de leur grande efficacité, les pyréthrine ont longtemps été utilisées en agriculture contre de nombreuses espèces de ravageurs : pucerons, charançons, jassides, thrips et lépidoptères. Mais c'est surtout dans le domaine de la santé publique qu'elles sont employées en raison de leur faible toxicité vis-à-vis des mammifères et de leur faible rémanence.

En partant du modèle chimique des pyréthrine, des synthèses ont permis d'obtenir des molécules appelées pyréthrinoides à la fois plus photostables et plus efficaces. En plusieurs générations, des matières actives très photostables (quelques semaines), à plus large spectre d'action (la bifenthrine est active contre les pucerons et les lépidoptères) et très efficaces, même à des doses très faibles (quelques grammes par hectare) ont été créées. Leur faible toxicité pour les mammifères⁹⁶ est surtout due à leur faible dose d'utilisation et au fait que les produits de dégradation apparaissent relativement vite, sont peu toxiques et ne sont pas accumulés dans les graisses. En revanche, tous les pyréthrinoides sont très toxiques pour les animaux à sang froid (notamment les poissons). Cette toxicité est renforcée par la lenteur de la dégradation des pyréthrinoides en condition anaérobies. De même, on a souvent noté des effets négatifs des pyréthrinoides sur les abeilles.

Les pyréthrinoides les plus employés actuellement diffèrent notablement des pyréthrine naturelles par leurs propriétés physiques et chimiques. Presque tous les pyréthrinoides sont lipophiles et pratiquement insolubles dans l'eau. Ils sont pour la plupart peu volatiles alors que certaines pyréthrine l'étaient. Les exceptions peu nombreuses sont l'alléthrine, la prothrine et la vaporthrine utilisées contre les moustiques. Ils ne sont pas systémiques. Ainsi les pyréthrinoides sont surtout des insecticides de contact, peu efficaces par ingestion et ne peuvent pas être inhalés.

L'efficacité des pyréthrinoides dépend de la température : en général, ils sont plus actifs à températures basses qu'à températures élevées. Cela permet de comprendre l'élargissement du spectre d'action de certains pyréthrinoides lorsqu'ils sont utilisés en milieu tempéré comparativement au milieu tropical : beaucoup de pyréthrinoides sont aphicides en milieu tempéré mais ne le sont pas en milieu tropical où ils employés presque exclusivement contre les chenilles de lépidoptères. Les pyréthrinoides peuvent dans certains cas provoquer une répulsion (cas des insectes volants) et modifier le comportement des arthropodes (phago-inhibition et inhibition de la ponte). Depuis leur emploi à grande échelle au début des années 80, des résistances sont apparues chez certaines espèces dans quelques régions du monde (*H. armigera* en Thaïlande en particulier). Enfin aucun pyréthrinotide utilisé dans des conditions normales n'a provoqué de symptôme de phytotoxicité.

⁹⁴ *C. cinerariaefolium* est l'espèce commerciale cultivée.

⁹⁵ Abattement ou *knock down*.

⁹⁶ Qui varie en fonction du solvant.

● Les organo-chlorés

Il s'agit d'une famille où l'on trouve le DDT, encore utilisé pour lutter contre les vecteurs du paludisme, et ses dérivés. La plupart des organo-chlorés sont interdits du fait de leur persistance et des risques d'accumulation dans les sols, les tissus végétaux et les graisses animales. Quelques utilisations sont encore tolérées (diénochlorure, endosulfan), mais le contrôle de leur statut réglementaire est indispensable avant toute utilisation ou recommandation.

● Les principales familles de fongicides

Les traitements fongicides sont le plus souvent préventifs, mais ils peuvent parfois être éradicants s'ils interviennent dès l'apparition des symptômes, curatifs lorsqu'ils sont réalisés après le développement du parasite⁹⁷ ou antisporeux pour limiter la propagation de la maladie. Les fongicides sont employés en pulvérisation des parties aériennes ou en traitement des semences, des sols ou des denrées stockées.

Les fongicides peuvent être d'origine minérale ou organique. Les antibiotiques sont souvent interdits d'utilisation. Tous les fongicides d'usage agricole ont une action directe sur le parasite car les fongicides à action indirecte (après transformation dans la plante) sont en général phytotoxiques⁹⁸. Les modes d'action des fongicides sont beaucoup plus variés que ceux des insecticides ou des herbicides. La plupart des fongicides (plus de 80 %), comme le manèbe qui empêche la germination des spores, peuvent agir sur plusieurs sites au niveau du parasite de sorte qu'ils sont en général peu spécifiques et n'induisent pas de résistance. Les autres, qui ont une action sur un seul site, sont plus spécifiques et des cas de résistance ont déjà été notés.

Les fongicides peuvent être détruits par la lumière (chloranil), l'eau en fonction du pH, le dioxyde de carbone, l'oxygène et les microorganismes. Leur durée de vie dans le sol est extrêmement variable : demi-vie de trois à quatre jours pour le captane et jusqu'à 365 jours pour le bénomyl. Les fongicides ne s'accumulent pas dans les organes à faible transpiration (grains en particulier), ce qui constitue un avantage en matière de toxicologie. Comme pour les insecticides, les fongicides peuvent être systémiques⁹⁹ alors que d'autres ne circulent pas dans la plante et auront une action limitée aux parties traitées. En fonction de la dose d'utilisation et de la qualité de la préparation, certains fongicides peuvent être phytotoxiques.

● Les fongicides minéraux

Dans cette famille, on trouve l'un des plus anciens fongicides connus : la bouillie bordelaise. Les composés à base de cuivre, qui agissent au niveau des spores sur les mécanismes biochimiques de la respiration, permettent de limiter une infection mais ne l'éradiquent pas. Différents types de bouillies ont pour base, comme la bouillie bordelaise, le sulfate de cuivre : bouillie bourguignonne et bouillie Ibadan. En fonction de la dose d'utilisation, elles peuvent être phytotoxiques sur certaines plantes cultivées (plantes maraîchères). En raison de leur préparation et parfois de leur stockage délicats, on leur préfère les suspensions aqueuses d'oxychlorure de cuivre, bien qu'elles soient moins rémanentes.

97 Peu fréquents : bénomyl, metalaxyl.

98 Avec les exceptions de l'éthylphosphite d'aluminium contre les mildious et du probenazole contre la pyriculariose du riz.

99 Mais ce ne sont pas les plus nombreux.

Les produits à base de soufre, également d'une utilisation très ancienne¹⁰⁰ ont une action préventive¹⁰¹, surtout contre les oïdiums, mais ne peuvent pas être utilisés si la température atteint 30°C car ils deviennent phytotoxiques. Certaines formulations à base de soufre peuvent être dotées de propriétés acaricides.

D'autres fongicides inorganiques à base de métaux lourds (mercure, zinc, chrome) ont été employés par le passé mais sont actuellement bannis dans presque tous les pays en raison de leur très forte toxicité.

● Les fongicides organiques

Peut être en raison de la diversité des modes d'action, il existe de très nombreuses familles de fongicides d'origine organique. Quelques unes seront présentées ci dessous.

● Les carbamates

C'est une famille très importante de fongicides.

- > *les dérivés de l'acide carbamique et les benzimidazoles* (carbendazime, benomyl, thiabendazole) peuvent être dotés de propriétés systémiques. En raison de leur mode d'action, de nombreux cas de résistance (en particulier au benomyl) et de résistance croisée sont signalés. En général ces molécules sont très peu toxiques ;
- > *certain dérivés de l'acide thiocarbamique* peuvent être très proches des substances précédentes par les métabolites actifs qui se forment à l'intérieur du végétal ;
- > *les dérivés de l'acide dithiocarbamique* (zirame, zinèbe, manèbe, mancozèbe, mancooper, cuprobame, ferbame) et également *dérivés des thiurames* (thirame, carbatène) ont donné de nombreux fongicides. Ils sont presque tous non phytotoxiques, de spectre d'action assez large : le zirame est utilisé à la fois contre les rouilles, les anthracnoses et les cercosporioses et le métam-sodium est parfois employé comme fongicide, herbicide ou nématicide. Ils sont en général faiblement toxiques. Cependant certaines de ces molécules donneraient des produits de dégradation (thiourée) cancérogènes et mutagènes. Le zinèbe et le manèbe se conservent mal en milieu tropical.

● Les dérivés du benzène et du phénol

Les molécules dérivées du benzène sont en général très peu toxiques. Mais leur dégradation est parfois lente et elles peuvent s'accumuler dans les tissus adipeux (cas du PCNB ou quintozone). Ces dérivés sont employés en traitement des semences ou des sols mais aussi contre certaines maladies foliaires (cercosporioses et rouilles).

Il y a peu de fongicides dérivés du phénol. Ces molécules (dinocap et binapacryl) présentent une spécificité d'action contre les oïdiums. Le dinocap non systémique et non phytotoxique est peu rémanent. Le binapacryl est acaricide.

● Les quinones

Ces molécules (chloranil, dichlone et dithianon) ont un large spectre d'action et sont très peu toxiques.

100 Soufre en fleur, soufre jaune sublimé, trituré ou ventilé, soufre micronisé, soufre noir précipité brun ou gris, soufre mouillable.

101 Par contact et par vapeur si la température dépasse 20°C.

● **Les dicarboximes**

Ces fongicides très peu toxiques sont en général polyvalents (captane). Parmi les dicarboximes les plus connues, outre le captane, on peut citer le captafol, l'iprodione ou le folpel.

● **Autres familles de fongicides**

Parmi les familles de produits riches en fongicides on peut citer les amines et amides (carboxine, mépronil, oxycarboxine, forméthane, métalaxyl), les diazines (éthirimol), les sulfamides (tolyfluanide), les guanidines (doguadine), les hétérocycles divers avec en particulier les imidazoles (étridiazole, prochloraze), les organo-phosphorés (édifenphos) et les triazoles (penconazole). De nombreuses autres familles ne contiennent que quelques molécules fongicides, comme les phénoxyquinoléines, les pipéridines ou les pyridines.

● **La réglementation de l'utilisation des pesticides**

S'il est indéniable que les pesticides ont permis de grands progrès dans le domaine de l'agriculture et celui de la santé humaine, leur utilisation n'est malheureusement pas sans risque. En dehors de leur détournement pour des usages inappropriés (en particulier pour combattre les poux, pour la pêche ou la chasse ou encore pour la conservation des poissons), l'utilisation de pesticides entraîne un certain nombre de problèmes. En effet, ils peuvent être à l'origine d'intoxications chroniques ou aiguës plus ou moins graves¹⁰², s'accumuler dans la chaîne alimentaire ou rester à l'état de résidus encore toxiques sur des produits consommables par l'homme ou les animaux, contaminer l'eau, l'air et le sol et modifier le fonctionnement des écosystèmes.

Une législation et une réglementation sont donc nécessaires pour la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation de pesticides. Elle doit garantir aux agriculteurs efficacité et absence de risque d'intoxication. Pour le public et les consommateurs, les dispositions législatives et réglementaires visent à éviter toute exposition dangereuse aux pesticides et à fournir des produits de consommation contenant le moins possible de résidus toxiques. Les fabricants de pesticides ont également besoin de mesures fixant des normes de qualité pour les pesticides et permettant de retirer du marché les produits qui ne les respectent pas.

De nombreux pays développés ont adopté depuis longtemps une réglementation détaillée. Des autorités désignées homologuent les pesticides pour des périodes données sur la base de contrôles et d'un certain nombre d'informations que doivent fournir le fabricant ou l'importateur. Ces informations concernent des données chimiques, toxicologiques, biologiques et environnementales. Certaines d'entre elles doivent figurer (en utilisant parfois des pictogrammes) sur l'étiquette présente sur l'emballage ou le contenant d'un pesticide : son nom, le nom commun de la ou des matières actives, les caractéristiques de son homologation, le nom et l'adresse du fabricant, les conditions de stockage, les premiers soins à donner en cas d'intoxication, les champs d'application (cultures et nuisances visées), les directives d'utilisation (période d'utilisation en particulier par rapport à la récolte), les mauvaises utilisations (cultures et nuisances impropres à son utilisation), les limites de garantie fixées par le fabricant,

102 Chez l'agriculteur qui traite comme chez le consommateur final.

de durée de la période après traitement nécessitant que les personnes soient protégées lorsqu'elles pénètrent dans l'aire traitée et les risques physiques ou chimiques (risque d'explosion et inflammabilité en particulier).

La plupart des pays en développement n'ont pas encore de réglementation aussi complète. S'ils peuvent utiliser les informations données précédemment pour un pesticide car elles sont facilement disponibles, ils doivent néanmoins se doter d'autorités compétentes pour apprécier l'intérêt d'agréer un produit, variable selon les contextes.

Le code de conduite de la FAO

Des textes internationaux existent également : l'un des premiers documents, le PIC (Prior Informed Consent), est encore en vigueur à travers le code de conduite de la FAO pour la distribution et l'utilisation des pesticides, adopté en 1985 par 100 pays et amendé en 1989 pour contenir son règlement¹⁰³. Ce code est composé de douze articles dont huit, fixant les responsabilités de chacun, traitent du bon emploi des pesticides, d'une bonne information de l'utilisateur (en particulier adaptée à son niveau de connaissance), de la nécessité d'une évaluation de leurs effets à tous les niveaux (expérimentations associées à la formation), des mesures à prendre pour limiter les risques pour la santé humaine, des nécessaires procédures d'homologation dans chaque pays, du commerce et de la distribution de ces produits, des obligations en matière d'étiquetage, de conditionnement, de stockage, de vente et de publicité.

Ce règlement prévoit qu'un pays ne peut exporter un pesticide interdit, d'utilisation restreinte ou sévèrement réglementée dans plusieurs pays que s'il transmet toutes ces informations au pays importateur et que celui décide néanmoins son importation. Pour cela, la FAO et le PNUE¹⁰⁴ préparent un DGD (Decision Guide Document) pour tout pesticide entrant dans cette catégorie ou appartenant à la catégorie la (extrêmement toxique) de l'OMS¹⁰⁵ ou encore dont la production a cessé. Ce DGD contient toutes les informations relatives à ce pesticide. Il est adressé au pays importateur. Si le pays importateur adhère au code de conduite, il doit désigner une autorité compétente (souvent le service de la protection de végétaux) qui est responsable des tâches liées à ce code et dispose de 90 jours après réception du DGD pour faire connaître sa décision quant à l'importation du pesticide. Cette décision est ensuite transmise par la FAO et le PNUE à tous les autorités compétentes des pays adhérant au code de conduite de la FAO.

Le code de la FAO s'applique également aux groupements régionaux de nations qui peuvent y ajouter des dispositions supplémentaires.

● Le traitement des intoxications par les pesticides

Les pesticides peuvent pénétrer dans le corps humain par la peau, les voies respiratoires et le tube digestif et sont souvent à l'origine d'intoxications. Trois éléments vont principalement déterminer la gravité de l'accident : la toxicité des matières actives et des autres constituants de la formulation, la quantité pénétrant dans le corps humain et la durée de l'exposition. Les symptômes d'intoxication peuvent être aigus (provoqués par une dose unique et élevée), subaigus (dus à l'action répétée de doses plus faibles) ou chroniques (engendrés par un contact régulier avec des doses trop faibles pour agir seules). De nombreux pesticides provoquent des irritations de la peau, des yeux et des muqueuses respiratoires qui, si elles sont répétées, entraînent des

103 Consultable sur le site de la FAO : www.fao.org.

104 Programme des Nations-Unies pour l'environnement.

105 Organisation mondiale de la santé.

maladies graves. Enfin, des allergies indépendantes de la dose sont également attribuables aux pesticides. Leur gravité dépend des réactions individuelles aux substances en cause.

● Les principaux symptômes d'intoxication

En fonction de la gravité et du type d'intoxication (aiguë, sub-aiguë ou chronique), des groupes de substances (en particulier les rodenticides) et même des substances à l'intérieur d'un même groupe, les symptômes sont différents. Cependant, quel que soit le groupe de substances, il existe quelques symptômes communs à la plupart des intoxications aiguës lorsqu'elles sont légères : céphalées, nausées, vomissements et douleurs abdominales. Lorsque les intoxications aiguës sont plus sévères, les symptômes deviennent plus spécifiques.

Avec certains pesticides, on note une salivation et une sudation accrues (organo-phosphorés et carbamates), une soif anormale, une sensation de fièvre (composés dinitrophénoliques) ou au contraire une baisse de température (dithiocarbamates) à la suite d'intoxications légères à graves. Des symptômes de faiblesse allant d'une simple anémie jusqu'à des vertiges, une perte de connaissance ou de conscience sont également observés. Le système digestif peut également être affecté : cela se manifeste par de simples coliques accompagnées de diarrhées jusqu'à des troubles sérieux du fonctionnement du foie et des reins ou des ulcérations de la gorge et de l'œsophage. Au niveau du système musculaire et en lien avec une atteinte du système nerveux, les troubles qui apparaissent se traduisent par des douleurs, des engourdissements, des contractions, des raideurs, des tremblements (organo-chlorés), des difficultés à parler ou à marcher (organo-phosphorés et carbamates), des troubles de coordination et, dans les cas les plus graves, des convulsions, parfois généralisées, et l'asphyxie.

Certaines lésions peuvent toucher le système nerveux et le cerveau dans le cas d'intoxications chroniques. On note parfois des modifications du comportement de la personne intoxiquée qui peut ressentir un manque d'appétit (intoxications chroniques), des bourdonnements d'oreille, des troubles de la vision, mais la personne intoxiquée peut connaître aussi des périodes de grande anxiété, de nervosité (organo-chlorés), d'hypersensibilité ou d'hyperémotivité ou à l'inverse aussi des moments d'hébétude ou d'apathie (organo-phosphorés, carbamates et dithiocarbamates). Les affections de la peau peuvent être de simples irritations (pyréthrinoïdes), des rougeurs, une coloration jaune (composés dinitrophénoliques), des dermites, des exanthèmes ou une dépigmentation (aryloxyacides).

Les voies respiratoires sont également souvent touchées : une irritation peut entraîner une toux, un rhume, des obstructions nasales, des allergies qui provoquent des crises d'asthme, des brûlures, des expectorations sanglantes, une fibrose (ammoniums quaternaires) ou un œdème pulmonaire (composés phénoliques). Les atteintes des systèmes musculaire et nerveux peuvent également accélérer la respiration et des tendances à l'asphyxie apparaissent avec certaines intoxications provoquées par des insecticides (organo-phosphorés et carbamates). Enfin, au niveau cardiaque et vasculaire, des troubles peuvent être notés : chute de la tension artérielle, palpitations, arythmie (dithiocarbamates), tachycardie et même altérations du myocarde (composés dinitrophénoliques).

Avec les rodenticides, les symptômes d'intoxication sont spécifiques et ils se manifestent par des ecchymoses, la présence de sang dans l'urine et les selles, des hémorragies au niveau des gencives ou du nez¹⁰⁶ et même du cerveau ou d'autres organes, conduisant en général à une très grande faiblesse du malade et parfois à l'état de choc ou au coma.

Les intoxications chroniques avec certaines substances peuvent provoquer des tumeurs ou bien avoir des effets cancérogènes, mutagènes, tératogènes ou toxiques pour les embryons.

● Le diagnostic de l'intoxication

Lors d'une intoxication par des pesticides il est important d'établir le plus rapidement possible un diagnostic qui comporte les éléments suivants : la nature du pesticide¹⁰⁷, la quantité à l'origine de l'intoxication, les voies de l'intoxication, la durée et le moment de l'intoxication, les premiers soins déjà apportés et les causes de l'intoxication. L'observation de symptômes caractéristiques pourra aider à l'établissement de ce diagnostic quant à la nature du pesticide à l'origine de l'intoxication. Dans certains cas, l'analyse des urines peut être un indicateur précis de la nature d'une intoxication.

● Les premiers soins

Il faut en premier lieu soustraire le malade du lieu de l'intoxication et le mettre dans des conditions qui lui permettent de retrouver une respiration régulière et un pouls normal. Si sa peau est entrée en contact avec le pesticide, il convient de le dévêtir, de le laver à grande eau savonneuse et de bien nettoyer ses cheveux et ses ongles. On évite d'utiliser des solvants (essence en particulier) ou de frotter énergiquement car l'absorption par la peau du pesticide peut s'en trouver favorisée. Lorsque les yeux ont été contaminés, en maintenant les paupières bien ouvertes, on les rince suffisamment longtemps avec un jet d'eau (exclusivement) doux et continu avant de nettoyer les paupières avec un tissu humide pour ôter les résidus.

Dans le cas d'une intoxication des voies respiratoires, le malade doit être placé dans un endroit aéré et frais (si cela est possible) et on lui ôte tous les vêtements qui peuvent gêner sa respiration. Le bouche-à-bouche peut être pratiqué dans le cas de difficultés respiratoires : le malade est alors allongé sur le dos, la nuque pliée en arrière (au besoin en utilisant des vêtements), on lui ouvre bien la bouche en écartant les maxillaires et on lui insuffle de l'air en prenant soin de tenir son nez fermé. Quinze à vingt insufflations par minute sont suffisantes pour un adulte alors qu'il en faut trente pour un enfant. Pour des substances très toxiques, il est conseillé d'utiliser une canule buccale pour l'insufflation.

Si l'intoxication a eu lieu par voie orale, il faut tenter immédiatement de faire vomir le malade souvent en lui faisant absorber de l'eau (ou un sirop d'ipéca pour les organo-chlorés) : on place le malade sur le ventre en maintenant la tête en dessous du reste du corps et on l'aide à vomir en introduisant un doigt qui vient toucher l'arrière de la gorge. On attend patiemment chaque fin vomissement pour être certain que les voies respiratoires ne sont pas être contaminées par les vomissures. Ces gestes sont répétés jusqu'à ce que les vomissures ne contiennent plus de pesticide. Si le toxique

¹⁰⁶ Observé aussi avec des ammoniums quaternaires.

¹⁰⁷ Matières actives en cause et formulation : concentration en matières actives et autres composants.

est soluble dans l'eau, il s'avère judicieux d'administrer au malade du charbon actif (sans surdosage) qui fixe le toxique au niveau du tube digestif et sera ensuite éliminé après l'ingestion d'un purgatif non huileux (sulfate de soude par exemple). Le charbon actif peut être préparé localement (technique de préparation du charbon de bois) à partir de copeaux de bois ou de croûtes de pain réduits en poudre à la fin du processus. Si un état de choc est noté à la suite d'une intoxication, le malade est placé au calme dans un position allongée avec les jambes en haut pour une meilleure irrigation sanguine du cerveau et du cœur. Enfin, si des convulsions apparaissent, il faut éviter que le malade se blesse lui-même en particulier en lui passant un tissu entre les dents qui réduit les risques de morsure de la langue.

● Les soins médicaux spécialisés

Les soins décrits par la suite nécessitent souvent des compétences médicales et parfois même un matériel particulier. Avant d'évoquer l'utilisation d'antidotes spécifiques qui ne sont d'ailleurs pas très nombreux, il convient de présenter les pratiques du massage cardiaque et du lavage d'estomac.

● *Le massage cardiaque*

Après avoir placé le malade sur le dos, le sauveteur en posant ses mains l'une sur l'autre sur le tiers inférieur du thorax appuie sur celui-ci de l'une des mains (à raison d'une poussée toutes les minutes après les dix premières qui devront être plus rapides) en dosant son geste pour ne pas briser les côtes du malade. Ce massage cardiaque est souvent couplé avec un bouche-à-bouche (deux insufflations après quinze poussées) surtout si deux sauveteurs sont présents.

● *Le lavage d'estomac*

Des équipements particuliers sont nécessaires : un tube trachéique (parfois), un tube stomacal et un dispositif pour aspirer le contenu de l'estomac (pompe mécanique douce ou grande seringue reliée à un adaptateur). L'introduction des tubes peut être facilitée par l'emploi de glycérine ou d'un gel adapté. La première aspiration a pour but de vider l'estomac de tout son contenu et les suivantes sont destinées à le laver en faisant inurger de l'eau (ou un sérum physiologique).

● *L'emploi d'antidotes*

Il faut toujours assurer au malade une bonne oxygénation avant d'administrer un antidote, surveiller et maintenir la respiration pendant l'injection en pratiquant au besoin une respiration artificielle.

Dans le cas d'une intoxication avec des organo-phosphorés (sauf pour le diméthoate), il convient d'injecter par voie intraveineuse du sulfate d'atropine au malade : 2 à 4 mg toutes les 10 à 20 minutes et jusqu'à 30 mg en général pendant les premières 24 heures pour voir apparaître des symptômes d'atropinisation (pupilles dilatées, bouche sèche et tachycardie). Les injections continueront parfois pendant plusieurs jours (dix jours) au cours desquels le malade sera sous surveillance constante. Pour réactiver la cholinestérase, on injecte au patient toujours par voie intraveineuse une préparation d'oximes (pralidoxime ou obioxime) à une dose appropriée au malade (selon la préparation de 0,25 g à 1 g pour l'adulte et de 5 à 50 mg par kilogramme de poids corporel chez les enfants), mais jamais sans un traitement avec le sulfate d'atropine.

Il convient aussi de bien respecter les prescriptions car, en cas de surdosage, la toxicité des organo-phosphorés s'accroît. Si ces injections produisent des effets, elle peuvent être renouvelées toutes les heures ou toutes les deux heures suivant la préparation mais pas au delà de 24 heures après la première injection car les possibilités de réactivation de la cholinestérase disparaissent progressivement. L'anxiété qui apparaît parfois à la suite d'une intoxication avec des organo-phosphorés peut être combattue par l'injection intramusculaire de diazepam. Enfin, dans le cas d'intoxications subaiguës ou chroniques, certains médicaments homéopathiques se sont révélés efficaces.

Pour les intoxications avec des carbamates, le sulfate d'atropine peut également être utilisé mais sans préparation d'oximes (qui rendrait les carbamates plus toxiques) et uniquement si les symptômes, souvent passagers, persistent ou s'avèrent très graves. Contre les dithiocarbamates, on ne connaît pas d'antidote spécifique et il convient uniquement de traiter les symptômes.

Il en est de même pour les organo-chlorés qui peuvent provoquer des convulsions combattues par l'injection intramusculaire ou intraveineuse lente de diazepam (10 mg pour l'adulte et 0,1 mg par kg de poids corporel chez l'enfant), d'un barbiturique à action rapide (par exemple le penthiobarbital à raison de 5 mg par kg de poids corporel toutes les 2 à 4 heures) ou encore l'administration de gluconate de calcium (1,1 à 1,5 ml par kg de poids corporel trois fois par jour). Lors de la convalescence, un régime pauvre en graisses permet d'éliminer plus rapidement les résidus.

Pour les intoxications aux pyréthrinoïdes, il n'y a pas non plus d'antidote spécifique et le traitement des symptômes repose pour les intoxications par voie orale sur l'emploi d'anticonvulsants comme pour les intoxications à base d'organo-chlorés ou de sédatifs tels que le diazepam. On préconise parfois du charbon actif mais les pyréthrinoïdes étant peu solubles dans l'eau, l'efficacité de cette mesure est faible.

En ce qui concerne les herbicides, qu'il s'agisse de composés phénoliques, d'ammoniums quaternaires ou d'aryloxyacides, on ne connaît pas d'antidote. Pour les ammoniums quaternaires (ou bipyridyls), en raison des risques graves entraînés par une intoxication surtout si elle est orale (mort rapide dans certains cas), il convient de pratiquer immédiatement un lavage d'estomac en ajoutant de la terre de Fuller (0,15 %) et un purgatif adéquat (par exemple le mannitol) à l'eau de lavage. En prévention de la fibrose pulmonaire, on peut administrer des corticostéroïdes tels que la prednisone (deltacortisone) pendant quelques jours avant l'apparition des lésions pulmonaires.

Pour les intoxications avec des composés phénoliques, des traitements comparables à ceux mis en oeuvre pour celles avec des organo-chlorés sont appliqués mais on veille à refroidir le corps par des bains froids, une bonne ventilation ou l'application sur le corps de tissus renfermant de la glace. D'autre part, le malade qui est placé dans un calme absolu peut recevoir des tonicardiaques, des fortifiants cardiovasculaires (analeptiques), des sédatifs et un traitement spécifique contre l'oedème pulmonaire.

Pour les intoxications avec des fongicides, qu'il s'agisse de phtalimides ou de dithiocarbamates, on ne connaît pas non plus d'antidote spécifique et on combattra uniquement les symptômes.

Pour les intoxications orales à base de rodenticides à action anti-coagulante, les vomissements et le lavage d'estomac ne sont efficaces que dans les trois premières heures après l'absorption. Ces intoxications sont traitées par la suite avec la prise de vitamines K₁ qui rétablit les propriétés coagulantes du sang. Selon la gravité de l'intoxication cette prise se fera par voie orale ou par injection intramusculaire ou intraveineuse : absorption de 5 à 10 mg, répétée au besoin 6 heures plus tard si l'intoxication est légère ou de 10 à 20 mg au besoin répétée deux à trois heures plus tard si elle est plus grave. Le traitement sera poursuivi tant que la coagulation de sang ne sera pas redevenue normale mais on ne dépassera pas 40 mg par jour.