

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Agronomie



Cours de Lutte Intégrée

Pour Master 02 (Semestre 3)
Production Végétale (Sciences agronomique)

Préparé par
Dr. ALIA Zeid

Année universitaire 2022 - 2023

Sommaire

Information pédagogique de la matière	01
Introduction	03
Chapitre I : Généralités	04
I.1 - Définition de la lutte intégrée	05
I.1.1 - Différentes définitions de la lutte intégrée	05
I.1.2 - Notions de ravageur et de seuil de nuisibilité	09
I.2 – Causes de l'avènement de la lutte intégrée	14
I.2.1 - Phénomène d'accoutumance ou résistance aux pesticides	14
I.2.2 - Non- spécificité des pesticides	22
I.2.2. 1 - Problème de résurgence	22
I.2.2.2 - Apparition de nouveaux ravageurs autochtones	23
I.2.3 - Phénomène d'accumulation	25
I.2.4 - Biodégradabilité lente ou même absente	27
I.2.5 - Problème des résidus	28
I.2.6 - Problème des effets de pollution de l'environnement	30
I.3 - Lutte raisonnée, lutte rationnelle et lutte symptomatique	31
Chapitre II : Composantes de la lutte intégrée	33
II.1-Gestion intégrée	33
II.2 - Les moyens agro- techniques	44
II.3 - Les moyens physiques	49
II.3.1 - Les moyens thermiques	50
II.3.2 - Les moyens radiobiologiques	55
II.3.3 - Les moyens mécaniques (Lutte mécanique)	58
II.3.4 - Les moyens pneumatiques (Lutte pneumatique)	60
II.4 - Les moyens génétiques (Biologie moléculaire)	61
II.5 - Les moyens biologiques	67
II.5.1 - Utilisation d'organismes antagonistes	68
II.5.2 - Emploi d'organismes entomopathogènes	71
II.5.3 - Action des régulateurs de croissance et des substances analogues de l'hormone juvénile (HJ)	74
II.5.4 - Intérêt des souches hypovirulentes	76
II.5.5 - Avantages et inconvénients de la lutte biologique	79
II.6 - Les moyens chimiques	80
II.6.1 - Classification des pesticides	82
II.6.2 - Différentes formes de pesticides	85
II.6.3 - Les matières actives spécifiques	86
II.6.4 - Risques de toxicité des pesticides	87
II.6.5 - Quels sont les critères de choix d'un pesticide ?	91
II.6.6 - Les attractifs sexuels et appâts empoisonnés	93
Chapitre III : Lutte intégrée dans différents agroécosystèmes	96
III 1 - Lutte intégrée dans les grandes cultures	96
III 2 - Lutte intégrée dans les cultures maraîchères	107
III 3 - Lutte intégrée dans les vergers	115
III 4 - Lutte intégrée en milieux forestiers	125
III 5 - Lutte intégrée au niveau des denrées agricoles stockées	130
Glossaire en protection des végétaux	133
Références bibliographique	135

Information pédagogique de la matière**Semestre : III****Intitulé de l'UE : fondamentales****Intitulé de la matière : Lutte intégrée****Crédits : 6****Coefficients :3****Objectifs de l'enseignement**

Il s'agit d'amener l'étudiant à réfléchir sur les possibilités de la lutte intégrée dans différents milieux agricoles et de lui fournir les connaissances de bases nécessaires pour une défense rationnelle des plantes cultivées. Car ces dernières années s'est accrue la nécessité d'appliquer la lutte intégrée ou l'IPM (Integrated Pest Management). Cette option apporte une vision globale et actualisée des techniques de protection et de gestion intégrée. L'établissement d'objectifs peut survenir à n'importe quel moment du processus décisionnel de lutte intégrée, mais le bon moment pour les réévaluer est après être intervenu pour lutter contre une population de ravageurs. Dans la mesure du possible, considérez la durabilité comme l'objectif primordial des plans de lutte antiparasitaire. La durabilité économique, sociale et environnementale d'un plan est importante pour le contrôle continu à long terme des ravageurs agricoles. Le fait d'avoir et de corriger un ensemble d'objectifs peut consolider un plan de lutte antiparasitaire autour d'idées fondamentales qui sont importantes pour un agriculteur ou une communauté agricole. Voici un exemple d'ensemble d'objectifs :

1. Atténuation des pertes de récolte (pas moins d'un nombre minimum de kg/acre)
2. Réduction à long terme de la présence et de la pression des ravageurs
3. Faibles impacts sur l'environnement
4. Acceptabilité par la communauté environnante

Connaissances préalables recommandées : Connaître les différents types de lutte : préventives ou curatives, chimique, biologique, raisonnée, intégrée, ainsi que les méthodes alternatives

Une approche de l'évaluation consiste à énumérer les stratégies sous chaque objectif qu'elles abordent par ordre d'efficacité. Les stratégies les plus fréquemment répertoriées et les mieux classées devraient être conservées/ajoutées à un plan de lutte antiparasitaire.

Supprimez les stratégies que vous ne mettrez plus en œuvre, en notant pourquoi elles seront abandonnées. Par exemple:

- ✓ Faites tourner les différents modes d'action pour les pulvérisations chimiques contre les punaises pentatomes.
- ✓ Établissez des plantes à fleurs blanches avec des nectaires pour les prédateurs bénéfiques des punaises pentatomes.
- ✓ Communiquez avec les agriculteurs voisins sur le calendrier des interventions pour lutter contre les punaises afin que nous soyons plus synchrones dans nos efforts de lutte.

Les agriculteurs peuvent adopter d'autres approches pour évaluer la valeur du maintien par opposition à l'élimination d'une stratégie d'un plan de lutte intégrée, y compris la mise en œuvre et la mesure de l'impact de chaque stratégie dans des zones isolées d'un champ.

Introduction

La « lutte intégrée », ou mieux encore la « protection intégrée » (Integrated Pest Management ou IPM), est utilisée pour gérer les problèmes des maladies et des espèces nuisibles aux cultures de manière responsable pour l'environnement. Elle se caractérise par une action de lutte contre les ennemis des cultures prenant en compte les relations entre l'organisme nuisible et ses antagonistes, la plante et son environnement, tout en considérant les caractéristiques du contexte socioéconomique local (région du monde, filière locale ou même entreprise particulière). Plus de trente ans après la vulgarisation de ce concept, il n'existe aucune définition universellement acceptée de la lutte intégrée.

Pour certains, elle fait partie d'une démarche large, menant à une agriculture « sans produits chimiques » (école du « Pest Management »). Pour d'autres (ex : CROP LIFE), il s'agit simplement d'un système de protection des cultures permettant une utilisation des pesticides plus rationnelle et plus respectueuse de l'environnement (école du « Pesticide Management »). C'est un processus décisionnel par lequel on cherche à prévenir les infestations d'organismes nuisibles grâce à plusieurs stratégies appliquées en combinaison en vue d'obtenir des résultats à long terme.

La lutte intégrée vise à contenir les dégâts causés par les maladies et les parasites sous des niveaux économiquement acceptables dans le contexte de la production locale, en privilégiant la prévention des infestations, le recours à des techniques culturales adaptées favorisant la biodiversité, l'exploitation judicieuse des ressources génétiques, et la lutte biologique avant le recours aux pesticides. Les pesticides ne seront toutefois utilisés que si aucune autre solution n'est disponible ou économiquement viable, et seulement si le risque pour le consommateur, pour l'environnement, pour la biodiversité ou pour l'apparition de résistances, n'est pas excessif par rapport au « bénéfice » espéré (amélioration de la qualité sanitaire et/ou accroissement de la production).

Chapitre I

Généralités

Chapitre I : Généralités

I.1 – Définition de la lutte intégrée

I.1.1 - Différentes définitions de la lutte intégrée

I.1.1.1- Naissance de la lutte intégrée :

La protection des cultures contre les organismes nuisibles accorde, sous des formes souvent diverses, une importance croissante au concept de lutte intégrée contre les bioagresseurs, souvent représentée par ses initiales anglaises de «IPM» (Integrated Pest Management).

La lutte intégrée contre les fléaux agricoles permet de passer d'un système réactif, axé sur le traitement, à un système actif et préventif. Les deux systèmes diffèrent par les priorités accordées aux différentes mesures appliquées. En fait, il s'agit d'un changement d'approche: généralement l'agriculteur se demande quel pesticide employer pour tuer tel ou tel insecte ou telle ou telle mauvaise herbe. Dans le cadre de la lutte intégrée, l'agriculteur se demandera plutôt comment gérer tel ou tel insecte au milieu de tous les autres insectes ou contrôler telle ou telle plante parmi toutes les autres plantes.

I.1.1.2- Définition:

La lutte intégrée : représente le moyen le plus évolué non seulement pour préserver les cultures, mais également l'environnement. Elle a été définie de la manière suivante par l'Organisation Internationale de Lutte Biologique (OILB): «c'est la lutte contre les organismes nuisibles qui utilise un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois économiques, écologiques et toxicologiques, en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance».

Autre Définition :

C'est la combinaison de plusieurs méthodes de lutte dans le but de limiter le développement des bio-agresseurs des cultures afin qu'ils ne provoquent pas de dégâts économiques, et ce d'une façon durable et respectueuse de l'environnement:

- Prophylaxie (+ lutte génétique)
- Lutte chimique raisonnée
- Lutte biologique

- Lutte biotechnique
- Lutte physique

Il ne s'agit donc pas d'éliminer tous les insectes et acariens ravageurs d'une culture, mais de supporter un certain nombre d'entre eux, à condition qu'ils ne provoquent pas de dégâts économiques.

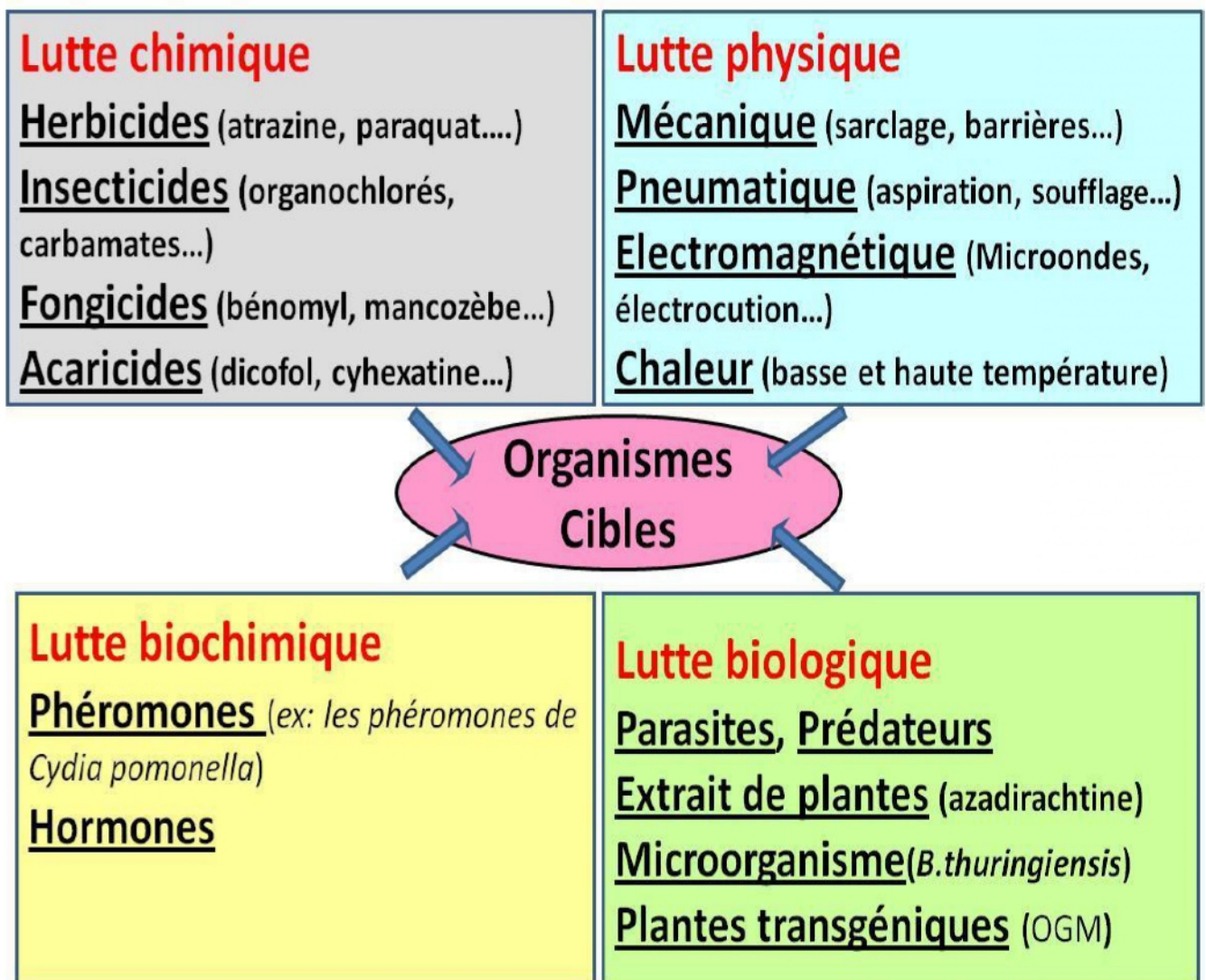


Figure 01: Combinaison entre plusieurs type de lutte

I.1.1.3- Principes de la lutte intégrée

C'est une approche agroenvironnementale, basée sur l'expérimentation et l'observation ainsi que sur l'adoption des techniques de lutte les plus appropriées, gère et rentabilise les cultures en considérant l'environnement comme un allié dans le cadre d'une gestion globale et évolutive d'une entreprise afin préserver les ressources pour les générations futures.

I.1.1.4- Mise en place et gestion de la lutte intégrée

La gestion intégrée des ennemis est davantage facilitée par une bonne régie de culture et par l'adoption de pratiques qui minimisent les risques pour la culture, le site de plantation et pour l'environnement en général. Le temps consacré à l'évaluation d'un site et à sa bonne préparation permet un succès à long terme.

Un programme de lutte intégrée peut comprendre des efforts de sensibilisation et de formation des producteurs, la gestion adéquate des déchets, l'adaptation des structures, l'entretien des cultures, le recours à des techniques de lutte biologique, génétique, physique et mécanique, et enfin l'application de pesticides. Dans la pratique, la mise en œuvre d'un programme de lutte intégrée comprendra :

- Le recours aux ressources phytogénétiques (plantes adaptées aux conditions écologiques, résistantes ou tolérantes à certaines maladies et insectes)...avec ou sans plantes OGM, selon les « écoles » ou même selon le type de résistance introduite ;
- Le rejet du calendrier de traitements préétablis, lui préférant des interventions basées sur un canevas d'observations;
- La surveillance de l'évolution des populations des ennemis et de leurs antagonistes, au niveau de l'unité de production (contrôle visuel, battage, piégeage),
- La référence à des niveaux de population pour décider d'une intervention (seuil de tolérance, seuil de nuisibilité, seuil d'intervention);
- L'utilisation de moyens diversifiés (culturels, biologiques, biotechnologiques, etc.) et adaptés aux exigences économiques et écologiques pour maintenir les populations des ennemis à des niveaux acceptables.

En diminuant la dépendance des producteurs envers les pesticides, la lutte intégrée permet aussi de réduire les coûts de production tout en réduisant significativement le risque de « résidus ». La stratégie repose, d'une part, sur le principe d'intégration de différentes méthodes de lutte (dont les techniques sont sélectionnées pour leurs effets aussi réduits que possible sur l'environnement) et, d'autre part, sur une aide personnalisée à la décision, permettant au producteur d'évaluer les risques réellement encourus au niveau de chacune de ses parcelles afin qu'il puisse décider quand et comment intervenir. La mise au point d'un programme de lutte intégrée supposera une approche systématique en plusieurs étapes :

- 1- Identifier et connaître les alliés et les ennemis des cultures ;

- 2- Apprécier le contexte : détecter systématiquement la présence d'ennemis des cultures et évaluer la situation globale (conditions environnementales, abondance des organismes nuisibles et utiles, état de santé des plantes et stade de leur développement, niveau de résistance ou de tolérance des plantes, date de la récolte, exigences de qualité, exigences réglementaires²);
- 3- Utiliser des seuils d'intervention (maintenir les dégâts causés par les organismes nuisibles en deçà d'un niveau de nuisance économiquement acceptable, tout en favorisant leurs adversaires naturels);
- 4- Adapter l'écosystème en le rendant à la fois favorable aux organismes utiles mais non attrayant pour les organismes nuisibles ;
- 5- Combiner les méthodes de lutte (préventives ou curatives) dans un système intégré de défense des cultures ;
- 6- Evaluer les actions mises en œuvre quant à leur adéquation, à leurs conséquences pour l'homme et le milieu, et quant à leur efficacité.

Le niveau de « tolérance » d'infestation peut être égal à zéro quand il s'agit d'un organisme de quarantaine et que les produits récoltés doivent être exportés. Le respect de la notion de seuil, reposant donc sur l'estimation d'un niveau de population, conduit à rejeter l'objectif d'éradication complète des organismes nuisibles, tout en soulignant l'importance des équilibres naturels au travers du rôle bénéfique des organismes auxiliaires de l'agriculteur.

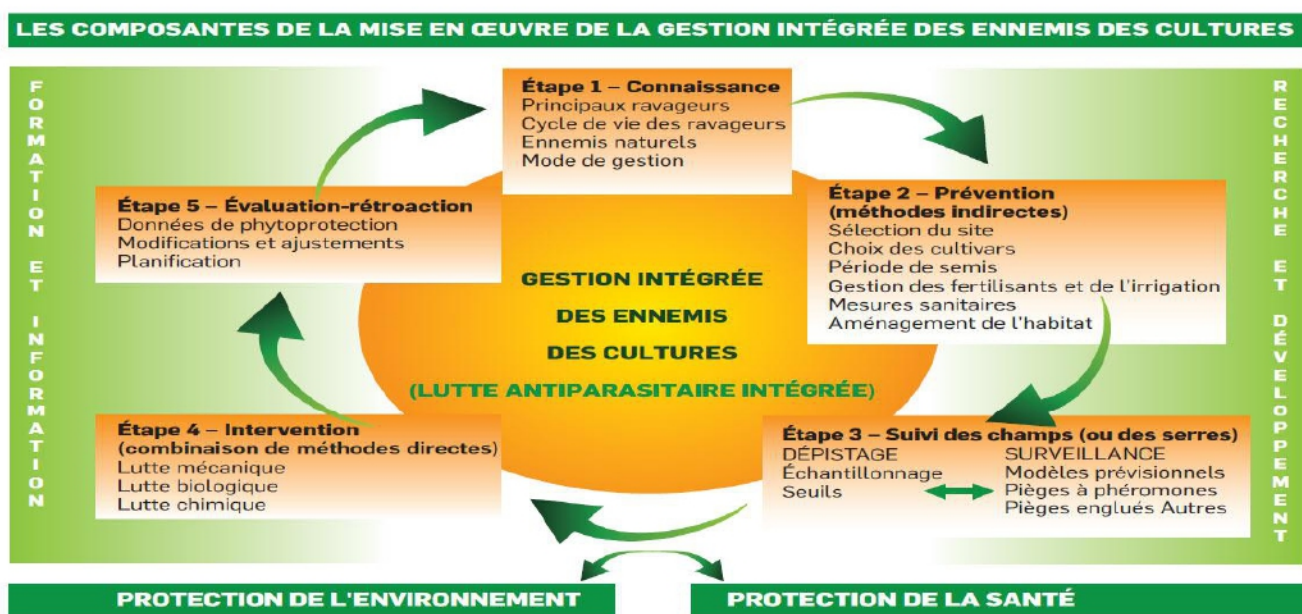


Figure 02 : Les différentes étapes de la gestion intégrée des ennemis des cultures

I.1.2 - Notions de ravageur et de seuil de nuisibilité

I.1.2.1 - Ravageurs des cultures :

Un ravageur en agriculture est un organisme ou un agent infectieux qui provoque un stress ou endommage une plante ou un produit végétal souhaité. Par exemple, une mauvaise herbe est un ravageur si elle rivalise avec une culture pour l'obtention des ressources, causant à la culture un stress qu'elle n'aurait pas autrement eu. Les bactéries, les champignons et les virus infectieux sont responsables de maladies et sont donc des ravageurs. Ces petits ravageurs sont transférés d'une plante à une autre par l'eau, par l'air, par des insectes ou par des animaux plus grands. Les ravageurs les plus connus sont les insectes, allant de la petite mouche blanche au grand essaim de sauterelles. Les ravageurs plus grands tels que les oiseaux, les souris et les lapins peuvent également causer des dégâts dans le champ. Certains ravageurs s'attaquent à des produits agricoles entreposés, tels que les céréales et les légumineuses. Cependant, cet article se concentrera sur la gestion préventive des nuisibles sur le terrain. Dans la suite de cet article, le terme « ravageur » se réfère uniquement aux ravageurs agricoles qui affectent les cultures dans le champ et se concentre principalement sur les insectes ravageurs.

Dans le monde, environ 1 million d'espèces d'insectes ont été nommées. Les scientifiques estiment que plus de 5,5 millions d'espèces supplémentaires existent mais restent à découvrir. La grande majorité des espèces d'insectes sont bénéfiques ou ont peu d'impact sur la production végétale ou l'activité humaine. Cependant, une petite partie est considérée comme des ravageurs. Actuellement, les ravageurs agricoles les plus sévères sont les espèces non indigènes qui ont été introduites et disséminées dans une région, par exemple par l'importation et l'exportation de produits agricoles, dans/sur de la matière végétale, dans le sol ou suite à des événements météorologiques violents. Les prédateurs naturels qui, autrement, garderaient leurs populations en équilibre peuvent ne pas être présents en dehors des zones d'origine des insectes. Parfois, des insectes indigènes qui n'avaient pas d'effet antérieur sur les cultures des agriculteurs passent de leurs plantes hôtes à de nouvelles espèces que les agriculteurs commencent à cultiver; cela peut amener les insectes à devenir des ravageurs. Cependant, veuillez comprendre que la majorité des insectes n'endommagent pas les cultures. En fait, beaucoup sont des éléments importants d'un plan de lutte intégrée contre les ravageurs, car ils aident à maîtriser les pullulations d'autres espèces d'insectes.

Les ravageurs des cultures, appelés aussi « déprédateurs », sont des organismes animaux qui attaquent les plantes cultivées, ou les récoltes stockées, en causant un préjudice économique au détriment des agriculteurs et donc des populations humaines. Les ravageurs font partie des bio-agresseurs, aux côtés des agents phyto-pathogènes, organismes microscopiques responsables de maladies, et des mauvaises herbes qui concurrencent les plantes cultivées. Les ravageurs peuvent provoquer des dégâts directs aux plantes cultivées par leur régime alimentaire (phytophage, xylophage, etc.) ou leur mode de vie parasite, ou indirects lorsqu'ils sont vecteurs de maladies, virales par exemple.

Les ravageurs appartiennent à cinq embranchements: mammifères (principalement rongeurs), oiseaux, nématodes, arthropodes (principalement insectes et acariens) et mollusques.

Les nématodes, vers minuscules non visibles à l'œil nu, qui vivent en parasites des plantes, sont considérés comme des agents pathogènes, et leurs agressions sont alors classées dans les maladies des plantes



Figure 03 : Quelques ravageurs des cultures

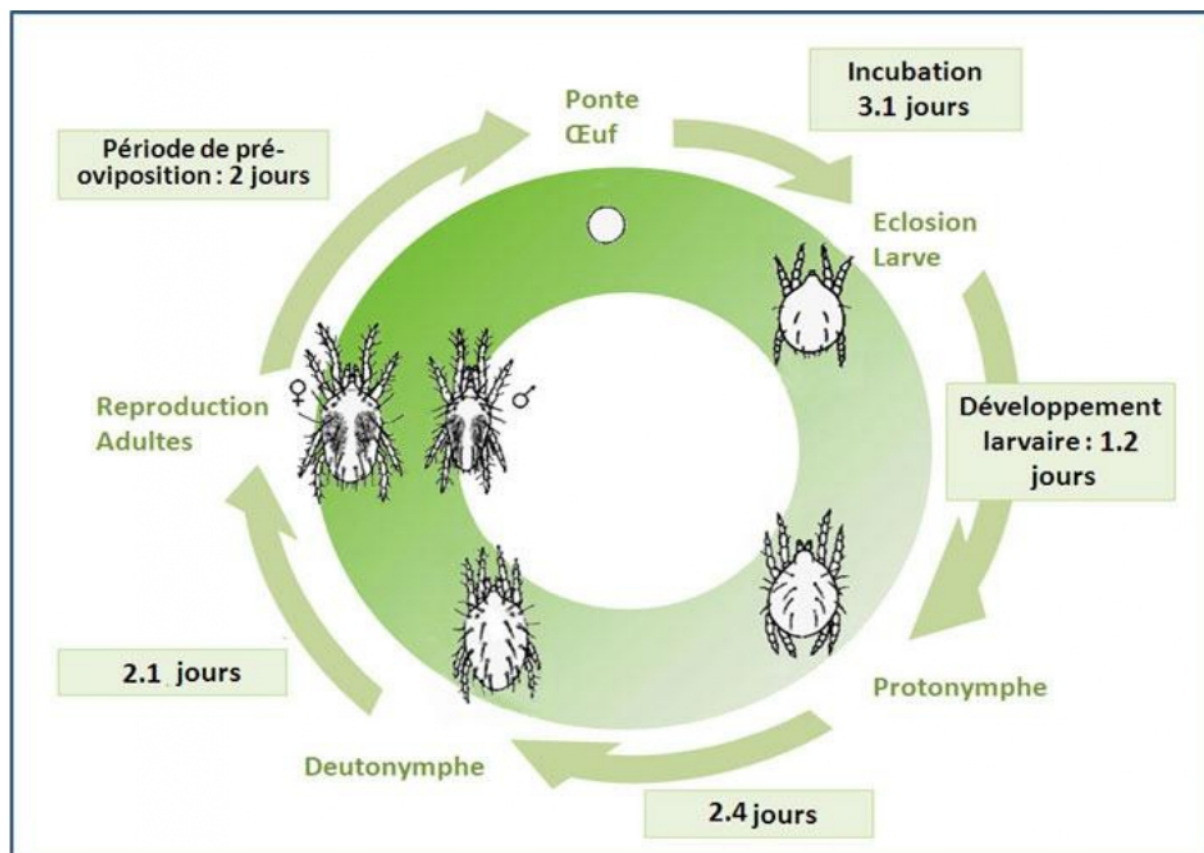


Figure 04: Cycle de vie d'un ravageur (Acarien)

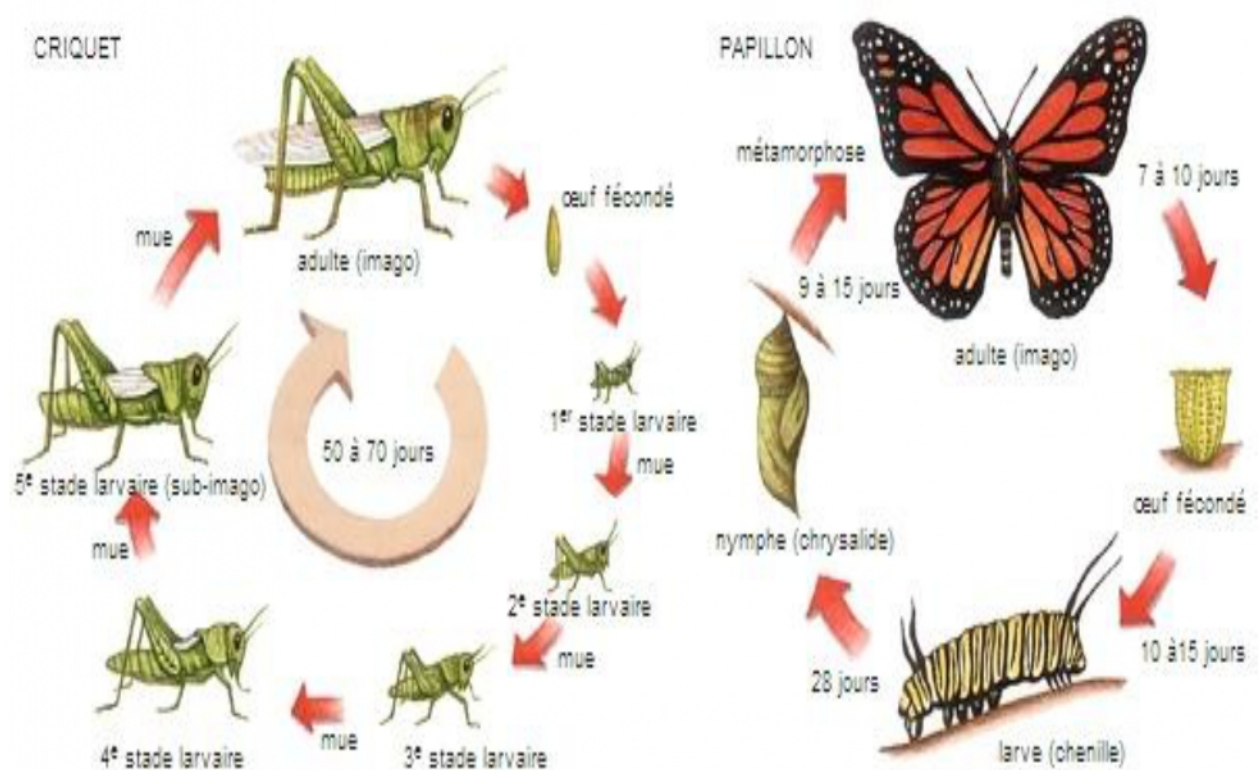


Figure 05 : Différence entre métamorphose complète et incomplète

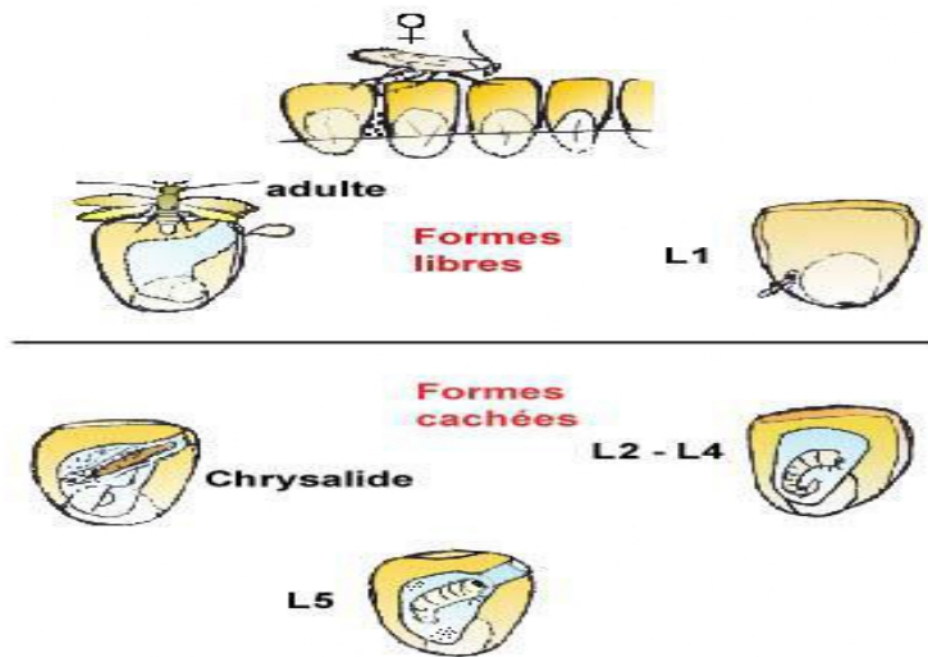


Figure 06 : Espèces à formes cachées (type alucite du maïs)

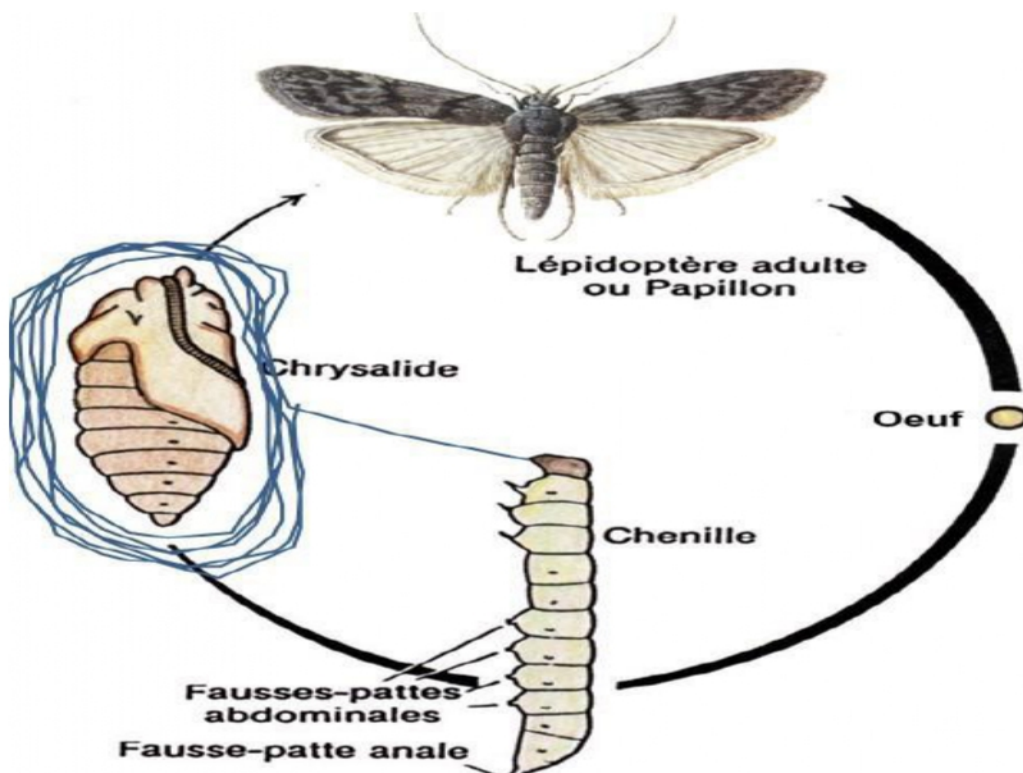


Figure 07 : Espèces sans formes cachées (type mite de la farine)

I.1.2.2- Seuil de nuisibilité

- Seuils de tolérance, seuils de nuisibilité ou seuils économiques définissent le niveau des populations d'organismes nuisibles qu'un agriculteur peut admettre sans grand risque pour sa récolte, ou sans que la dépense en pesticides ne dépasse le gain de récolte.
- Un seuil d'intervention permet non seulement d'utiliser un pesticide ou tout autre moyen de lutte au bon moment, avec un maximum d'efficacité, mais aussi de réaliser des économies appréciables en n'intervenant pas lorsque ce n'est pas justifié
- En protection des cultures, le seuil économique d'intervention correspond au niveau de densité de population d'un organisme bio-agresseur (agent phyto-pathogène, ravageur, mauvaise herbe) auquel un traitement phytosanitaire présente un intérêt économique, c'est-à-dire auquel le coût du traitement devient inférieur au coût des dégâts estimés.
- Déterminer ce seuil revient à comptabiliser ces deux coûts mais le chiffrage du seuil de nuisibilité (niveau d'attaque dont les dégâts sont estimés par leur coût) est parfois difficile car, pour un organisme nuisible, les écologues ne peuvent pas prendre en compte les différents effets (nuisibilité vitale, économique, environnementale, esthétique, commoditaire...), ainsi que la multiplicité et la complexité de ses interactions trophiques et non trophiques

Exemple sur la formule de nuisibilité :

ECONOMIC INJURY LEVEL: Formula by Pedigo *et al.*(1986).

$$EIL = C / VIDK = \text{number of flies captured / ha / week}$$

C = Cost of pest control and related activities per production unit (F CFA/ha) «Coût de la lutte antiparasitaire et des activités connexes par unité de production»

V = Market value per production unit (minimum, average, maximum prices) « Valeur marchande par unité de production (prix minimaux, moyens, maximaux) »

I = Injury unit per insect per production unit «Unité de perte par insecte par unité de production »

D = Damage per injury unit «Dommages par unité de blessures »

K = Effectiveness of control measures. «Efficacité des mesures de contrôle.»

I.2 – Causes de l'avènement de la lutte intégrée

- Risques de pollution et de toxicités pour l'homme et l'environnement
- Résidus de produits dans les parties consommées.
- Coût élevé de nombreux traitements.
- Elimination des organismes utiles : prédateurs, parasitoïdes, pollinisateurs.
- Apparition de résistances aux insecticides et acaricides.

Contexte Agronomique

- Cultures intensives : toute l'année, pas de rotation, cultures sous abris (plus de problèmes d'insectes sous serres, mais moins de problèmes de maladies)
- Non-respect de la prophylaxie
- Microclimats
- Nombreux traitements phytosanitaires non raisonnés
- Problèmes d'homologation des pesticides
- Aspects économiques, importations...
- Aspects sociologiques : formation, traditions...

I.2.1 - Phénomène d'accoutumance ou résistance aux pesticides

La résistance aux Produits de Protection des Plantes (PPP, pesticides d'origine chimique ou naturelle) est la capacité héritable d'un individu d'une espèce de bio-agresseur à survivre à un traitement PPP appliqué correctement. Lorsqu'un individu est résistant à un PPP, il ne sera pas (ou peu) affecté par le traitement, et sera capable de produire une descendance viable. On parle alors de résistance biologique. La connaissance des mécanismes de résistance n'est pas seulement importante d'un point de vue théorique ; elle est également un élément essentiel dans le choix d'une stratégie de lutte contre les phénomènes de résistance.

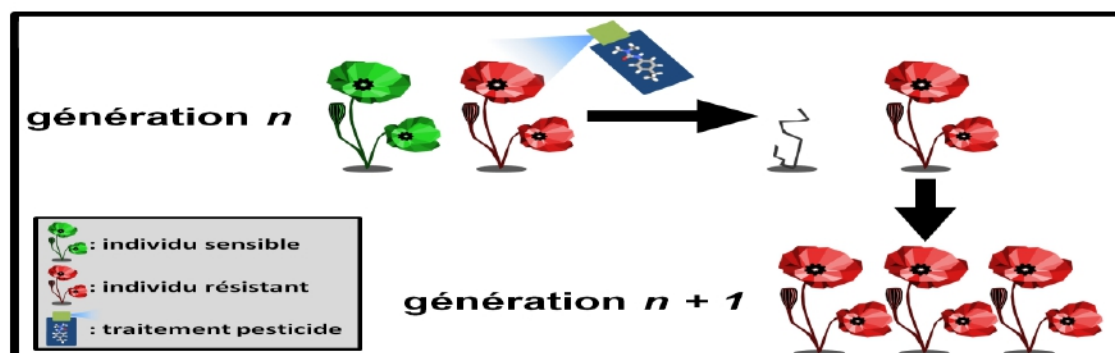


Figure 08 : Phénomène de résistance

Les mécanismes qui peuvent conférer une résistance à un ou plusieurs PPP sont extrêmement divers et variés. Ils ne sont bien évidemment pas exclusifs les uns des autres : un individu peut avoir accumulé un ou plusieurs mécanismes lui conférant une résistance à une ou plusieurs substances. La plupart des mécanismes de RNLC sont présents à l'état latent chez les individus sensibles, mais leur efficacité est trop faible pour permettre la survie de ces individus aux doses de PPP appliquées au champ.

Les résistances liées à la cible (ou RLC) peuvent causer des résistances croisées uniquement à des substances actives qui ont la même cible, mais pas forcément systématiquement à toutes. Le facteur de résistance obtenu peut être très élevé, ou non selon les cas. Ceci dépendra à la fois de la substance active et de la mutation. Ce type de résistance étant souvent dû à une mutation sur un seul gène ou sur le promoteur de celui-ci, le spectre de résistance croisé qui lui est associé pourra être intégralement transmis à la descendance.

Les résistances non liées à la cible (RNLC) peuvent concerner des substances ayant des cibles différentes, ce qui les rend extrêmement problématiques du point de vue agronomique.

Le facteur de résistance conféré par ce type de résistance est variable. Mais, contrairement à une croyance largement répandue, le facteur de résistance conféré par une RNLC peut être très élevé, en particulier chez les insectes et les adventices. Ainsi, des graminées sont capables de survivre à plus de 14 fois la dose maximale recommandée d'un herbicide inhibiteurs de l'acétyl-coenzyme A carboxylase uniquement grâce à des mécanismes de RNLC. Les RNLC ont une base génétique qui va de la simple mutation à une accumulation de mutations sur différents gènes pouvant modifier à la fois l'expression et l'activité de différentes protéines. C'est pourquoi l'héritabilité de ce type de résistance sera variable, et souvent complexe. Un seul enzyme de détoxification particulièrement efficace pourra être transmis à la descendance tout aussi facilement qu'une résistance liée à la cible. Un mécanisme plus complexe comme la modification d'une voie métabolique pourra reposer sur la nécessiter d'accumuler des mutations sur plusieurs gènes, et aura par conséquent tendance à se dissocier et à ségréger dans la descendance des individus résistants.

I.2.1.1 - Résistances non liées à la cible (RNLC)

La **résistance par surexpression de la cible** est signalée chez tous les types de bio-agresseurs. La surexpression des protéines ciblées par une substance active permet de « diluer » l'effet de celle-ci, permettant la survie des individus résistants.

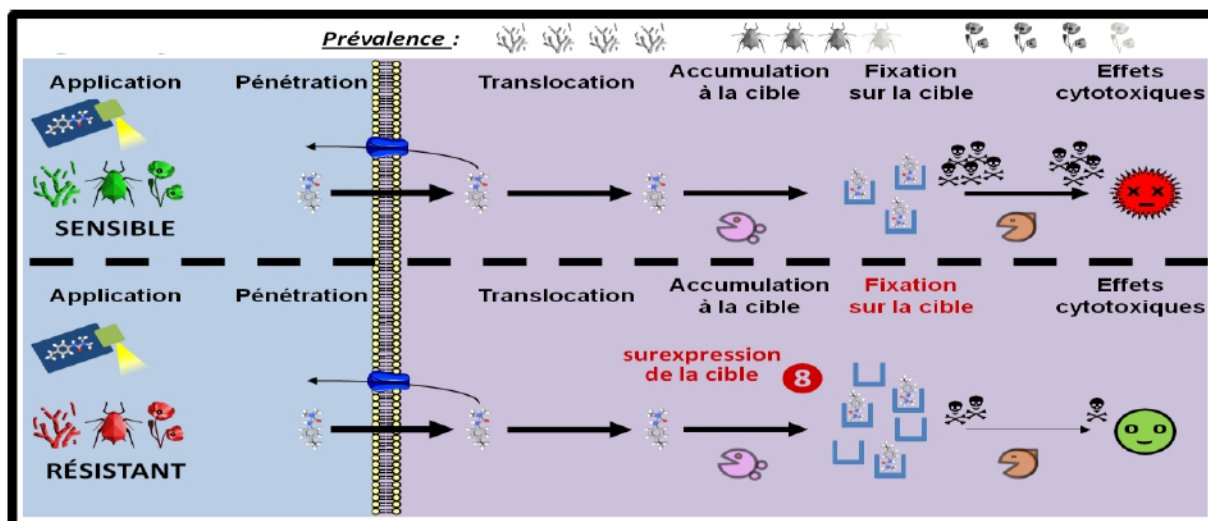


Figure 09 : Résistance par surexpression de la cible

La **résistance par mutation de la cible** est signalée chez tous les types de bio-agresseurs. Une ou des modification(s) structurelle(s) de la protéine cible diminue l'affinité du PPP pour celle-ci, et donc la sensibilité de l'individu.

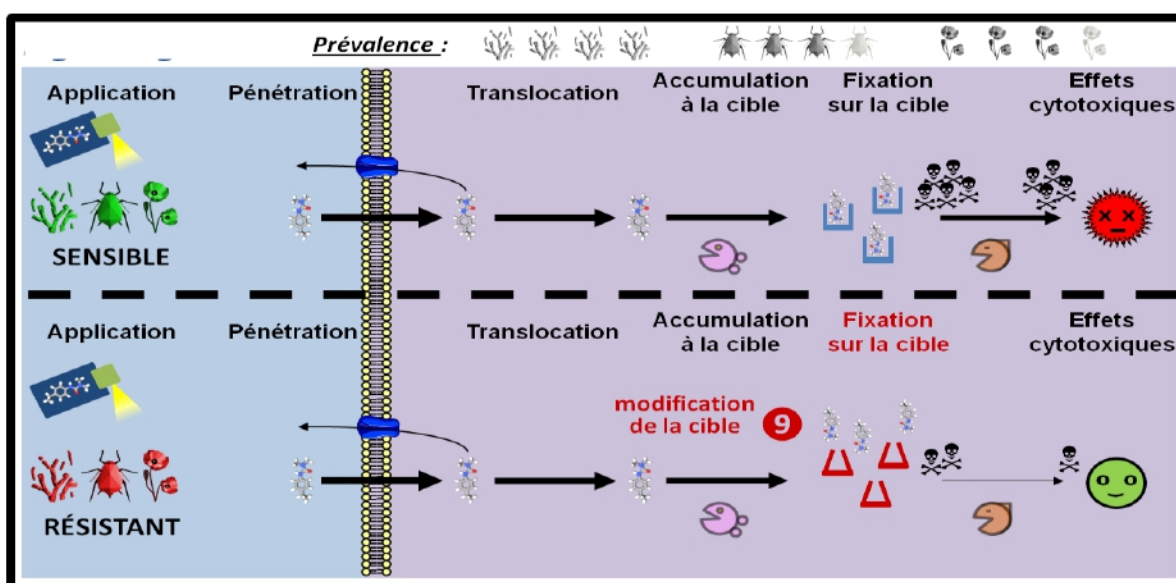


Figure 10 : Résistance par mutation de la cible

La **résistance comportementale ou phénologique** permet aux bio-agresseurs d'éviter d'être exposé au PPP. Dans le cas des insectes, il peut s'agir d'effet répulsif de la

molécule utilisée. Pour les adventices, une levée tardive peut permettre d'éviter l'exposition au traitement.

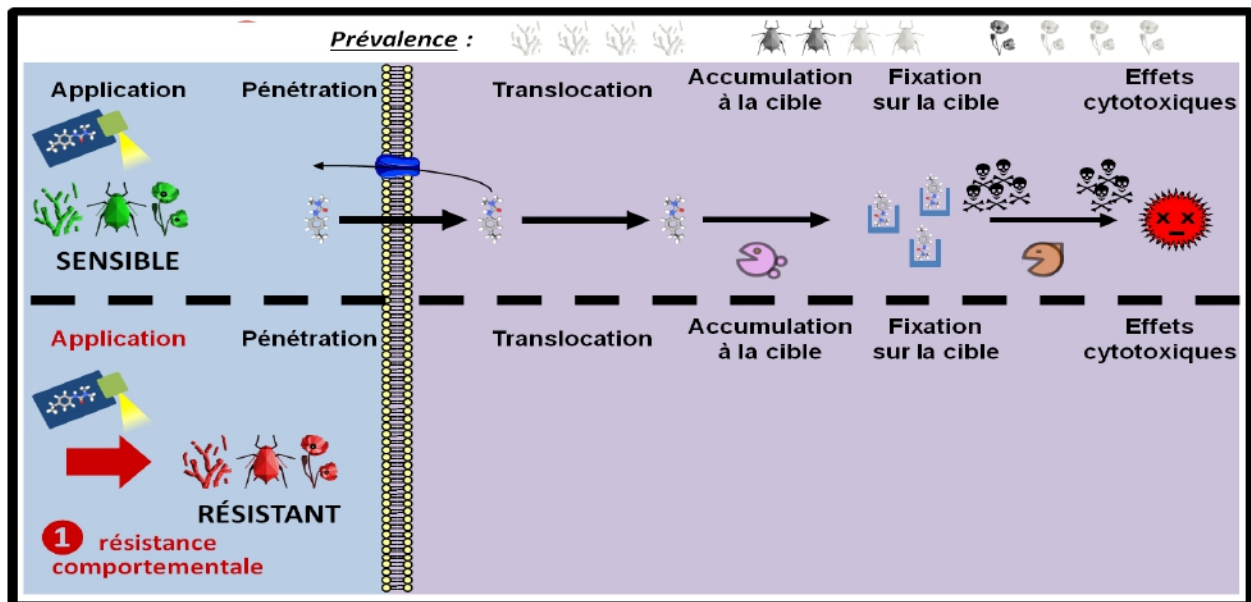


Figure 11 : Résistance comportementale ou phénologique

La réduction de la pénétration est un mécanisme de résistance décrit chez les trois grandes catégories de bio-agresseurs. La quantité de matière active qui pénètre dans l'organisme est réduite, par exemple par une épaisseur plus importante de la cuticule chez les insectes ou les adventices.

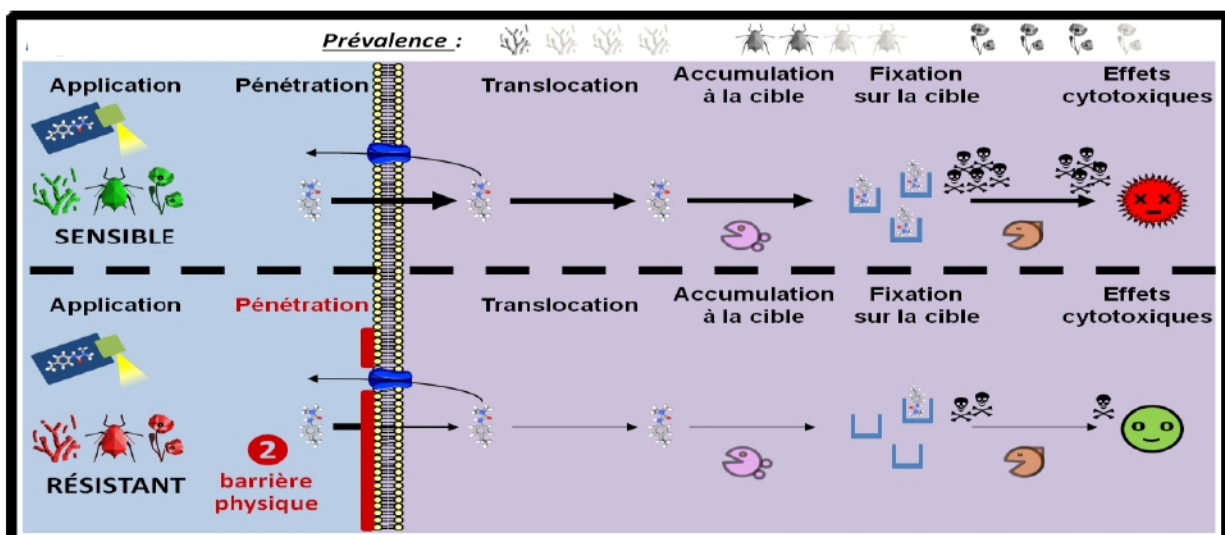


Figure 12 : Réduction de la pénétration

Des systèmes d'efflux ou des modifications du transport des substances ayant pénétré dans l'organisme du bio-agresseur permettent de réduire leur concentration dans l'organisme, ce qui a pour conséquence que le PPP n'est plus efficace.

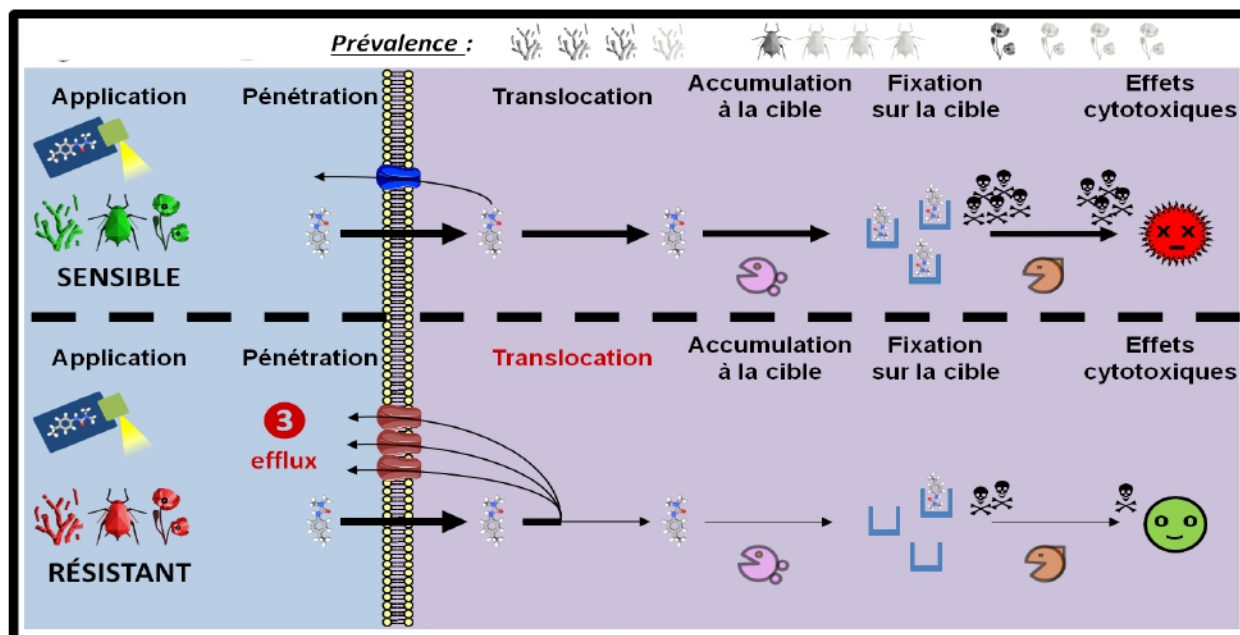


Figure 13 : Modifications du transport des substances

Des mécanismes de séquestration intracellulaire ou moléculaire permettent chez des individus résistants de réduire la concentration du PPP dans les cellules pour que celui-ci n'ait plus un effet létal sur le bio-agresseur

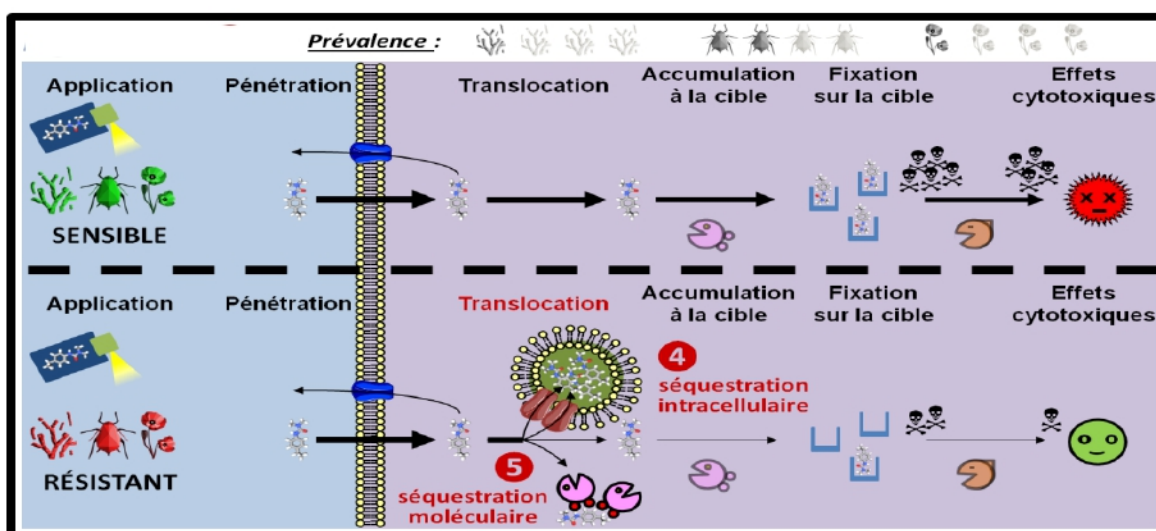


Figure 14 : Mécanismes de séquestration intracellulaire ou moléculaire

Un mécanisme, très répandu en particulier chez les insectes et les adventices, est la dégradation exacerbée de PPP (**détoxication**). Celle-ci peut être la conséquence d'une

surexpression d'enzymes également présents chez les individus sensibles, et/ou de la présence d'enzyme(s) mutant(s) ayant une activité de dégradation du PPP accrue. La détoxification exacerbée permet de réduire la concentration du PPP à des seuils non létaux.

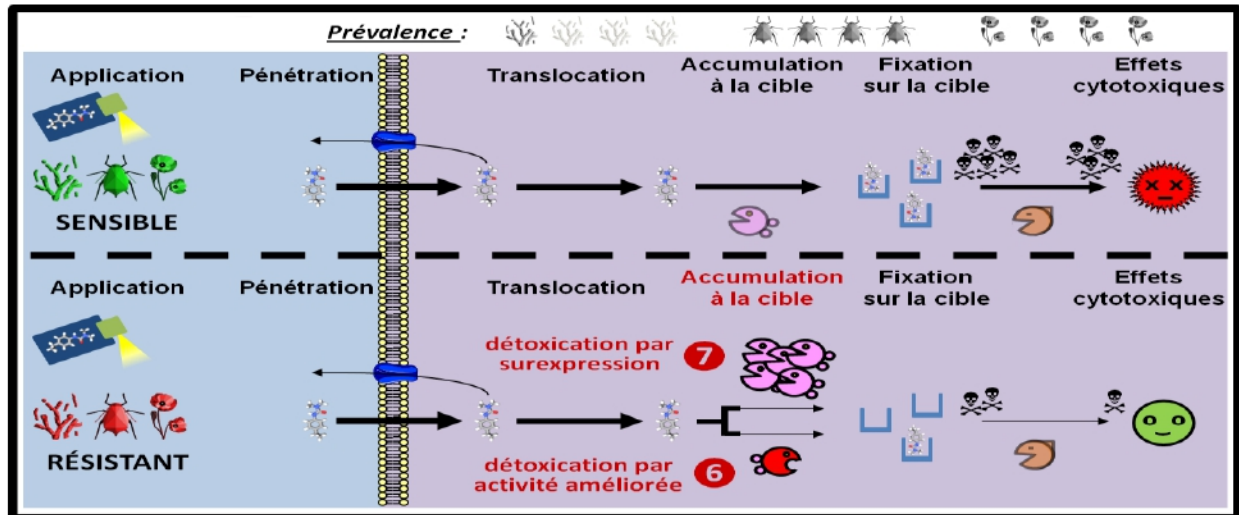


Figure 15 : Détoxification

La **résistance par contournement** est due à l'existence d'une voie alternative qui, chez les individus résistants, compense l'effet du PPP sur sa cible.

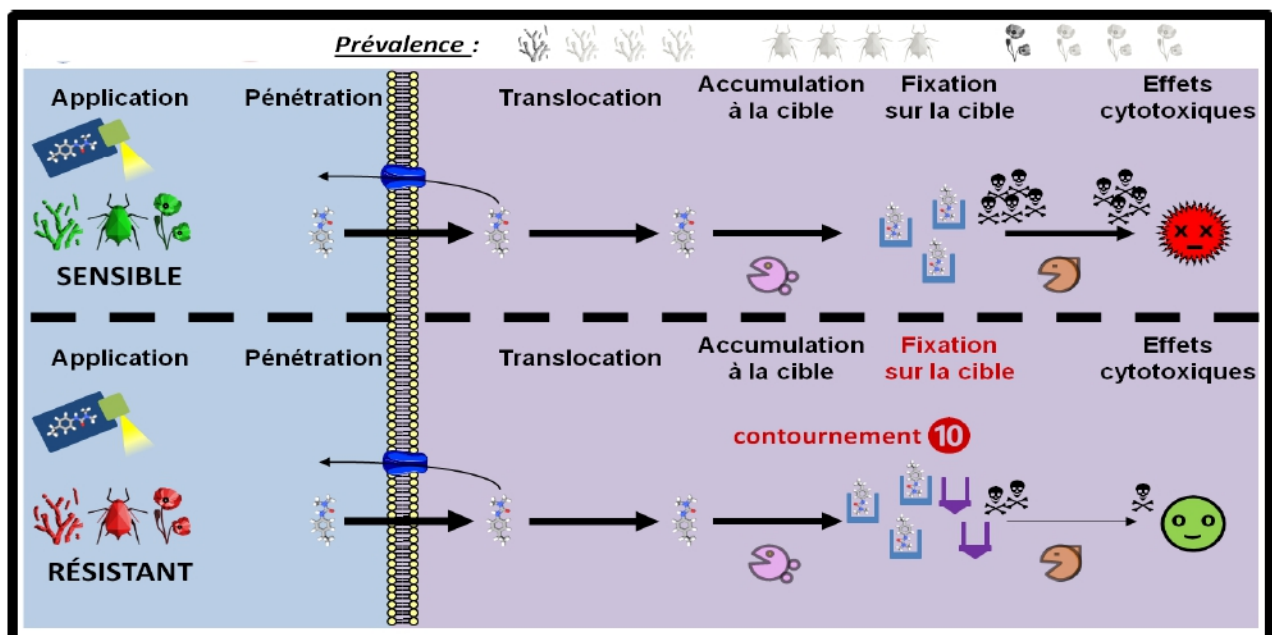


Figure 16 : Résistance par contournement

L'action du PPP sur sa cible peut causer la production ou l'accumulation de métabolites cytotoxiques. La **résistance par compensation** est due à la surexpression et/ou la présence de formes plus efficaces d'enzymes capables de neutraliser ces métabolites.

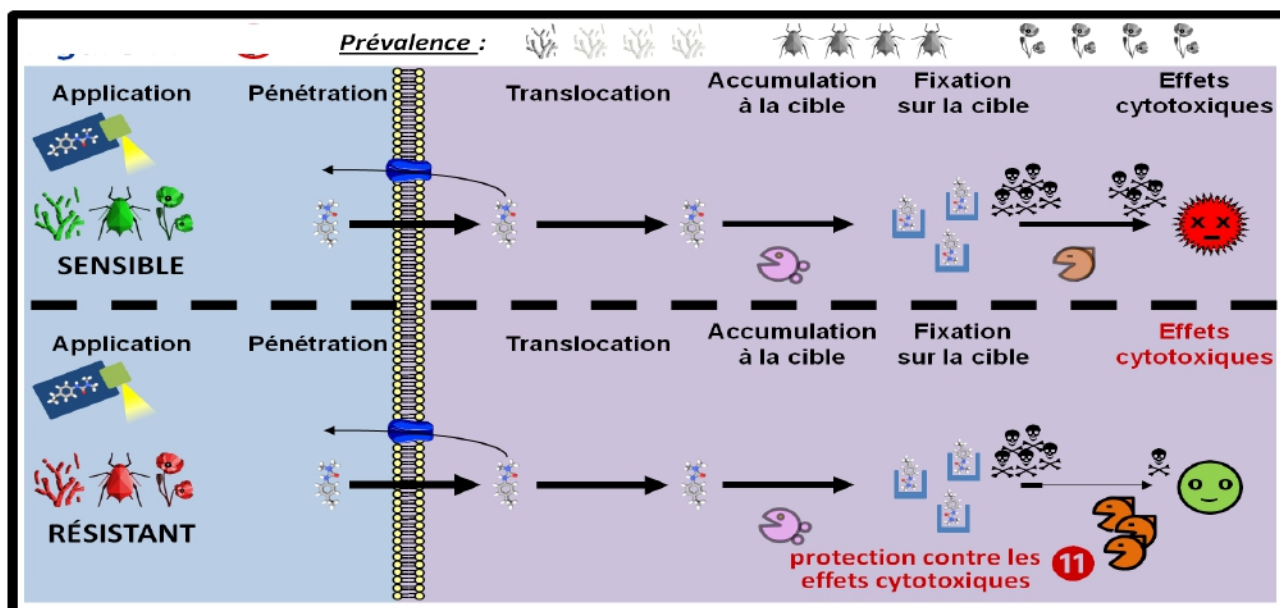


Figure 17 : Résistance par compensation

I.2.1.2 - Résistances liées à la cible (ou RLC)

La **résistance par surexpression de la cible** est signalée chez tous les types de bio-agresseurs. La surexpression des protéines ciblées par une substance active permet de « diluer » l'effet de celle-ci, permettant la survie des individus résistants. Les symboles qui représentent les trois grandes classes de bio-agresseurs permettent d'indiquer si le mécanisme de résistance est plus ou moins fréquent au sein de ces classes. La moitié supérieure de la figure montre le parcours du PPP au sein des individus sensibles. Les différentes épaisseurs des flèches représentent les différentes quantités de PPP qui passent d'une étape à l'autre.

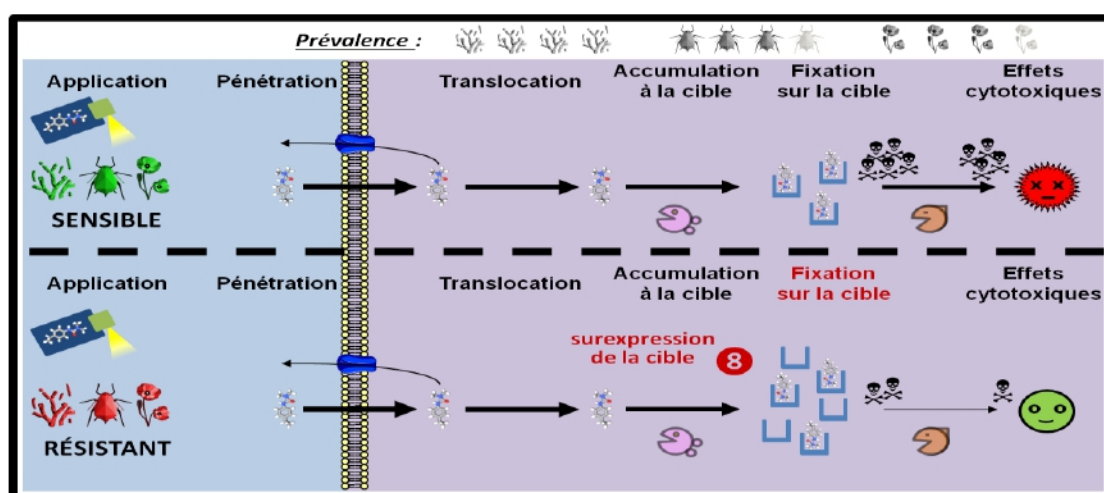


Figure 18 : Résistance par surexpression de la cible

La **résistance par mutation de la cible** est signalée chez tous les types de bio-agresseurs. Une ou des modification(s) structurelle(s) de la protéine cible diminue l'affinité du PPP pour celle-ci, et donc la sensibilité de l'individu. Les symboles qui représentent les trois grandes classes de bio-agresseurs permettent d'indiquer si le mécanisme de résistance est plus ou moins fréquent au sein de ces classes. La moitié supérieure de la figure montre le parcours du PPP au sein des individus sensibles. Les différentes épaisseurs des flèches représentent les différentes quantités de PPP qui passent d'une étape à l'autre.

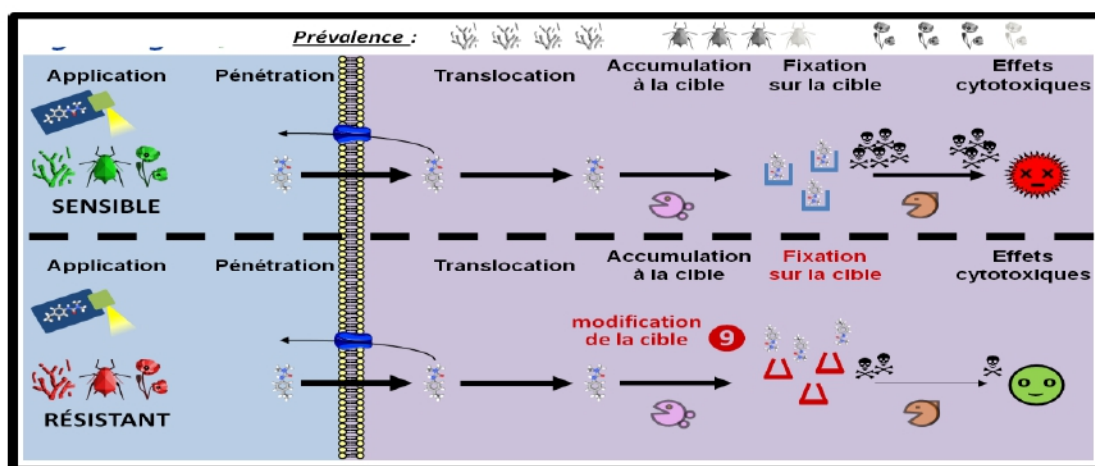


Figure 19 : Résistance par mutation de la cible

I.2.1.3 - Résistance physiologique

La résistance trouve son origine dans les modifications génétiques aboutissant à des mutations qui rendent les individus résistants à un pesticide. Ces nouveaux allèles se transmettent ensuite de génération en génération, et la résistance se développe au sein des populations par l'élimination progressive des génotypes sensibles effectuée par des traitements successifs.

Au niveau génétique, les résistances aux pesticides résultent donc de mutations ponctuelles entraînant des modifications de structure des gènes et de phénomènes d'amplification génique, qui modifient la production des enzymes de détoxification.

Chez les arthropodes

Ces modifications génétiques font jouer plusieurs mécanismes simultanément ou de façon isolée qui entraînent :

- ✓ Des diminutions de la vitesse de pénétration des pesticides chez l'organisme cible;

- ✓ Des augmentations des vitesses de dégradation et d'élimination des produits (résistances métaboliques);
- ✓ Des modifications de la structure des cibles du toxique.

Chez les végétaux supérieurs

Les réactions de défense ont permis à la plupart d'entre elles de lutter contre les infections de très nombreux pathogènes. **Passives** et **Actives** vues dans un chapitre précédent.

I.2.2 - Non- spécificité des pesticides

I.2.2. 1 - Problème de résurgence

Par le même mécanisme on peut voir se multiplier de nouveaux prédateurs non sensibles aux pesticides, que l'on n'avait pas remarqués avant, et qui profitent de la baisse d'activité de leurs prédateurs. Pour remédier aux problèmes causés par ceux-ci et empêcher que les dégâts ne s'étendent, l'agriculteur doit s'efforcer de reconnaître les signes laissés par les nuisibles, autrement dit savoir à qui ou à quoi il a affaire car toute lutte anti-nuisible efficace se base sur une compréhension approfondie de l'envahissement. Pour cette identification ce sont d'abord la vue, l'ouïe, l'odorat et le toucher de l'agriculteur qui seront mis à contribution. S'il s'agit par exemple d'une infestation de rongeurs, l'agriculteur constatera qu'au niveau des semences, les grains sont rongés et comme c'est le germe que les rongeurs consomment, les taux de levée seront réduits ; s'il s'agit d'attaques d'oiseaux sur le maïs, il constatera que les soies et les spathes sont coupées et il verra de loin les débris des spathes en dessous des plants ; ou s'il s'agit d'insectes comme les chenilles qui secrètent des substances souvent blanches, le paysan saura en voyant ces indices qu'il y a attaque de chenilles sur les jeunes plants et pourra intervenir. D'autres indices sont les bruits caractéristiques des insectes qu'on observe souvent au niveau des denrées stockées. C'est le cas des charançons ; Lutte intégrée contre les ravageurs, exemple : quand on entre dans un magasin de stockage de maïs fortement attaqué, on entend de petits bruits, comme des chuchotements. Ce contrôle sensoriel peut être ensuite complété par d'autres méthodes d'identification comme par exemple des pièges contenant des substances attractives comme les phéromones, qui se placent aux endroits de passage et de vol et aux abords des lieux de séjour possibles des ravageurs et qui permettent de connaître l'ampleur des infestations. Il est important de préciser cependant que l'utilisation de ces méthodes est encore limitée à

cause des difficultés techniques qu'elles suscitent. En tous cas, une fois l'identification faite pour déterminer l'espèce, les stades de développement, l'ampleur et la localisation de la population de ravageurs, l'agriculteur peut alors choisir une méthode particulière de lutte.

I.2.2. 2 - Apparition de nouveaux ravageurs

Les traitements chimiques abaissent le niveau de population des auxiliaires au point de les rendre inopérants (*la population est toujours moins nombreuse et le cycle de reproduction est plus lent*), dans ce cas l'action de l'auxiliaire ne prolonge plus celle du pesticide lorsque l'effet résiduel de ce dernier a cessé, ce phénomène est surtout tragique lorsque les prédateurs possèdent des populations nombreuses et à cycle très court ou présentent un pouvoir épidémiologique fort important. Si la gestion « intégrée » des bio-agresseurs des cultures a permis une réduction de l'utilisation des pesticides et des impacts environnementaux associés, il n'en reste pas moins qu'elle est souvent utilisée comme une boîte à outils, de façon réactive, individuelle, ciblée sur la parcelle ou le ravageur. Ainsi, la gestion intégrée des bio-agresseurs n'est pas une approche agro-écologique si elle consiste à raisonner les traitements chimiques sans réaliser les changements nécessaires de pratiques agricoles ou de système de production. L'activation des services de régulation écologique des bio-agresseurs constitue une voie à explorer pour réduire la dépendance des agriculteurs aux pesticides et inventer des modèles de gestion agro-écologique des systèmes de protection des cultures. Elle passe par une connaissance approfondie du « système de vie » des populations de ravageurs et de leurs ennemis naturels, de leurs interactions au sein des agroécosystèmes (réseaux trophiques) et la prise en compte de l'effet des pratiques agricoles et de l'ensemble des habitats cultivés et non cultivés dans la dynamique de leurs populations. Elle passe aussi par un renforcement des systèmes d'apprentissage des producteurs, comme par exemple dans le cadre de champs-écoles, basés sur une approche participative du processus d'innovation.

Favoriser les processus de régulation : La régulation des bio-agresseurs est un des services écosystémiques fournis par la biodiversité. Cette régulation s'exerce via les ressources utilisées par les bio-agresseurs dans leur habitat, et via les ennemis naturels tels que prédateurs, parasitoïdes et pathogènes. Au niveau du champ cultivé, les produits

de bio-contrôle comme les macroorganismes (prédateurs et parasitoïdes), microorganismes entomo-pathogènes (champignons, bactéries, virus), médiateurs chimiques et autres attractifs/répulsifs naturels, ou substances naturelles (extraits de plantes, éliciteurs naturels), mais aussi les pratiques agricoles comprenant le choix variétal et la diversification du peuplement végétal (plantes de services, bandes fleuries, couverts végétaux, rotations), constituent des leviers d'action mobilisables par l'agriculteur pour opposer des barrières physiques ou chimiques aux bio-agresseurs, stimuler les mécanismes de défense ou de compensation de la culture, ou encore favoriser le recrutement d'ennemis naturels. Il convient toutefois de prendre en compte le contexte paysager pour identifier les leviers d'action adaptés au système de culture, car les processus de dispersion des ravageurs et de leurs ennemis naturels sont fonction des habitats adjacents et des caractéristiques du paysage environnant. En outre, on observe une variabilité importante de l'effet des pratiques sur la régulation naturelle, du fait d'une interaction forte avec l'environnement paysager (présence d'habitats semi-naturels, traitements insecticides sur les parcelles alentours, etc.) de la parcelle.

Au niveau du paysage, l'arrangement spatial des cultures peut retarder leur colonisation par les bio-agresseurs, tandis que les éléments de végétation semi-naturelle (arbres, haies, parcs, forêts, etc.) peuvent constituer des habitats qui fournissent des ressources (proies ou hôtes alternatifs, pollen, nectar, refuges) pour différents ennemis naturels et donc servir de support à la régulation écologique des insectes ravageurs des cultures. De manière générale, la régulation écologique des bio-agresseurs augmente avec la complexité du paysage. L'aménagement ou la conservation de ces habitats semi-naturels dans le paysage sont donc fondamentaux pour la mise en œuvre des stratégies de lutte biologique par conservation. La notion de service éco-systémique aborde ici la question des alternatives aux pesticides non pas par l'agronomie comme c'est le cas pour la lutte intégrée, l'agro-écologie ou l'agriculture biologique, mais par une analyse du fonctionnement des écosystèmes en lien avec la durabilité des systèmes de production agricole.

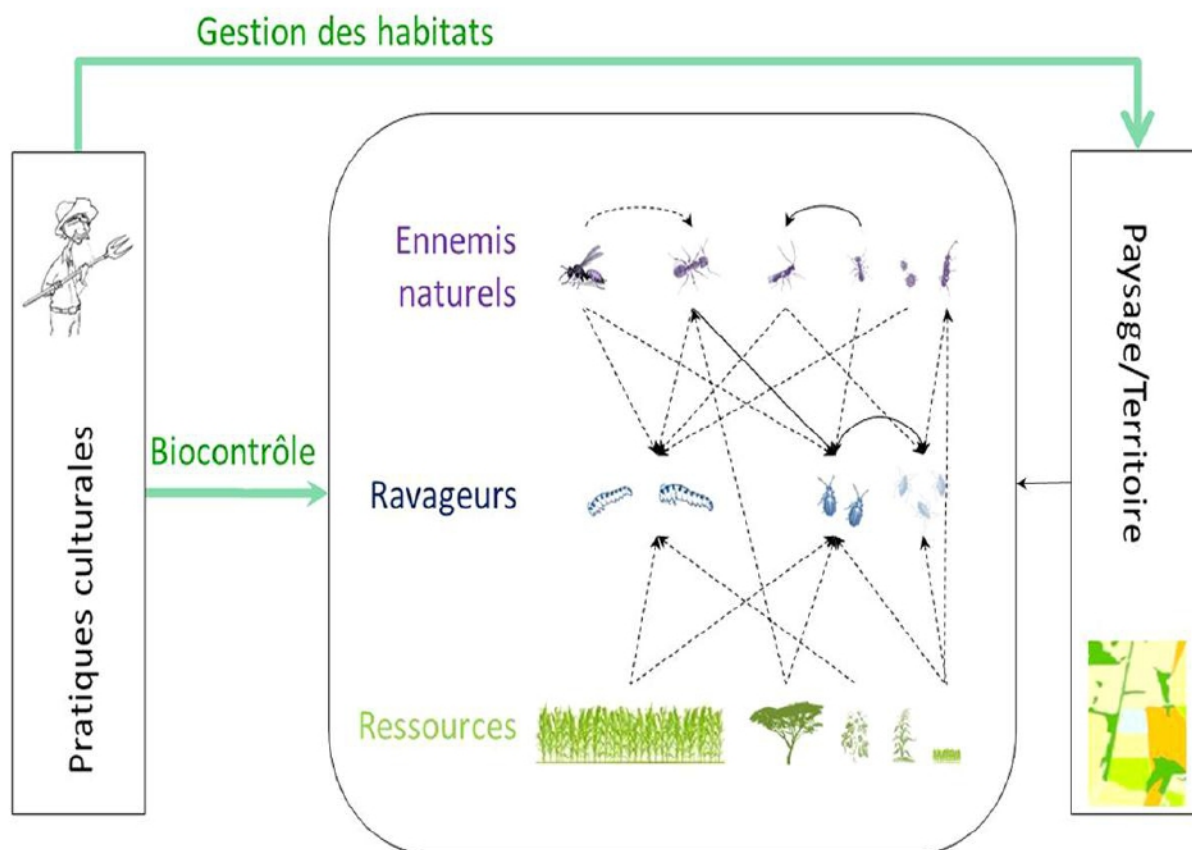


Figure 20 : Problème de résurgence et apparition de nouveaux ravageurs

I.2.3 - Phénomène d'accumulation

Dans le domaine de l'environnement, l'accumulation est un phénomène qui se produit lorsque le milieu n'a plus la possibilité de transformer ou d'évacuer des éléments. Ces derniers sont alors stockés. Lorsque l'organisme qui accumule est un être vivant, on parle de bioaccumulation. Un exemple type est l'accumulation de plomb qui se manifeste chez l'homme par le saturnisme.

Bioaccumulation : Accumulation progressive des quantités de substances dans les organismes. Les lichens sont parmi les meilleurs bio-accumulateurs (métaux lourds, éléments-traces, phytosanitaires, dioxines). On utilise aussi le terme de Bio-cumulatif.

De nouvelles recherches mettent à jour un phénomène encore méconnu, l'accumulation des pesticides dans les sols et leur contamination des chaînes alimentaires. Une preuve de la bioaccumulation des pesticides. La bioaccumulation des pesticides semble avérée. Des chercheurs du CNRS et de l'INRA, dans une étude à paraître en janvier prochain dans la revue Agriculture, Ecosystèmes et Environnement viennent de prouver la forte accumulation des diverses substances chimiques pesticides (herbicides, insecticides,

fongicides). Les scientifiques ont passé au crible 180 échantillons de terre prélevés dans la région de Chizé (Deux-Sèvres), une zone de plaine céréalière d'études pour le CNRS.

Neuf échantillons sur dix (Exemple).

En se focalisant sur la recherche de 31 pesticides, ils ont retrouvé des traces d'au moins une substance dans chacun des échantillons. Neuf échantillons sur dix contiennent un mélange d'au moins un insecticide, un fongicide, un herbicide. Le constat est d'autant plus accablant que les échantillons ont été prélevés dans des parcelles agricoles cultivées en « conventionnel », mais aussi dans des parcelles en agriculture biologique, sur des prairies et divers autres éléments du paysage (haies, bosquets...) qui ne sont pas traitées par les agriculteurs. Ces éléments de la nature aux limites des champs sont des abris de la microfaune, en particulier des pollinisateurs sauvages.

Dix pesticides différents (Exemple) : La pollution est donc bien plus élevée que ce que l'on imaginait. « Dans 40% des cas, on retrouve plus de dix pesticides différents », a expliqué Vincent Bretagnolle, écologue au CNRS. Les quatre substances les plus présentes dans les sols sont le diflufenican (herbicide), l'imidaclopride (insecticide néonicotinoïde utilisé sur les cultures de betterave, suite aux récentes dérogations), le boscalide et l'époxiconazole (fongicides).

Dans les vers de terre (Exemple) : Les chercheurs ont franchi une nouvelle étape en recherchant des traces de pesticides dans les vers de terre. L'hypothèse d'une bioaccumulation des substances chimiques pesticides se vérifie. Dans 80 % des vers de terre prélevés, ils ont retrouvé de l'imidaclopride (nom commercial : Gaucho. Largement utilisé par les agriculteurs, puis interdit et ré-autorisé par dérogation pour les cultures de betterave).

Niveaux de concentration spectaculaires : L'imidaclopride est présente à des niveaux de concentration, entre 100 et 500 parties par milliards, jugés faramineux par les scientifiques. A titre de comparaison, le niveau de concentration est 100 à 400 fois supérieur aux traces relevées dans du nectar de colza, après traitement des cultures à cet insecticide.

Cette preuve de la bioaccumulation des substances pesticides est une nouvelle inquiétante car elle met en évidence les risques pesant sur la santé environnementale et sur les chaînes alimentaires en général.

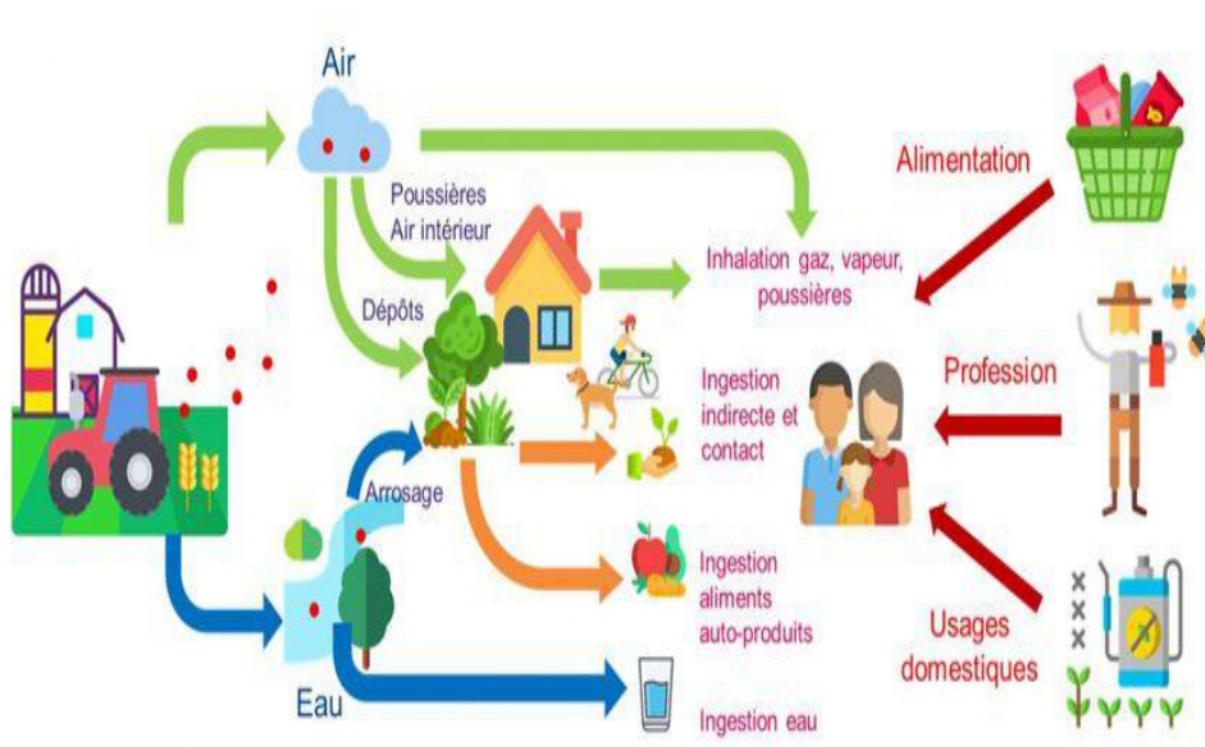


Figure 21 : Phénomène d'accumulation et biodégradabilité des pesticides

I.2.4 - Biodégradabilité lente ou même absente

A l'échelle globale, environ 5.000 pesticides différents sont utilisés régulièrement en agriculture. Ceux-ci ont mauvaise presse, en grande partie du fait d'une utilisation inappropriée qui nuit à l'environnement (impact négatif sur la biodiversité, pollution des sols,...). De plus, ils sont susceptibles de porter atteinte à la santé des personnes exposées. Cependant, tous les pesticides n'ont pas un impact néfaste. Par exemple, certains pesticides sont décomposés rapidement dans l'environnement, d'autres plus lentement. Des scientifiques ont développé une nouvelle méthode de détection des pesticides dans le sol. Cette technique permet également de savoir si les résidus de pesticides sont biodégradables ou non. Ainsi, les effets à long terme des pesticides pourront être mieux évalués.

Après avoir marqué les pesticides par un isotope de carbone ^{13}C non radioactif, les scientifiques ont suivi l'évolution des produits dans plusieurs échantillons de sols grâce à la spectrométrie de masse. De cette façon, les chercheurs ont pu déterminer les zones de dégradation dans le sol et classer les produits en trois catégories principales:

Pour le type 1, le pesticide et/ou ses produits dégradés sont combinés à la matière organique du sol (humus) mais peuvent être libérés à tout moment. Si la liaison chimique

est forte, le relargage sera plus difficile et les résidus sont catégorisés en type 2. Dans les deux cas, types 1 et 2, les résidus présentent une certaine toxicologie car ils n'ont pas été biodégradés sur une courte échelle de temps. Les résidus de type 3 sont ceux qui ont été décomposés par l'activité bactérienne. Le carbone ^{13}C est alors retrouvé dans la biomasse microbienne. Les risques toxicologiques sont alors moindres.

I.2.5 - Problème des résidus

Un résidu de pesticide est un reste de pesticide (métabolite ou sous-produit de dégradation, éventuellement plus toxique que la molécule-mère) encore présent dans l'eau, l'air ou le sol, les écosystèmes ou sur un produit précédemment traité et mis sur le marché. Les métabolites sont susceptibles de contaminer les ressources en eau et de se retrouver dans les eaux destinées à la consommation humaine. C'est en quelque sorte un déchet résiduel, dispersé en faibles quantités, par exemple issu des épandages faits sur la culture ou à proximité. L'essentiel des résidus est lié au sol, plus ou moins fortement selon le type de produit et le type de sol. En 2016, le chercheur néerlandais constate que malgré 50 ans de recherche sur les « résidus de pesticides liés au sol » (RPLS), et bien qu'un tiers environ de la masse des pesticides utilisés en agriculture finit par devenir RPLS il n'existe que peu d'orientations réglementaires sur l'évaluation des risques environnementaux qu'ils posent, y compris en Europe. Pour aider les gestionnaires des risques à définir « quels changements d'utilisation des sols sont pertinents pour les résidus liés au sol », il a proposé une définition du cas particulier des RPLS (résidus de pesticides liés aux particules du sol), incluant des métabolites (parfois plus toxiques et/ou écotoxiques que la molécule active), métabolites issus de la vie du sol. Certains de ces résidus peuvent persister des décennies voire plus d'un siècle surtout dans des sols de plus en plus tassés et appauvris en vie du sol (Cf. DDT, lindane encore couramment retrouvés par exemple bien qu'interdits depuis longtemps, ou Chlordane encore récemment utilisé aux Antilles françaises bien qu'interdit en France). Jusqu'alors les définitions du RPLS sont toutes fondées sur la non-extractibilité de la molécule dans le sol par les méthodes d'analyse en laboratoire, alors qu'en termes de gestion de risques environnementaux et sanitaires, il faudrait considérer la cinétique ou l'activité réelles de ces molécules « sur le terrain » où le sol peut fortement évoluer quand il change d'usage (transformation d'un champ en prairie, jardin, zone agro-sylvicole ou forêt par exemple),

de même sous les effets croisés de l'évolution du climat et/ou de la biodiversité ou de l'acidification des sols ou de leur salinisation. J Boesten considère qu'une molécule est « liée au sol » si une partie pertinente de cette molécule fait partie de la phase solide du sol, et si elle ne sera plus jamais relâchée dans l'eau interstitielle du sol dans des conditions de terrain pertinentes sous la forme de cette molécule-mère ni sous la forme d'une autre molécule pouvant éventuellement poser des problèmes toxicologiques environnementaux ou sanitaires (cette molécule-mère peut être la substance mère appliquée au sol, mais il peut aussi s'agir d'un métabolite de cette substance mère). Cette définition est plus précise car elle implique que la molécule mère du résidu lié au sol soit spécifiée. De plus la sorption très forte mais réversible de molécules telles que le parquat fait qu'un tel pesticide n'est alors plus à considérer comme « résidu lié au sol » (ce que démontre une procédure d'extraction auto-échangeable). Enfin, le gestionnaire de risque doit alors définir ce qu'il entend par « conditions de terrain pertinentes » (dont en incluant par exemple une conversion de champ cultivé en forêt).



Figure 23 : Problème des résidus

I.2.6 - Problème des effets de pollution de l'environnement

1- Réduire l'impact environnemental des pesticides:

Comprendre les processus (et interactions) contrôlant le devenir des pesticides dans les sols.

Identifier des pratiques permettant d'optimiser leur dissipation (*influençant leur stabilisation + dégradation*)

2- Importance du rôle tampon des sols

- Divers processus interagissent (rétention, dégradation, stabilisation, transfert) et modulent leur devenir dans l'environnement et donc:
- L'expression de leur caractère polluant
- Leur rémanence (persistance)
 - Grande variabilité selon les familles de pesticides
 - Forte influence des conditions pédoclimatiques (pH, teneur en argile et MO, humidité, température), des pratiques agricoles (fertilisations et amendements, travail du sol)

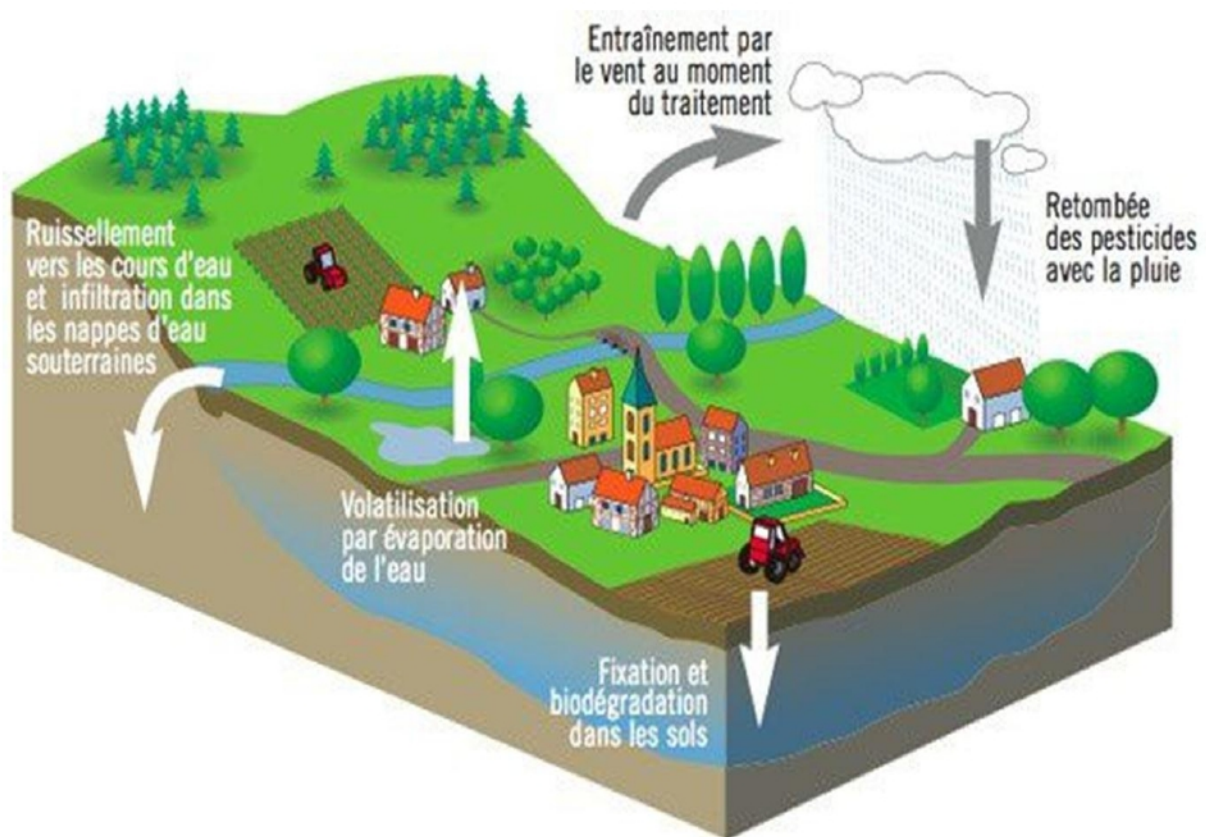


Figure 22 : Cycle des pesticides

I.3 - Lutte raisonnée, lutte rationnelle (ou Agriculture 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. Protection raisonnée. (Définition de l'AFPP)

La lutte raisonnée a pour ambition d'affiner les stratégies de traitement dans le but de limiter les interventions inutiles. Une démarche de raisonnement de la lutte nécessite de disposer d'outils d'aide à la décision (OAD) fiables. Ceux-ci requièrent un suivi précis des populations de pucerons et font fréquemment appel à la modélisation mathématique. La réduction de la fréquence des interventions peut être importante, en particuliers sur les cultures sensibles comme les cultures fruitières et maraîchères. L'INRA (UMR BiO3P) a développé des OAD fondés sur la modélisation prévisionnelle pour raisonner la lutte contre :

- Le puceron des épis des céréales (*Sitobion avenae*) au printemps
- Le puceron des céréales et du merisier à grappes (*Rhopalosiphum padi*) principal vecteur du virus de la jaunisse nanisant de l'orge (BYDV)

L'agriculture raisonnée est un système de production agricole dont l'objectif premier est d'optimiser le résultat économique en maîtrisant les quantités d'intrants, et notamment les substances chimiques utilisées (pesticides, engrais) dans le but de limiter leur impact sur l'environnement.

Elle a pour objectif d'adapter les apports en éléments fertilisants aux besoins réels des cultures en tenant compte des éléments présents dans le sol et du rendement potentiel de la plante.

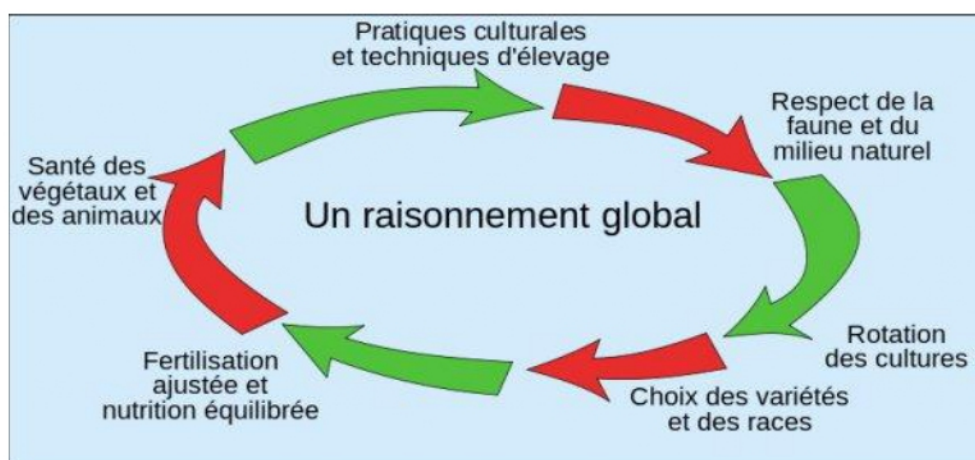


Figure 22 : Lutte raisonnée

Chapitre II

Composantes

de la lutte

intégrée

Chapitre II : Composantes de la lutte intégrée

La gestion intégrée des ennemis des cultures est une méthode décisionnelle qui consiste à avoir recours à toutes les techniques nécessaires pour diminuer les populations d'organismes nuisibles de façon efficace et économique, dans le respect de la santé et de l'environnement.

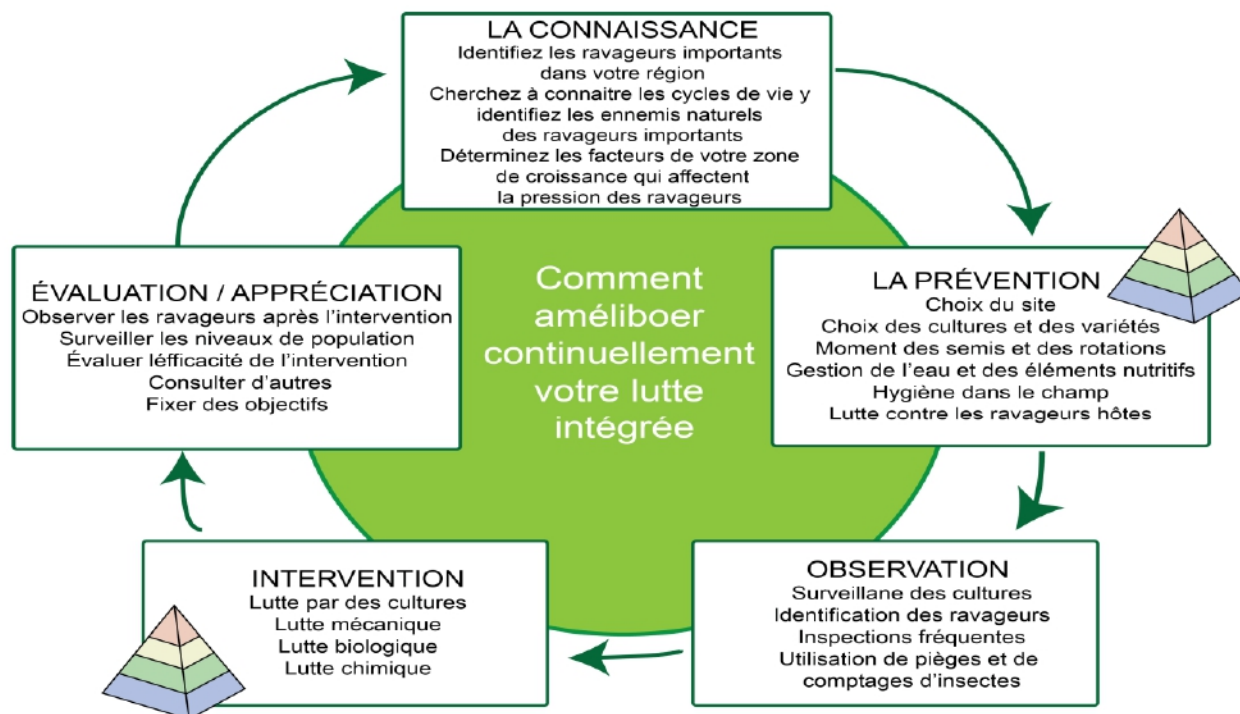


Figure 23 : Gestion Intégrée

II.1-Gestion intégrée

II.1.1- Connaissance

L'apprentissage est utile à tout moment dans une stratégie de lutte intégrée en constante amélioration, mais peut s'avérer particulièrement avantageux lors du démarrage d'un plan de lutte intégrée. L'obtention de certaines informations importantes peut nécessiter la collaboration de la communauté.

Identifier les ravageurs importants dans la région

La pression saisonnière des insectes peut changer d'année en année en raison de l'introduction de nouveaux ravageurs issus du commerce mondial et / ou de la propagation abiotique de ravageurs et de maladies. Néanmoins, il est important de prendre note des ravageurs que les agriculteurs voient régulièrement au cours des

différentes saisons culturelles. Cela vous aidera à comprendre quels ravageurs sont communs et à quel moment ils ont tendance à apparaître chaque saison.

Connaitre les cycles de vie des ravageurs importants

La durée de vie et le cycle de vie des ravageurs varient énormément. Vous devriez pouvoir identifier les ravageurs courants à différents stades de leur vie, tels que les œufs, les larves, les nymphes, les pupes et les adultes. Si vous pouvez reconnaître les étapes du cycle de vie des ravageurs, vous serez plus en mesure d'intervenir, car certaines interventions ne sont efficaces qu'à certaines étapes de la vie. Des informations telles que la durée de vie et / ou la présence d'un stade ailé vous permettent d'estimer le taux potentiel de propagation et / ou de mobilité de la population de ravageurs.

Identifier les ennemis naturels des ravageurs importants

Les ennemis naturels des ravageurs peuvent vivre dans l'environnement et permettent déjà de contrôler naturellement la population de ravageurs. Certains ennemis naturels sont bien connus, tandis que d'autres peuvent être déterminés en observant attentivement les interactions entre les ravageurs et les autres espèces. Une fois que vous connaissez des ennemis naturels, vous pouvez noter leur abondance relative avant et pendant la saison des cultures.

Déterminer les facteurs dans la zone de culture qui affectent la pression des ravageurs

Accordez de l'attention aux facteurs dans la zone de culture qui affectent la pression des ravageurs. Ceux-ci peuvent être environnementaux, telles que les tendances observées dans le champ pendant et après la saison des cultures. Ils peuvent également comprendre des dynamiques culturelles, économiques, politiques et sociales. Voici quelques exemples de questions pouvant faire l'objet de réflexion et de discussion au niveau communautaire:

- **Est-ce que tout le monde sème en même temps?** Certains ravageurs n'affectent les cultures que pendant des périodes spécifiques du développement des plantes. Si tous les agriculteurs d'une région sèment une culture en même temps, ils subiront vraisemblablement tous la même pression parasitaire. Cependant, si la culture d'un agriculteur est en retard par rapport à celles de tous les autres, cet agriculteur risque de subir une pression de ravageurs nettement plus importante.

- **Est-il socialement et culturellement acceptable d'appliquer des pesticides dans la région?** Si l'Etat restreint l'utilisation de certains pesticides, les agriculteurs devraient suivre les réglementations et les directives définies par les autorités locales. Si certaines applications de pesticides sont d'une manière ou d'une autre socialement inacceptables, les agriculteurs devraient s'assurer que la communauté soit au courant de leur plan de lutte intégrée, de sorte que la communauté puisse réagir de la manière qui lui convient le mieux. Par exemple, si un agriculteur applique des pesticides sur les cultures situées à côté d'une école, la communauté peut indiquer que cela doit être fait lorsque les élèves ne sont pas à l'école pendant un certain temps. La communauté peut également demander à l'agriculteur d'installer une haie entre son champ et l'école. La communauté a-t-elle exprimé des objectifs en matière de lutte contre les ravageurs?
- **Quelles options de lutte sont réalisables compte tenu des ressources disponibles?** Énumérez les techniques de lutte antiparasitaire actuellement utilisées et notez leur efficacité (en sachant que cela sera probablement subjectif). Quelles sont les proportions de temps, de ressources et d'efforts consacrées actuellement à la lutte antiparasitaire? Le manque de ressources peut limiter le nombre de techniques de lutte antiparasitaire durables et réalisables.

La connaissance est un élément important de la stratégie de lutte intégrée. Elle responsabilise les agriculteurs en sensibilisant davantage les populations aux caractéristiques des ravageurs et en les aidant à changer leurs mentalités, afin qu'ils se concentrent de manière proactive sur la prévention des problèmes d'insectes ravageurs au lieu d'attendre de manière réactive de voir et de traiter les problèmes qui pourraient survenir.

II.1.2- Prévention

Lorsque le sujet de la lutte contre les ravageurs agricoles est mentionné, la plupart des gens pensent d'abord à la surveillance des ravageurs ou à l'intervention visant à réduire les ravageurs: le dépistage, l'identification des ravageurs et / ou l'application de pesticides sont des pratiques spécifiques. Cependant, la prévention est une stratégie clé souvent négligée que les agriculteurs peuvent utiliser pour minimiser la probabilité de problèmes d'insectes ravageurs.

La prévention des ravageurs (parfois appelée évitement des ravageurs) est la minimisation délibérée du potentiel de présence des ravageurs dans le champ et est le fondement de la lutte intégrée. Les mesures préventives constituent le fondement de la lutte intégrée, réduisant au minimum les risques de dégâts aux cultures. Parmi toutes les méthodes de lutte contre les ravageurs (biologiques, physiques, culturales et chimiques, par exemple), certaines techniques sont préventives tandis que d'autres sont suppressives. Les techniques préventives créent des conditions défavorables pour les ravageurs, par exemple en limitant leur accès à l'eau, à des sources de nourriture ou à un abri. Les techniques suppressives tuent ou piègent les ravageurs, réduisant les populations existantes.

II.1.3- Observation et suivie des champs

Lorsque les insectes sont présents en petit nombre, il peut être difficile de déterminer si un insecte particulier est un ravageur des cultures. Les ravageurs sont souvent définis en fonction de leur comportement alimentaire; à quelle vitesse ils se reproduisent; s'ils ont ou non des ennemis naturels présents; s'ils transmettent des maladies aux humains, au bétail ou aux plantes; et / ou s'ils contaminent le produit alimentaire final. Le type de pièces buccales et le type de métamorphose sont des attributs utiles à connaître, car ils peuvent indiquer où un insecte ravageur pourrait être trouvé, le type de dégât qu'il pourrait causer et la meilleure façon de le traiter.

La métamorphose décrit la façon dont un insecte passe d'un stade immature à un stade adulte. En métamorphose incomplète, les insectes immatures ressemblent et agissent de manière très similaire aux adultes. Les insectes qui subissent une métamorphose complète passent par un stade nymphal où ils passent d'une forme à quelque chose de complètement différent (par exemple, une chenille se transforme en papillon). Ces insectes à leurs stades immatures ne ressemblent généralement en rien aux adultes, se trouvent souvent à différents endroits et peuvent être beaucoup plus difficiles à identifier. Par exemple, de nombreux coléoptères immatures vivent sous terre ou creusent des tunnels dans les racines, mais les adultes vivent sur la partie aérienne de la plante. Souvent, un insecte n'est qu'un ravageur à un stade de la métamorphose complète; de nombreux papillons diurnes et papillons nocturnes ne se nourrissent pas à l'âge adulte et peuvent même être des pollinisateurs bénéfiques, mais les chenilles (stade

immature/larvaire) peuvent complètement défolier une culture. Il y a des exceptions à ces catégories, mais il est essentiel de comprendre comment les insectes se nourrissent et se développent pour réussir à lutter contre les ravageurs.

Les comportements alimentaires des insectes dépendent de leurs pièces buccales. Les insectes ayant des pièces buccales mâcheuses enlèvent des morceaux de tissu de feuille ou de fruit, laissant des trous dans la plante. Étant donné que ces insectes ingèrent généralement des tissus végétaux, les insecticides appliqués à la surface de la plante peuvent être efficaces. En revanche, les insectes aux pièces buccales suceuses ne se nourrissent pas de l'extérieur de la plante, mais consomment plutôt la sève à l'intérieur de la plante, tuant les cellules végétales. Dans cette situation, les dégâts aux plantes peuvent comprendre une déformation des feuilles, des poinçonnages jaunes ou des grains flétris. Étant donné que les insectes qui ont des pièces buccales suceuses se nourrissent uniquement des jus internes de la plante, les insecticides appliqués à la surface de la plante ne seront pas efficaces.

Les dégâts causés par l'alimentation des insectes, les toiles ou toute autre activité des insectes peuvent ressembler à de nombreuses maladies bactériennes, fongiques ou virales ou à des symptômes de carence en éléments nutritifs des plantes. Avant de prendre des mesures contre un insecte ravageur présumé, vérifiez que les symptômes que vous observez ne sont pas causés par une infection bactérienne, virale ou fongique. Les insecticides ne sont pas efficaces contre ces types d'infections et une mauvaise utilisation des insecticides gaspille les précieuses ressources des agriculteurs et peut tuer des insectes utiles. Pour des comparaisons visuelles des maladies courantes et des dégâts causés par les ravageurs.

Échantillonnage

Le but de l'inspection est d'estimer la population de ravageurs dans un champ ou un jardin, plutôt que de dénombrer ou de compter toute la population d'insectes. Cette estimation échantillonnée vous permet de déterminer si l'intervention pour lutter contre le ravageur vaut la peine d'y consacrer du temps, de l'argent et les impacts négatifs potentiels, ou si vous devez attendre et continuer de surveiller la population de ravageurs. Vous pouvez échantillonner les insectes par des comportements actifs ou par des pièges passifs. Pour les deux méthodes, considérez attentivement où échantillonner; si vous ne le

faites pas, les résultats pourraient être dénués de sens. Les populations d'insectes varient en densité dans un champ, alors assurez-vous de vérifier plusieurs zones de manière aléatoire. De nombreux insectes se rassembleront dans une zone d'un champ mais seront présents en nombres beaucoup plus faibles ailleurs. Si vous n'échantillonnez que dans la zone fortement infestée, vous pourriez penser que la population de ravageurs est beaucoup plus importante qu'elle ne l'est en réalité. Si vous échantillonnez ailleurs, vous pourriez commettre l'erreur inverse de croire que les niveaux d'insectes sont très bas, alors qu'ils ne le sont pas. En général, la meilleure façon d'échantillonner activement est de suivre un modèle «M» ou «W» dans tout le champ ou jardin, en faisant 5 à 10 arrêts pour inspecter les plantes en vue de détecter la présence ou l'activité des insectes. Par exemple, lors de l'inspection de la chenille légionnaire d'automne dans le maïs, il est recommandé de faire 5 arrêts dans ce schéma et d'inspecter 20 plants de maïs consécutifs à chaque arrêt. Cela permet un échantillonnage aléatoire qui représente l'ensemble du champ. Lors du dépistage, faites également attention aux zones du champ qui pourraient avoir des dégâts plus graves que d'autres (par exemple, les bords du champ ont souvent des dégâts plus importants en raison des points d'entrée à partir des zones environnantes). Dans ces cas, vous pouvez utiliser des stratégies d'intervention uniquement dans ces domaines, mais pas dans le reste du champ.

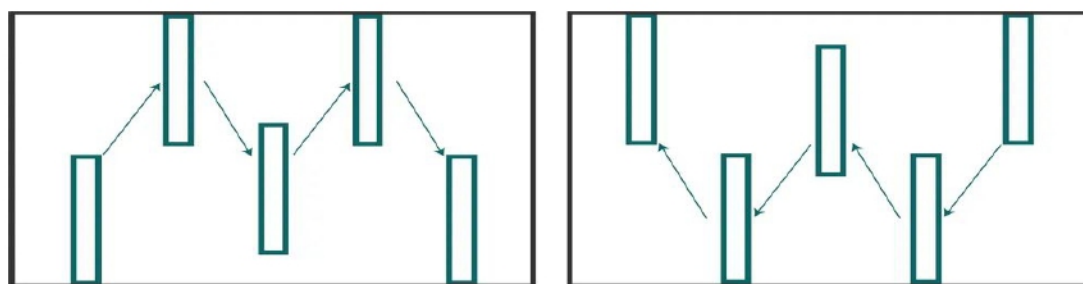


Figure 24 : Exemple de modèle d'échantillonnage «M» (gauche) et «W» (droite)

➤ L'échantillonnage actif

Vous pouvez effectuer un échantillonnage actif de différentes manières. Le filet de balayage est une façon d'estimer une population d'insectes dans tout un champ. Pour fabriquer un filet de balayage simple à partir de matériaux locaux, prenez un sac en tissu de couleur claire, ajoutez un anneau métallique ferme autour de l'ouverture (30 à 38 cm de diamètre) et attachez-le à un bâton ou à une perche. Les filets de balayage fonctionnent mieux pour les cultures basses telles que le riz et autres petits grains, ou les

haricots non grimpants avant la floraison et les fruits - des plantes suffisamment résistantes pour supporter les dégâts sans perdre de fruits ni trop de masse de feuilles. Les filets de balayage fonctionnent également mieux pour les insectes qui se délogent facilement des plantes.

Le battage fonctionne bien pour les plantes trop grandes pour un filet de balayage. Pour utiliser cette technique, tapotez ou secouez des branches individuelles sur une bâche ou une feuille et notez le nombre et le type d'insectes qui tombent sur la bâche ou la feuille. Le battage fonctionne mieux par temps frais tôt le matin, lorsque les insectes sont plus susceptibles de tomber des branches au lieu de s'envoler.

Avec la technique d'indexation de la population, vous mesurez indirectement la population de ravageurs en observant les signes de dégâts causés par les insectes. Par exemple, vous pouvez estimer le pourcentage de défoliation des feuilles, la quantité d'excréments d'insectes (excréments), et/ou l'apparition de tentes, de nids, de toiles, de trous d'émergence ou de tunnels dans les fruits ou les tiges. Vous pouvez également écouter les bruits d'insectes, tels que lorsqu'ils mordent ou mâchent, pour vous aider à estimer les dégâts potentiels causés par les insectes.

Lorsque vous recherchez des preuves d'insectes nuisibles, assurez-vous de rassembler et d'enregistrer les données. Les informations vous permettront de suivre les changements dans la population d'insectes tout au long de la saison de croissance; cela peut également vous aider à savoir quand faire le dépistage les saisons suivantes.

➤ **L'échantillonnage passif**

L'échantillonnage passif comprend généralement l'utilisation de pièges à insectes. Les pièges vont des pièges à phéromones très sophistiqués et coûteux à un récipient rempli d'eau savonneuse. Lors de la fabrication d'un piège maison, tenez compte de la couleur du piège, comment l'insecte sera piégé dans ou sur le piège, et à quelle fréquence vous prévoyez de vérifier le piège. À titre d'exemple, vous pouvez utiliser de l'eau savonneuse dans des casseroles ou des plats colorés (souvent le jaune est le plus attrayant pour les insectes); des cartes recouvertes d'une matière collante puis suspendues à un arbre ou placées sur un pieu dans un champ; ou un piège à fosse fabriqué en enfouissant une tasse dans le sol, de sorte que les insectes qui se promènent au sol tombent à l'intérieur. Ajoutez toujours un peu de savon aux pièges contenant de l'eau, pour briser la tension superficielle de l'eau. Sinon, les insectes sont suffisamment petits pour rester à la surface

de l'eau et s'échapper. Pour surveiller les ravageurs nocturnes tels que les papillons de nuit, vous pouvez envisager un piège à lumière. Les fruits ou autres attractifs, comme la viande, peuvent rendre un piège plus efficace ou peuvent même devenir le piège lui-même. Par exemple, dans les régions tempérées, lors de la surveillance de la mouche de la pomme (un ravageur des pommes), le piège est parfois une boule de plastique rouge recouverte d'une matière collante et parfois une vraie pomme recouverte d'une matière collante. Notez que ces pièges sont destinés à vous aider à déterminer le stade de vie du ravageur, à quel moment ils sont actifs et approximativement combien sont présents. Ils ne sont pas conçus pour attraper suffisamment d'insectes en vue de les éliminer.

Si vous cultivez une culture de grande valeur, songez à acheter des appâts ou substances attractives à base de phéromones préparées en laboratoire pour vous aider à détecter des ravageurs spécifiques.



Figure 25 : Exemples des techniques d'échantillonnage ou dépistage

II.1.4- Intervention

L'une des décisions les plus importantes que prend un agriculteur au cours d'une saison agricole est de savoir comment lutter efficacement contre les parasites pour préserver la productivité et la valeur économique d'une culture. La réaction d'un agriculteur lorsqu'il voit des ravageurs dans ses cultures ou ses céréales est d'intervenir pour protéger ses moyens de subsistance. Donnez toujours la priorité aux options de lutte contre les ravageurs qui s'adaptent au contexte local et font recours aux ressources disponibles localement. Si une intervention nécessite des ressources extérieures à la communauté, vous devez d'abord envisager d'autres alternatives. Essayez d'établir des systèmes qui garantiront l'accès et la disponibilité à long terme de ces ressources. Il vous faudra peut-être:

- ✓ Soutenir l'esprit d'entrepreneuriat local,
- ✓ Elaborer un plan de gestion de l'organisme ravageur à l'échelle de la zone, afin que la charge incombe à l'ensemble de la communauté plutôt qu'à des agriculteurs individuels, ou bien
- ✓ Mettre en place des systèmes de soutien gouvernemental ou organisationnel.

De plus, évaluez si une pratique sera culturellement appropriée. Cherchez à connaître l'opinion et les sentiments des membres de la communauté qui pourraient être affectés par le plan de lutte contre les ravageurs.

Lors du choix des options de lutte contre les ravageurs, utilisez les interventions qui sont efficaces, qui ont le moins d'impact sur la communauté et l'environnement environnants, et qui sont complémentaires lorsqu'elles sont intégrées. Lorsqu'on ne dispose pas d'informations sur une espèce ou une culture spécifique, il peut être nécessaire de tester des stratégies potentielles sur une petite zone afin de déterminer celle qui est la plus efficace. Parfois, les changements saisonniers normaux suffisent à maîtriser les maladies ou les ravageurs, sans autre intervention que l'ajustement du moment de la plantation. Par exemple, les maladies qui prospèrent dans des conditions humides peuvent pratiquement disparaître pendant la saison sèche. Cet article présente les options suppressives pour les situations qui nécessitent une intervention en réponse à des maladies ou des ravageurs observés.

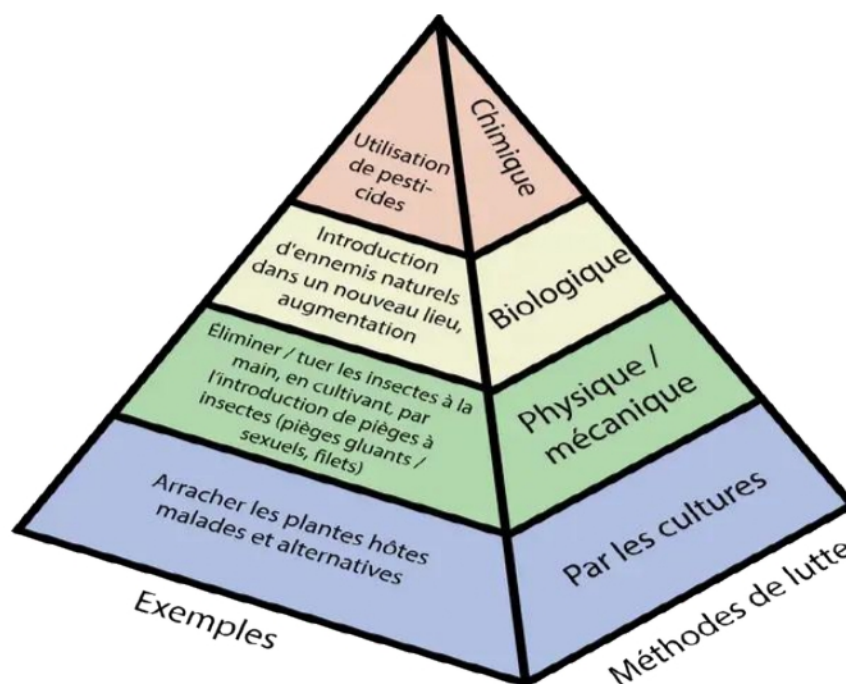


Figure 26 : Exemples type de l'intervention contre les ravageurs

II.1.5- Évaluation et Appréciation

Après avoir tenté de prévenir ou de combattre un ravageur, les agriculteurs doivent surveiller l'activité des ravageurs pour évaluer avec précision l'efficacité de leurs interventions et de leur approche globale de lutte. La surveillance des ravageurs et l'évaluation de l'efficacité d'une stratégie préventive peuvent nécessiter du temps et de la patience, car de nombreuses stratégies préventives prennent des semaines, des mois, voire des années de mise en œuvre. Surveillez de manière intensive les stratégies préventives au début d'une saison de culture pour déterminer si la stratégie empêche les populations de ravageurs de s'accumuler ou d'entrer dans le champ. Pour évaluer l'efficacité d'une stratégie de suppression destinée à contrôler les ravageurs existants, surveillez les populations de ravageurs à court terme quelques jours après l'intervention pour assurer la protection des cultures.

Si vous utilisez une intervention chimique pour lutter contre un organisme nuisible, commencez à surveiller les organismes nuisibles seulement après qu'il soit possible de rentrer dans les zones d'application en toute sécurité. Les délais de sécurité (DS) doivent être indiqués sur les étiquettes des produits ou trouvés en recherchant l'ingrédient actif ou le nom usuel du pesticide.

La surveillance des niveaux de ravageurs peut être effectuée avec les mêmes techniques que celles présentées dans la section « observation » de cet article.

L'activité des ravageurs peut différer selon les interventions utilisées. Certaines interventions sont toxiques, provoquant la mort d'un ravageur à un ou plusieurs stades de sa vie. D'autres sont dissuasifs, ce qui fait que les ravageurs quittent la culture. D'autres encore provoquent des changements dans le comportement des ravageurs, tels que l'incapacité de muer ou de se nourrir, et prennent plus de temps pour avoir un effet mortel que les interventions toxiques. Par conséquent, il est utile de savoir comment une stratégie affecte un organisme nuisible lors de la surveillance.

Lors de la surveillance, notez les observations sur l'efficacité des interventions de lutte antiparasitaire et les facteurs susceptibles d'influencer leur efficacité.

Quel(s) stade(s) de vie des ravageurs ciblés est/sont touché(s)?

Dans quelle mesure l'intervention est-elle létale/dissuasive pour chaque étape de la vie ?

Combien de temps faut-il pour affecter le ravageur?

Y a-t-il quelque chose d'unique dans la météo ou l'environnement qui peut avoir un impact sur l'efficacité d'une stratégie ?

Ces notes sont utiles lors de l'évaluation des interventions à inclure ou à exclure d'un plan de lutte intégrée.

Le suivi est essentiel non seulement pour évaluer l'efficacité d'une intervention mais aussi pour la protection continue d'une culture. Si une stratégie ne lutte pas contre une population de ravageurs, répétez ou utilisez une autre stratégie.

Évaluez les stratégies

De nombreux facteurs influent sur l'efficacité d'une stratégie de lutte antiparasitaire. La pluie survenant peu de temps après une application foliaire peut limiter la quantité de produit restant sur la plante pour lutter contre le ravageur. La température de l'air et l'intensité de la lumière du soleil peuvent avoir une incidence sur la rapidité avec laquelle un pesticide (naturel ou synthétique) se décompose et, par conséquent, sur la durée d'exposition d'un organisme nuisible.

L'exposition des ravageurs à un pesticide est également influencée par l'uniformité avec laquelle il est pulvérisé, la taille des gouttelettes et la surface (par exemple, le dessous des feuilles, le dessus des feuilles ou le couvert entier) de la feuille qui a été pulvérisée.

Les considérations d'un agriculteur sont vitales pour un plan de lutte intégrée réussi et significatif. Un investissement durable et à long terme dans l'atténuation des effets des ravageurs n'est bon que dans la mesure où il est acceptable pour un agriculteur ou une

communauté agricole. C'est donc l'appréciation de l'agriculteur qui détermine la valeur d'une stratégie. Les dégâts acceptables sur une culture dépendent d'un certain nombre de facteurs, dont beaucoup sont propres au contexte d'un agriculteur spécifique.

II.2 - Moyens agro- techniques ou culturale

La lutte culturale est une méthode de lutte contre les déprédateurs et maladies des plantes cultivées et contre les mauvaises herbes qui fait appel à des techniques culturales ou des méthodes de culture adaptées.

Ces techniques visent à défavoriser le développement des parasites et des adventices en modifiant leur environnement naturel et en perturbant leur cycle biologique. Elles peuvent inclure, par exemple, la pratique de rotations culturales adaptées, la modification du pH du sol, le niveau de fertilisation, les techniques d'irrigation, le paillis, l'élimination des résidus de récolte, etc.

La lutte culturale est intéressante dans la mesure où elle n'implique pas de coûts supplémentaires et où elle peut s'intégrer dans les objectifs économiques de l'exploitation. Elle ne peut cependant à elle seule suffire à maîtriser tous les ravageurs.

Les mesures de lutte culturale modifient l'environnement autour des plantes pour le rendre moins favorable aux ravageurs. Les ravageurs de votre/vos culture(s) principale(s) peuvent également être hébergés par d'autres espèces de plantes poussant dans ou près de votre champ ou jardin. Le fait d'éliminer ou de tailler ces plantes hôtes alternatives peut aider à réduire la population de ravageurs. Si vous faites recours de même à la lutte biologique, préservez – autant que possible – les arbres, les arbustes ou les mauvaises herbes proches de votre culture que les prédateurs naturels utilisent comme refuge, pour se nourrir et pour la nidification. Vous pouvez également faire usage de pratiques culturales sur votre culture principale. Les plants de tomates, par exemple, peuvent être gérés de manière à limiter les maladies bactériennes et fongiques. L'humidité dans le feuillage est la plus élevée autour des feuilles les plus proches du sol, c'est pourquoi ces maladies transmises par l'eau infectent généralement d'abord les feuilles inférieures, puis se propagent vers le haut au reste du feuillage. Lorsque vous enlevez les feuilles inférieures des tomates, vous réduisez l'humidité près de la surface du sol en augmentant le flux d'air. En procédant ainsi tôt dans la saison, vous réduisez le développement des maladies en début de saison.

II.2.1-Travail du sol

Le labour avant l'hiver à une certaine profondeur peut perturber le cycle de vie de certains ravageurs, non seulement par ses effets mécaniques, mais aussi en les exposant à des températures plus froides qui peuvent être mortelles, à la prédation par des oiseaux ou de petits mammifères, ou en les enterrant profondément dans le sol. Dans certains cas, cependant, les populations d'insectes auxiliaires, vivant dans les débris végétaux au sol, peuvent aussi souffrir des effets du labour. La binage mécanique est une technique de désherbage efficace dans les cultures sarclées.



Figure 27 : Exemples type de travail de sol

II.2.2-Rotation des cultures (dans le temps et / ou dans l'espace)

Les cultures de la même famille ont tendance à être sensibles à des ravageurs et à des maladies similaires. La rotation des cultures dans le temps et / ou dans l'espace peut briser le cycle de vie d'un ravageur en arrachant la culture hôte dont il a besoin pour survivre. Une possibilité consiste à effectuer la rotation d'un champ spécifique avec des cultures sensibles à différents ravageurs, dans le temps. Les cultures qui dissuadent ou tuent les ravageurs peuvent être incluses dans les programmes de rotation des cultures; Par exemple, vous pouvez effectuer une rotation des cultures sensibles aux nématodes avec un nombre quelconque de cultures éliminant les nématodes.

Dans les zones où plusieurs cultures sont cultivées à la fois, vous pouvez effectuer une rotation de groupes de cultures dans l'espace et dans le temps. Le fait de transférer les plantes de la culture hôte d'un endroit à un autre aidera à réduire les populations de ravageurs au fil du temps.

Vous devrez peut-être songer à semer vos cultures en sachant à quel moment les populations d'insectes ravageurs risquent de devenir un problème. Si un ravageur particulier entre en dormance pendant un certain temps (en raison du temps froid ou sec) et que vous semez avant l'apparition du ravageur, les plantes peuvent prendre une longueur d'avance et se fortifier avant que les ravageurs ne soient abondants. Toutefois, notez que si les agriculteurs de votre région sèment à des moments différents, les cultures de certains agriculteurs risquent de subir une plus grande pression de la part des ravageurs du fait qu'ils aient semé de manière asynchrone. Assurez-vous de savoir comment des décisions telles que le moment des semis sont prises aux niveaux individuel et communautaire.

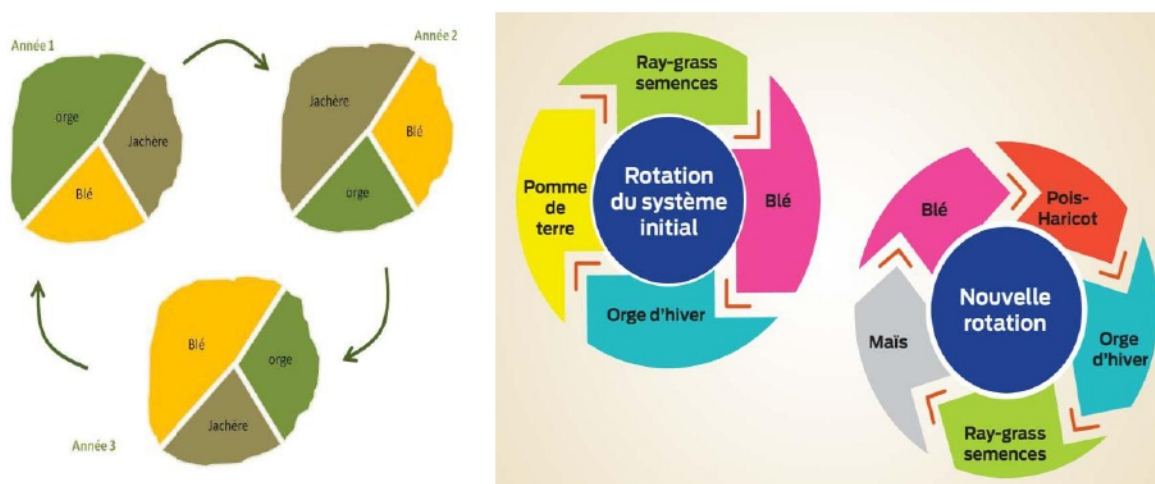


Figure 28 : Exemples type de la rotation culturale

II.2.3-Cultures pièges

Les culture-pièges consistent à planter à proximité d'une culture, ou intercalées dans celle-ci, des plantes capables d'attirer les ravageurs, généralement des insectes, pour les éloigner de la culture principale et ainsi éviter ou limiter les traitements insecticides.



Figure 29 : Exemples type des cultures piège

II.2.4-Cultures associées

Les cultures associées ou compagnonnage est une technique utilisée en horticulture. Elle consiste à associer dans une même culture des plantes dites « compagnes » qui repoussent certains ravageurs nuisibles à la culture principale.



Figure 29 : Exemples type des cultures associées

II.2.5-Choix d'espèces ou de porte-greffe résistants

L'emploi de variétés résistantes ou tolérantes : en maraîchage, il existe de plus en plus de variétés résistantes ou tolérantes aux maladies.

Les résistances «mono-géniques» ou «verticales» ont le risque d'être rapidement contournées par l'apparition de nouvelles races virulentes du parasite. Il est donc préférable de disposer de résistances non spécifiques ou «horizontales», supposées plus durables.

Le greffage permet de lutter contre des parasites du sol en greffant une variété cultivée sensible sur une variété porte-greffe résistante.



Figure 29 : Exemples type de porte greffe

II.2.6-Paillis

Le paillis consiste à recouvrir le sol à l'aide d'un matériau protecteur, naturel (paille, écorces) ou synthétique (film plastique), qui a pour premier effet de limiter l'évaporation et maintenir l'humidité du sol, mais qui sert aussi à éloigner certains insectes ravageurs et à limiter la croissance des mauvaises herbes.



Figure 29 : Exemples type de Paillis

II.2.7- Inondation des terres

L'inondation peut être utilisée comme méthode de lutte contre certains ennemis de cultures. Dans un sol inondé, beaucoup de ravageurs et de maladies ne peuvent pas survivre. En effet, la quantité de germes de maladies dans le sol va se trouver diminuée après la période d'inondation. De plus, l'inondation peut tuer les chrysalides de lépidoptères et les nymphes d'autres insectes.



Figure 29 : Exemples type de l'inondation

II.2.8- Pièges

Les pièges sont utilisés principalement pour capturer des insectes nuisibles aux plantes cultivées, soit pour lutter contre leur prolifération, soit pour surveiller le niveau d'infestation et déclencher le cas échéant des mesures de lutte efficaces.



Figure 30 : Exemples type des pièges

II.3- Moyens physiques (Lutte physique)

La lutte physique en protection des plantes regroupe toutes les techniques de lutte dont le mode d'action primaire ne fait intervenir aucun processus biologique, biochimique ou toxicologique.

Il existe deux types fondamentaux de méthodes en lutte physique : les méthodes actives et les méthodes passives. Ces techniques relèvent de quatre grandes catégories :

Lutte mécanique

Lutte thermique

Lutte électromagnétique

Lutte pneumatique

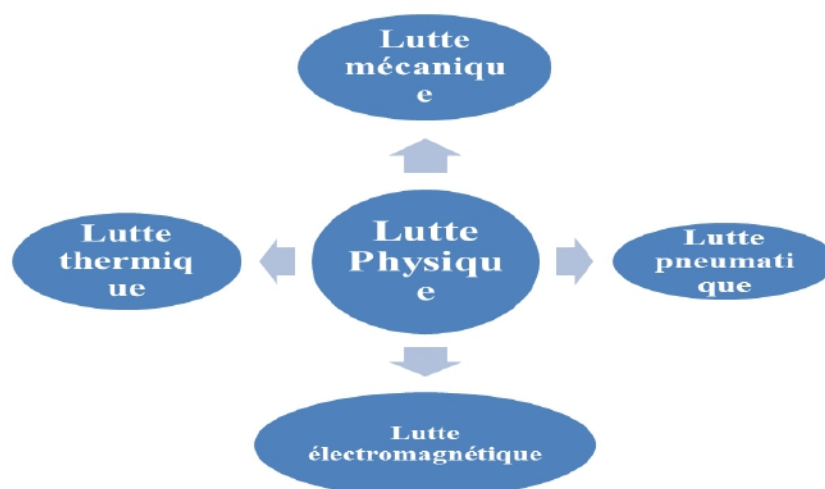


Figure 31 : Les composantes de la lutte physique

Les mesures préventives mécaniques excluent physiquement les ravageurs de la culture. Elles comprennent les paillis (plastique, papier ou plantes vivantes), les filets et les couvertures de rangées. Des Tranchées et des clôtures sont creusées ou établies sur le périmètre de la zone de plantation pour empêcher les ravageurs d'entrer physiquement dans la zone de production. Les stratégies mécaniques peuvent être efficaces contre une ou toutes les étapes du cycle de vie d'un ravageur. Les tranchées, par exemple, sont efficaces contre les stades rampants du cycle de vie d'un ravageur, mais ne protègent pas contre les insectes volants. Certains paillis peuvent aider à éliminer les mauvaises herbes, mais peuvent attirer ou abriter des ravageurs comme les limaces. Les stratégies préventives mécaniques peuvent nécessiter beaucoup de travail et de ressources. Il faut donc s'assurer d'évaluer les avantages de ces stratégies avant d'y investir.

II.3.1- Les moyens thermiques (Lutte Thermique)

La lutte thermique est une moyenne de lutte en utilisant la chaleur. Qu'il soit à infrarouges, à flammes directes, à vapeur surchauffée ou à l'eau bouillante, la lutte thermique consiste à provoquer un choc thermique qui permet de détruire les cellules apicales d'une plante ou des ravageurs.

Sources d'énergie : Chaleur, Froid, Électricité, Micro-ondes, Laser

Exemple types de désherbants thermiques :

- désherbant thermique à vapeur surchauffée
 - désherbant thermique à infrarouges
 - désherbant thermique à air chaud pulsé
 - désherbant thermique à flammes directes
 - désherbant thermique à mousse chaude
 - désherbant thermique à l'eau chaude
- ✓ Le désherbage thermique est une méthode de destruction des adventices par la chaleur.
 - ✓ Les adventices sont détruits par choc thermique : l'exposition à des températures élevées cause des dommages aux cellules végétales des parties atteintes (parties aériennes)
 - ✓ Le désherbage thermique peut être réalisé à l'aide d'appareils à flamme directe ou à infrarouge, mais aussi par projection de vapeur d'eau bouillante (ces matériels sont plutôt utilisés en Zones Non Agricoles).

MANUEL

**Une simple torche connectée
à un réservoir de propane**



TRACTÉ

**EN PRÉSEMIS OU
PRÉLEVÉE DE LA CULTURE**

Sur toute la surface



À flamme nue



À flamme recouverte



**1800°C
www.bailly-constructeur.fr
13 kg/ha, 1.5 m de large**

Figure 31 : Exemples type de désherbants thermiques

II.3.1.1- Solarisation

- ✓ Il s'agit d'une technique de désinfection des sols qui consiste à utiliser le rayonnement solaire afin d'élever la température de la couche superficielle des sols ($\leq 30\text{cm}$) à des valeurs supérieures à 40°C .
- ✓ Les sols doivent être préalablement amenés à la capacité au champ via un arrosage abondant.
- ✓ L'élévation de température est obtenue par la pose de films de polyéthylène transparent en surface de sols
- ✓ La pose de film doit durer au moins 5 semaines avant l'implantation de la culture,

- ✓ cette méthode permet de réduire significativement le stock de graines d'adventices du sol et détruit la plupart des champignons pathogènes présents ainsi que certains ravageurs comme les nématodes.



Figure 32 : Exemples type de Solarisation

II.3.1.2- Désinfection des sols à la vapeur

- Cette technique consiste à amener les couches de sol traitées à des **températures** allant jusqu'à **90°C**, par l'injection de **vapeur d'eau** dans le sol.
- L'injection se fait sous des **bâches plastiques** (*désinfection en profondeur*) ou à l'aide de **plaques métalliques** appelées cloches ou coffres (*désinfection en surface*).
- La température et la durée du traitement sont à adapter selon la catégorie de **bio-agresseurs ciblés** (champignons, nématodes, semences d'adventices, etc.).



Figure 33 : Exemple de désinfection des sols à la vapeur

II.3.1.3- Traitement à l'air chaud

- ✓ Les traitements thermiques permettent la maîtrise d'agents pathogènes et de ravageurs en post-récolte des cultures.

- ✓ Ils peuvent notamment être mis en œuvre dans le cadre de la lutte contre les organismes de quarantaine.
- ✓ Dans les locaux de stockage, des systèmes de chauffage par air chaud sec ou par air chaud saturé en vapeur d'eau (traitement en lit fluidisé) permettent d'atteindre les températures souhaitées pour détruire l'ennemi ciblé, ($>40^{\circ}\text{C}$) et de la durée d'exposition (de quelques secondes à plusieurs heures).
- ✓ Le traitement doit permettre de maîtriser les bio-agresseurs sans causer de dommage au matériel végétal (altérations qualitatives, perte de faculté germinative des semences, *etc.*).



Figure 34 : Exemple de Traitement à l'air chaud

II.3.1.4- Traitement à l'eau chaude

- Il s'agit d'une méthode d'élimination d'agents pathogènes et de ravageurs par la chaleur.
- Elle permet d'assainir des lots de semences, des plants ou des produits de récolte et peut être mise en pratique dans le cadre de traitements de quarantaine.

- Une première technique consiste à plonger les végétaux à traiter dans des bains d'eau chaude.
- Une autre méthode repose sur l'utilisation de systèmes de douchage/brossage (assainissement de la surface des fruits et légumes après la récolte).

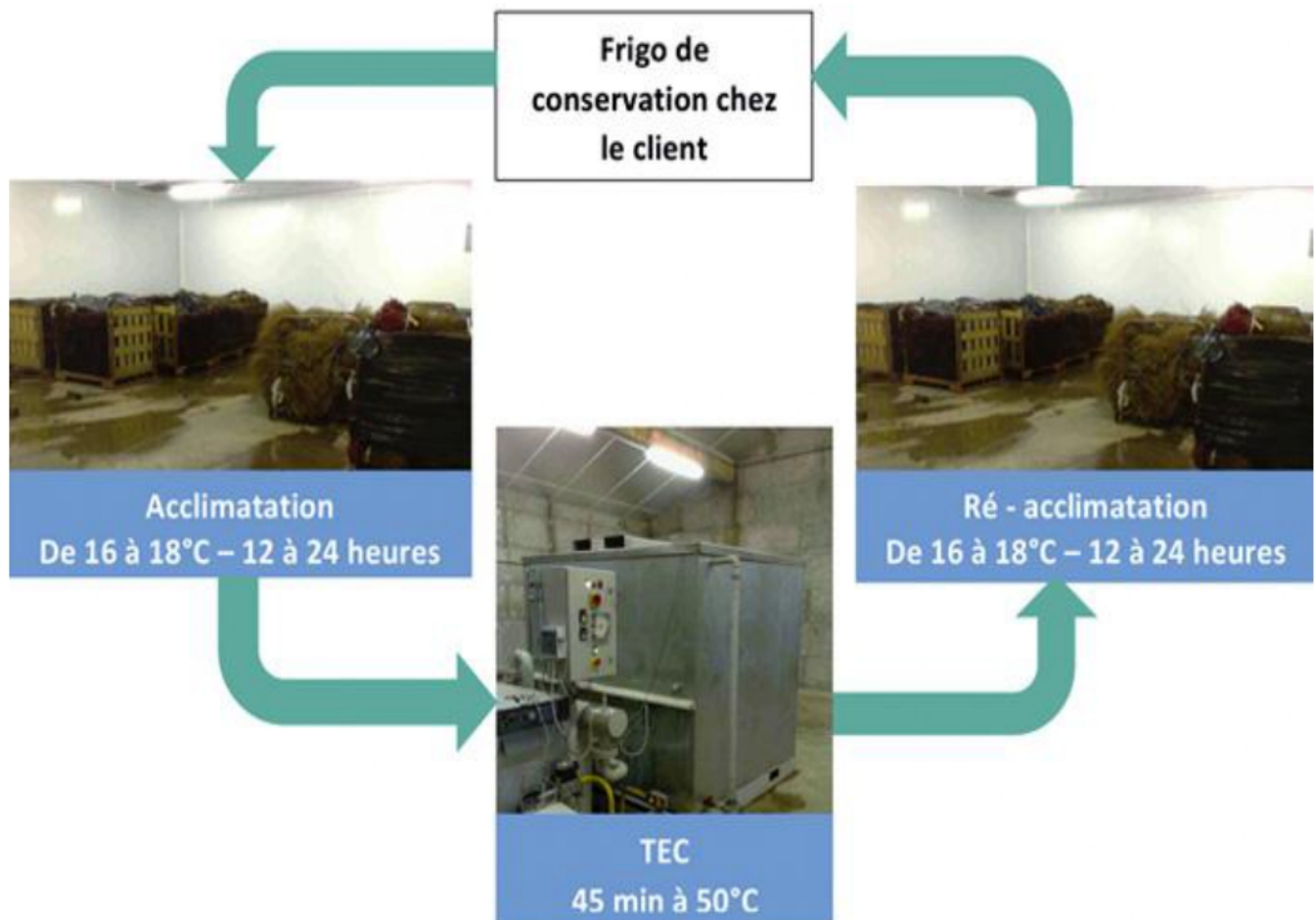


Figure 35 : Exemple de Traitement à l'eau chaude

II.3.1.5- Stockage des produits de récolte à basses températures

- Les basses températures permettent la maîtrise d'insectes et d'acariens ravageurs pendant le stockage des produits de récolte.
- Elles ont également pour effet de limiter le développement de certains agents pathogènes (moisissures notamment).
- Dans les cellules de stockage, la température des grains peut être abaissée:
 - Par brassage ou transilage (de refroidissement lent),
 - Par ventilation à l'air ambiant (s'il est suffisamment frais) ou
 - Par ventilation à l'air réfrigéré.



II.3.2 - Les moyens radiobiologiques (Lutte radiobiologique ou autocide)

La radiobiologie est l'étude des effets biologiques des rayonnements, notamment des rayonnements ionisants, sur les êtres vivants : sensibilité d'espèces, radiosensibilité individuelle ou pathologique, groupes vulnérables.

Définitions :

La lutte radio-biologique est l'une des méthodes pouvant se substituer à l'utilisation des insecticides. Elle consiste en l'élevage de masse d'insectes modifiés génétiquement ou non, dont les mâles sont ensuite relâchés afin, soit qu'ils stérilisent les femelles, soit qu'ils leur transfèrent des mutations létales ou qui altéreront leur capacité à transmettre une maladie. Une variante consiste à contaminer les femelles avec des symbiontes modifiés ou non – qui stérilisent les femelles ou bloquent la transmission de la maladie.

Les rayonnements ionisants:

Un rayonnement est dit « ionisant » lorsque celui-ci est susceptible de provoquer l'arrachement des électrons périphériques de la matière.

Pour cela, il est nécessaire que l'énergie du rayonnement incident soit suffisante pour arracher un électron, c'est-à-dire que cette énergie soit supérieure à l'énergie de liaison minimale des électrons du milieu.

On distingue deux types de rayonnements ionisants :

II.3.2.1 - Rayonnement directement ionisant :

- C'est un rayonnement constitué de particules chargées électriquement :
 - *Particules lourdes*: Protons, Deutons; ions lourds (1 proton= 3quarks) deuton ou deuteron= isotope de l'hydrogène H masse atomique = 2 : Deutérium.
 - *Particules légères*: Electrons

II.3.2.2 - Rayonnement indirectement ionisant:

- C'est un rayonnement particulaire et/ou électromagnétique non-chargé électriquement : Photons (rayons X ou gamma); Neutrons.
- Le rayonnement ionisant agit par transfert d'énergie à la matière et l'effet biologique final résulte d'une chaîne d'événements physiques et de transformations chimiques qui sont déclenchés par les phénomènes d'ionisation.

Exemple de certains des types de rayonnement ionisant:

- Le rayonnement ionisant se présente notamment sous les formes suivantes :
 - Rayons gamma
 - Rayons X
 - Particules alpha
 - Particules bêta
 - Neutrons
- Les rayons X sont un type de rayonnement électromagnétique produit lorsqu'un faisceau d'électrons de grande intensité est projeté sur une cible métallique contenue dans un tube de verre.
- La fréquence de ce rayonnement est très élevée, de l'ordre de 0,3 à 30 EHz (exahertz ou milliard de gigahertz).

Les trois types de rayonnements produits par les substances ou les sources radioactives sont les particules alpha, la particule bêta et les rayons gamma.

II.3.2.3 - La technique de l'insecte stérile (TIS)

C'est la première méthode s'appuyant sur cette stratégie : les mâles sont irradiés et transmettent aux femelles avec lesquelles ils s'accouplent des spermatozoïdes portant des mutations létales. Cette technique a fait ses preuves dans la lutte contre de nombreux insectes ravageurs ou vecteurs comme les mouches des fruits.

L'utilisation d'insectes modifiés génétiquement – ou mâles transgéniques – pour transmettre une mutation aux femelles présente l'avantage d'éviter l'étape d'irradiation, souvent basée sur l'utilisation de sources radioactives. Les mutations peuvent bloquer l'aptitude à transmettre une maladie, changer les femelles en mâles inoffensifs, ou encore détruire l'insecte ciblé. Toutefois, cette technique est moins bien acceptée par la société en raison des risques biologiques qu'elle pourrait présenter, notamment le transfert de gènes aux insectes non visés. Ce risque dépend des mécanismes génétiques utilisés, en

particulier de leur potentiel de diffusion. Il est ainsi moins élevé pour le transfert de mutations dominantes létales (du même ordre que celui de la technique de l'insecte.

II.3.2.4 - Mise en place de la TIS

Elle suppose que la quantité de mâles stériles soit suffisante pour inonder la population cible d'une part, et que le nombre de mâles stériles dépasse celui des mâles sauvages d'autre part. Pour dépasser ces limites, une variante de la TIS, baptisée « boosted SIT » (Sterile Insect Technique), a été mise au point. Elle vise à réduire de 90 à 99 % la quantité de mâles stériles nécessaire pour contrôler ou éradiquer une population cible. Dans cette variante, le mâle stérile est considéré comme un moyen de contamination spécifique des femelles avec un agent de contrôle. Ce dernier peut être un principe actif, une bactérie, un champignon ou un virus, ou encore des versions recombinantes de ces pathogènes. À une double condition : ne pas contaminer d'autres espèces que l'espèce ciblée ; et ne pas diffuser après la mort de l'insecte. Développer de tels biocides suppose une évaluation des risques, garantie par une collaboration étroite de la recherche publique avec les industriels.

II.3.2.5 - Désinsectisation des grains au moyen de rayonnements

Un tiers environ de la production du blé, de l'orge et du maïs entreposée est infesté par des parasites, et il faut en traiter une bonne partie pour empêcher la détérioration complète. Etant donné que dans beaucoup de pays, même très avancés, les insectes détruisent annuellement de fortes quantités de céréales emmagasinées (pour les Etats-Unis seuls, la valeur du blé ainsi perdu est estimée à près de 300 millions de dollars), il faut des techniques efficaces de lutte contre les insectes parasites, non seulement pour éviter les pertes, mais aussi pour maintenir les céréales propres et sans impuretés. Il faut en outre empêcher la propagation des insectes dans les céréales qui font l'objet d'échanges internationaux.

Il ressort de travaux récents que l'emploi des rayonnements ionisants offre des possibilités intéressantes pour la lutte contre les insectes parasites et peut compléter les traitements chimiques actuels. Non seulement les rayonnements permettent de lutter efficacement contre l'infestation, mais ils assurent aussi une protection partielle contre la ré-infestation en empêchant, par leur pouvoir stérilisant, la reproduction des insectes.

II.3.2.3.1 - Utilisation des rayons gamma

Les rayons gamma ont les avantages, que si le grain est traité ainsi aux rayons gamma et entreposé ensuite dans des silos en acier, que l'on ventile pour y maintenir une température et un degré d'humidité appropriés, on peut en conserver indéfiniment de grosses quantités.

Les effets des rayons gamma sur les insectes, par exemple sur *Trogoderma granarium*, l'un des insectes qui ravagent le plus couramment les entrepôts de grains, ont permis d'observer que la dose de stérilisation était, pour les mâles, supérieure de plus de 150% à la dose correspondante pour la femelle. Des essais sur le charançon du riz ont montré que tous les insectes meurent dans les deux semaines qui suivent l'irradiation. Pour ce qui est de la stérilité, on n'a constaté la réapparition d'aucun insecte des groupes traités, même après deux mois.

II.3.3 - Les moyens mécaniques (Lutte mécanique)

La lutte mécanique consiste à prélever et détruire manuellement les pontes et les nids de processionnaires du pin. En général, elle s'effectue sur des arbres isolés ou des petites surfaces (arbres d'alignement, jardins, parcs, lieux publics...) à l'aide de sécateurs, d'échenilloirs ou de matériels d'élague. Le prélèvement des pontes se réalise généralement à la fin de la période de vol des papillons. Toutefois, elle n'est pas efficace dans la lutte contre la processionnaire du pin, étant donné qu'il est très difficile de repérer les pontes pour des personnes non aguerries. Le prélèvement des nids peut se faire dès leur apparition (cocons blancs) et avant la période de procession des chenilles. La lutte mécanique n'est cependant pas sans risque. En effet, il ne faut surtout pas négliger l'utilisation d'équipements de protection (combinaisons, gants, lunettes et masques) afin d'éviter tout contact avec les poils urticants restés dans les nids et limiter ainsi les risques d'urtications. Ainsi, même si le nid est vide, celui-ci contient et contiendra toujours des poils urticants.



Figure 36 : Exemples de lutte mécanique manuelle

MODES D'ACTION

- Arrachage
- Déracinement
- Enfouissement
- Coupage
- Déchirage
- Broyage
- ...

TRAVAIL DU SOL

- Primaire
Labour ...
- Secondaire
Hersage ...
- ✓ Tertiaire
Sarclage

OUTILS

- ✓ Manuels
- ✓ Tractés

Désherbage mécanique des cultures pérennes

- ✓ Dans les cultures pérennes (vignes, vergers et pépinières), des opérations superficielles d'entretien du sol (5-8cm) peuvent permettre de détruire les adventices dans les inter-rangs et/ou sur les lignes de plantation.
- ✓ Les modes de destruction des adventices sont divers :
 - Arrachage,
 - Sectionnement des racines,
 - Enfouissement des parties végétatives, *etc.*



Figure 37 : Exemples de sarclage manuel



Figure 38 : Exemples de sarclage avec outils tractés par le tracteur

II.3.4 - Les moyens pneumatiques (Lutte pneumatique)

La lutte pneumatique fait appel à des mouvements d'air (soufflage ou aspiration) pour éliminer certains ravageurs des cultures. Elle est également utilisée dans le cadre d'opérations de désherbage.

La lutte pneumatique contre les ravageurs des cultures : il s'agit de déloger et d'éliminer les insectes nuisibles des plantes cultivées par des systèmes de soufflage et/ou d'aspiration. L'efficacité de la méthode est fonction de la culture (espèce, stade de développement, etc.), des ravageurs ciblés (éléments de biologie, stade de développement, etc.) et des conditions climatiques du milieu (impact sur l'accessibilité des insectes). On évitera de réaliser des lâchers d'auxiliaires dans les cultures où la lutte pneumatique est appliquée car celle-ci n'est pas sélective. On considèrera également la présence de pollinisateurs dans la culture avant de la mettre en application. La technique de soufflage est moins efficace pour certains ravageurs que la technique d'aspiration.

La lutte pneumatique contre les adventices : de l'air sous pression est injecté dans le sol et provoque l'éjection des adventices. L'efficacité de la méthode dépend notamment du stade de développement des adventices ainsi que des réglages du matériel. Un bon réglage évitera en outre que la culture ne soit endommagée.



Figure 39 : Exemple d'aspirateur à grain attaché à un tracteur

II.4 - Les moyens génétiques (Lutte génétique)

L'objectif de l'amélioration des plantes en matière de protection des cultures vise à sélectionner des génotypes de végétaux qui présentent, avec le facteur altérogène considéré, un rapport d'incompatibilité plus ou moins marqué (concept de résistance) ou qui fournissent une production adéquate des cultures, nonobstant l'impact d'un facteur altérogène déterminé (concept de tolérance). Les variétés tolérantes présentent cependant l'inconvénient d'entretenir dans l'environnement des sources de parasites ou de ravageurs.

L'utilisation de plantes génétiquement résistantes ou tolérantes constitue la méthode de lutte la moins astreignante pour l'agriculteur et la moins polluante pour l'environnement. Deux catégories principales de résistance vis-à-vis des bactéries, des champignons et des virus ont été identifiées : la résistance verticale et la résistance horizontale.

La résistance verticale

Elle est spécifique : la variété concernée du végétal résiste totalement ou partiellement à certaines souches du parasite mais est sensible à d'autres : il y a interaction différentielle. Tout biotype du parasite qui est capable de surmonter un facteur de résistance verticale est dit virulent à l'égard du cultivar correspondant.

La résistance horizontale

Elle est générale : un cultivar déterminé de l'hôte possède une résistance partielle vis-à-vis de tous les biotypes d'un agent pathogène déterminé (interaction non différentielle). Le niveau de résistance horizontale vis-à-vis d'une souche déterminée de l'agent pathogène peut varier selon les cultivars (vis-à-vis desquels le parasite présentera des agressivités différentes) et en fonction des paramètres de l'environnement (température, humidité).

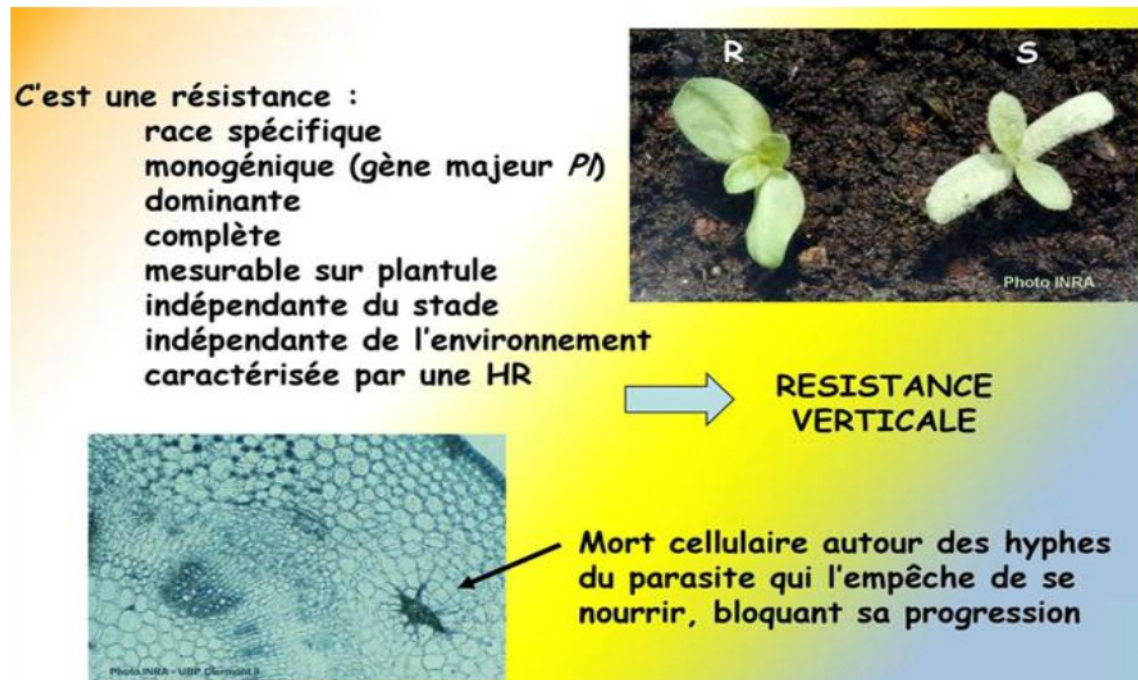


Figure 40 : Exemple de la résistance

II.4.1 - Origines des résistances chez les plantes

Les caractères de résistance spécifique (verticale) sont monogéniques ou oligogéniques (déterminés par un seul gène ou par un nombre réduit de gènes) et instables tandis que la résistance générale (horizontale) est le plus souvent polygénique et présente une stabilité dans le temps. Il y a cependant des exceptions, certaines résistances horizontales pouvant être monogéniques (par exemple, s'il s'agit d'une insensibilité de la variété à une toxine sécrétée par le parasite) et certains types de résistance verticale pouvant être polygéniques.

II.4.2 - Les facteurs de résistance verticale

Ils exercent une pression sélective vis-à-vis des biotypes du parasite. Lorsqu'une variété porteuse de résistance est introduite dans la pratique, l'effet bénéfique

est obtenu généralement pendant les premières années ; toutefois l'extension de la nouvelle variété sur de grandes surfaces accroît la probabilité de sélection d'un biotype virulent, ce qui aboutit généralement à un écroulement plus ou moins rapide de la résistance.

II.4.3 - Les facteurs de résistance horizontale

Ils sont durables car n'exerçant pas de pression sélective vis-à-vis des biotypes d'un parasite déterminé, ont connu un regain d'intérêt et constituent le moyen le plus adéquat d'assurer une production régulière chez les plantes vivrières, grâce à une résistance moyenne stable.

II.4.4 - Mécanismes de défense aux maladies et parasites

II.4.4.1 - Importance de l'amélioration génétique

La protection des cultures par des pesticides devrait être réservée à la lutte contre des épidémies accidentelles et localisées. L'utilisation prolongée de ces produits n'est pas justifiée, à cause de leur coût, de leurs conséquences écologiques et de l'adaptation inévitable des parasites. *L'amélioration de la résistance des variétés est donc primordiale, mais elle est difficile parce que les agents pathogènes s'adaptent aussi à la résistance des plantes*, obligeant le sélectionneur à modifier sans cesse les variétés pour surmonter la virulence du parasite.

II.4.4.2 - Contrôle génétique de la résistance

On distingue deux types de défenses :

Défense passive : Correspond à un processus constitutif, constant dans le temps

Défense active : Induite lors d'un phénomène d'infection, de blessure. Chacune de ces défenses peut être divisées en 2 grands groupes de défense :

- **Défense chimique** : altère la croissance du pathogène
- **Défense structurale** : Renforcement des barrières aux pathogène

A. Défense passive

Les métabolites secondaires : Les plantes sont riches en métabolites secondaires (métabolites pas forcément nécessaire à la plante). Ces métabolites peuvent être toxique pour le pathogène. On distingue plusieurs familles de métabolites secondaires :

Composés phénoliques (dérivés de la désamination de la phénolphtaléine) : Ces acides phénoliques peuvent se complexer entre eux pour former des tanins.

Alcaloïdes : Caféine, cocaïne, nicotine. La relation entre la présence des métabolites secondaires et la présence du pathogène n'a pas été spécifiquement montré.

Les protéines toxiques : *Expérience* : Dans une boîte gélosée, on met une graine radioactive à germer avec autour des spores de champignons : On n'aura pas de champignon autour de la graine.

Des protéines antifongiques sont sécrétées lors de la germination : Ces protéines inhibent les activités enzymatiques du pathogène, ce qui inhibe ainsi la croissance, et peut également détruire la paroi, ou encore inhiber la réplication des virus. Certaines de ces protéines se retrouvent aussi en défense active.

B. Défense active

Modification de la paroi : La première réponse au pathogène est la formation d'une papille. Ce nouveau matériel pariétal peut être constitué de callose, lignine, La plante reconstruit de la paroi avec des éléments chimiquement différents en espérant que le champignon ne possède pas l'enzyme pour l'hydrolyser. Dans le cas des blessures, on a aussi la formation de papilles. On sait que le processus est actif, mais on doute de sa spécificité.

La réaction d'hypersensibilité : C'est une nécrose rapide des cellules entourant le point d'infection, ce qui limite le développement du pathogène.

Suicide cellulaire: On a la production de nombreux radicaux libres, donc une augmentation du métabolisme oxydatif. Cette hypersensibilité va s'accompagner de l'accumulation de composés toxiques ainsi que d'un épaissement de la paroi, des modifications membranaires qui vont empêcher le développement du pathogène.

Les phytoalexines :

a. Historiques et définition : Les phytoaléxines sont mises en évidence par Muller et Borger en travaillant sur l'interaction entre le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) et la pomme de terre. Si on infecte des plants de pomme de terre avec une souche incompatible de champignon : Ces plantes développent une hypersensibilité. Deux jours après l'infection, on inocule ce même plant par une souche compatible. On a

la production de phytoalexines. La 1^{ère} inoculation a permis la défense contre le champignon compatible par les phytoalexines.

b. Etude de l'expression des phytoalexines : Les phytoalexines sont des métabolites secondaires lipophiles de faible poids moléculaire, produite suite à l'interaction avec le pathogène. La synthèse des phytoalexines est très rapide (12 à 24h après l'infection), lors d'une interaction incompatible. Dans le cas d'une interaction compatible, les phytoalexines sont trop lentes pour stopper le développement du pathogène.

Les protéines de défense : En comparant les extraits protéiques d'une plante saine et une plante parasitée par électrophorèse bidimensionnelle. On a la présence de protéines de défense, qui sont exprimées rapidement, de façon très forte dans le cas d'une relation incompatible, et faible dans le cas d'une relation compatible. On peut les localiser avec des anticorps, on s'aperçoit alors qu'elles s'accumulent contre la paroi, au niveau des papilles.

a. Les protéines riches en hydroxyproline (HRGP) : Les protéines riches en hydroxyproline vont faciliter la fixation des lignines sur les parois et on assiste à l'accumulation d'ARNm pour ces protéines dans différents organes de la plante colonisée par un champignon. Ils permettent une réponse plus rapide dans le cas d'incompatibilité que dans la compatibilité comme le cas des phytoalexines. Les zones non-inoculées vont exprimer ces gènes : La synthèse n'est pas localisée qu'au site d'infection.

b. Les protéines PR (Pathogenesis Related protein) : Elles ont un faible poids moléculaire. On distingue des hydrolases (qui vont hydrolyser les parois) et des gluconases. L'expression des protéines PR est aussi bien dans le cas d'une interaction compatible, qu'incompatible. Mais dans le cas d'incompatibilité, l'expression est plus rapide et plus forte. L'expression de PR dépend aussi du développement de la plante (il existe des activités chitinases constitutives dans les organes de la plante (Organes floraux, Organes âgés). L'expression des PR est corrélée à l'émission d'éthylène (l'éthylène pouvant être une voie de signalisation).

c. Les inhibiteurs d'enzymes : Ce sont des molécules qui inhibent les enzymes du pouvoir pathogène du champignon. Deux grands groupes :

- **PGIP : Inhibiteur de la polygalacturonase :** Elles sont localisées dans la paroi, à faible intensité. Ce sont des protéines inductibles rapidement chez les plantes résistantes.

Elles vont ralentir la progression de l'agent pathogène, ralentir la destruction de la pectine.

- **PI : Inhibiteur de protéase** : ex. **Trypsine** et **Chémotrypsine** qui vont réduire le pouvoir pathogène. Elles sont stockées dans la vacuole et excrétées par l'espace inter-membranaire.

II.4.5 - La transduction du signal pathogène

II.4.5.1- Reconnaissance locale

Quand on a la reconnaissance, on observe l'ouverture de canaux ioniques, ce qui induit un changement de potentiel membranaire, avec l'induction de messagers secondaires. On a d'autre part un stress oxydatif, qui correspond à la production d'O₂⁻ et d'H₂O₂. Cela génère des interactions au niveau de la paroi et permet la consolidation de celle-ci. Ce stress induit aussi une activité phospholipase, qui hydrolyse les lipides membranaires, ce qui conduit à la production d'acide jasmonique, qui active des gènes de mécanismes de défense au niveau du noyau. Cette poussée oxydative doit être régulée, car si elle est trop forte, on a une hypersensibilité, avec des nécroses ponctuelles, qui peuvent induire la mort de la plante.

II.4.5.2- Résistance systémique

Les cellules ne se défendent pas de façon individuelle, une cellule blessée peut envoyer ces messages secondaires aux autres cellules saines.

a. Résistance à la blessure : Quand la plante est blessée, il y a **synthèse d'un oligopeptide** (18 acides aminés) : **la Systémine**. La systémine se déplace très vite à travers, le phloème. Elle constitue le précurseur à la production de l'acide jas-Monique. On a alors deux cas:

- L'acide jas-Monique active directement les défenses si la cellule est blessée.
- La systémine active la phospholipase, ce qui induit la production d'acide jasmonique, qui active les défenses de la cellule.

b. Résistance acquise aux pathogènes : Il existe une défense qui dure dans le temps "pseudo-vaccination". On parle de résistance systémique acquise (**SAR**). Elle protège la plante contre le pathogène. Ce mécanisme de défense va avoir un large spectre d'action.

Si on greffe à une plante possédant une SAR pour un pathogène, un greffon qui n'en possède pas, et que l'on injecte un pathogène, le greffon se défend bien. On a passage de la SAR à travers le greffon.

Le messager de la SAR est l'acide salicylique. Cette molécule peut induire des mécanismes de défense chez la plante, au même titre que l'acide Jas-Monique.

II.5 - Les moyens biologiques (Lutte biologique)

Définition

La protection des cultures contre les organismes nuisibles a eu recours à diverses méthodes culturales bien avant l'apparition des produits chimiques. La pratique de la jachère et celle de la rotation des cultures sont, parmi d'autres, des témoins d'un savoir-faire ancestral, souvent empirique, qui réduit l'incidence des organismes nuisibles aux plantes cultivées en provoquant des ruptures dans leurs cycles de reproduction. La prise de conscience des limites des procédés chimiques de lutte, considérés un moment comme susceptibles à eux seuls de résoudre tous les problèmes phytosanitaires, a renouvelé l'intérêt pour la lutte biologique. L'Organisation Internationale de Lutte Biologique (OILB) joue depuis un rôle déterminant en favorisant l'évolution de la protection des plantes vers des solutions biologiques.

La «lutte biologique» («biological control» ou «biocontrol») est une méthode qui consiste à combattre un ravageur, par l'utilisation ou la promotion de ses ennemis naturels, ou une maladie, en favorisant ses antagonistes. La lutte biologique est surtout dirigée contre les ravageurs (insectes, acariens et nématodes). On considère comme étant des ennemis naturels des ravageurs des cultures les organismes prédateurs, parasitoïdes ou infectieux (champignons entomophages, viroses) limitant la fréquence et la sévérité des pullulations. C'est la méthode lutte recommandée en agriculture biologique.

En dépit de nombreux succès, le bien-fondé de la méthode de lutte biologique est pourtant aujourd'hui discuté, tant en raison d'un taux de réussite jugé insuffisant par certains, que des risques biologiques encourus par la manipulation des complexes parasites.

II.5.1 - Utilisation d'organismes antagonistes (Principes et stratégies de mise en œuvre ou des auxiliaires)

Sous le terme d'auxiliaires, ou ennemis naturels comprennent les prédateurs, les parasites et les maladies spécifiques aux parasites.

Les malherbologistes s'intéressent à des agents dont la spécificité d'action doit mettre les plantes cultivées à l'abri d'éventuels effets non intentionnels : insectes phytophages, agents pathogènes. Les phytopathologistes travaillent sur des microorganismes compétiteurs qui empêchent l'implantation et la prolifération des espèces phytopathogènes. Les entomologistes exploitent surtout la diversité des prédateurs et parasites (insectes et acariens).

En raison du souci de s'assurer de la spécificité d'action des organismes auxiliaires utilisés en lutte biologique, la préférence est généralement accordée aux espèces dites spécialistes par rapport aux espèces généralistes. C'est pourquoi les prédateurs sont moins souvent mis en œuvre que les parasitoïdes, même si cette règle connaît des exceptions de taille comme celle des coccinelles (prédatrices, mais la plupart des espèces ne mangent que les pucerons).

Les méthodes de lutte biologique contre les organismes nuisibles aux cultures exploitent les mécanismes de régulation naturelle des populations d'insectes, d'acariens, de nématodes, de rongeurs,... Cette régulation est le résultat d'une balance entre le « potentiel biotique » des organismes vivants (leur dynamique de développement) et la résistance naturelle opposée à leur développement par leur environnement.

Dans les cultures, étant donné notamment la perte de biodiversité, les facteurs naturels de Définition de l'OILB : «utilisation d'organismes vivants (à la différence du «bio-pesticide», qui désigne aussi bien des organismes vivants que des substances inertes d'origine biologique, ou encore des produits phytosanitaires dits «biocompatibles», substances actives vivantes ou inertes d'origine biologique ou non, qui peuvent être employées en lutte intégrée) (parasitoïdes, prédateurs, pathogènes, antagonistes ou compétiteurs) pour prévenir ou réduire les dégâts causés aux cultures par des ravageurs ou des maladies.

Quand les populations d'auxiliaires et de ravageurs sont en équilibre, ce sont des auxiliaires actifs à faible densité qui jouent un rôle déterminant de régulateur de leurs hôtes et empêchent les pullulations. C'est pourquoi les organismes auxiliaires présentent

généralement des effectifs insuffisants pour assurer une régulation immédiate des populations d'hôtes connaissant une brutale augmentation suite à une perturbation de l'équilibre initial.

Face à cette invasion de ravageurs dont les populations s'accroissent rapidement, l'homme a tendance à intervenir en employant les moyens les plus efficaces dont il dispose et ceux dont l'effet sera immédiat : ce sont donc généralement les pesticides qu'il va choisir. Cependant, s'il utilise des produits non sélectifs pour les organismes auxiliaires, il risque de détruire les derniers antagonistes présents dans la culture et d'amplifier encore les attaques.

II.5.1.1 - Préservation et valorisation du rôle des organismes

auxiliaires indigènes

Le développement des pratiques agricoles intensives est généralement défavorable au respect de ces mécanismes de régulation, la transformation des écosystèmes naturels induisant le plus souvent une réduction de leur diversité biologique. Il faut concevoir un aménagement raisonné de la structure parcellaire des exploitations pour y réserver des zones refuge favorables au maintien des populations d'organismes auxiliaires (haies, dispositifs enherbés, abris, plantes nectarifères). Il est nécessaire de limiter le recours aux pratiques défavorables (ex : arrachage des haies, suppression des jachères, labours,...), et les traitements phytosanitaires avec des produits non sélectifs, sur les zones refuges, au moment de la floraison, etc.

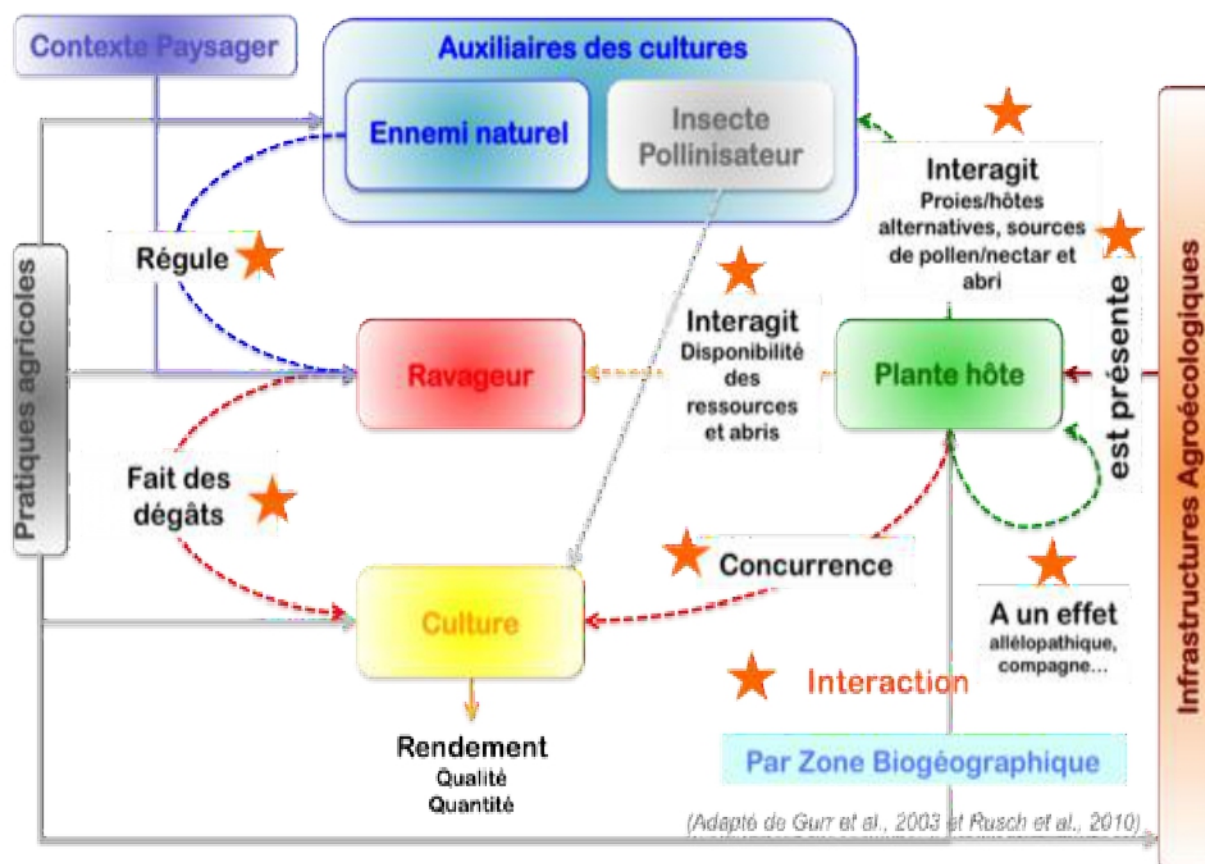


Figure 41 : Exemple de la lutte biologique

II.5.1.2 - Introduction volontaire d'auxiliaires exotiques

Cette technique est mise en œuvre pour corriger les « erreurs » d'une introduction accidentelle d'organismes nuisibles aux cultures sans le cortège parasitaire qui régule normalement leurs pullulations dans leur biotope d'origine. Cependant, de telles introductions volontaires peuvent occasionner des effets non intentionnels par défaut de spécificité d'action. Cette forme d'intervention s'applique préférentiellement aux cultures pérennes en raison du bénéfice attendu à long terme de l'acclimatation des organismes auxiliaires introduits. L'importance du risque d'occupation des niches écologiques par la nouvelle espèce colonisatrice et, par-là, de réduction de la diversité biologique originelle, limite fortement l'intérêt de cette technique.

Les organismes auxiliaires ont des caractéristiques démographiques liées à celles des populations de leurs « hôtes » : ils sont dépendants de la densité atteinte par les populations de l'organisme nuisible (maladie, adventice ou ravageur).

La compétition, la prédation et le parasitisme des auxiliaires sont les principaux facteurs biotiques qui, exerçant une influence déterminante sur l'évolution des nuisibles, contrôlent la stabilité de leurs populations.

II.5.1.3 - Amplification du rôle d'organismes auxiliaires par lâchers inondatifs

Cette stratégie qui repose sur la mise en œuvre d'organismes auxiliaires en grande quantité, au moment et lieu voulus, assimile le traitement biologique aux traitements chimiques traditionnels. La récente maîtrise des techniques de production en masse des organismes auxiliaires (ex : production de masse réalisée sur les œufs d'un hôte de substitution) a favorisé l'application de cette stratégie. On peut citer par exemple :

- Les élevages, puis la distribution de coccinelles pour limiter l'extension d'une cochenille qui envahissait les citronniers ;
- Les opérations de lâchers d'un Hyménoptère pour combattre la Mouche de l'olive ;
- Les Trichogrammes utilisés contre la Pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis*. L'avantage de ces auxiliaires est qu'ils sont oophages, ils détruisent donc la Pyrale dès son premier stade avant même qu'elle ne commette de dégâts.

La technique repose sur des lâchers inondatifs et saisonniers de 200 000 à 400 000 Trichogrammes parasites par hectare. Pour leur épandage en culture, les trichogrammes sont présentés sous la forme d'œufs parasités d'*Ephestia kuehniella* (teigne de la farine), conditionnés dans des capsules en carton biodégradables, percées, qui protègent les prédateurs contre les intempéries et qui simplifient la manipulation du produit. L'intervention doit être répétée chaque année au moment de la ponte du ravageur.

II.5.2 - Emploi d'organismes entomopathogènes et nématophages

L'agent pathogène auxiliaire peut être un champignon, une bactérie, un virus, un nématode, un protozoaire. Il infecte l'hôte en général par ingestion ou par contact, et possède une forme de résistance lui permettant de passer - et de demeurer - dans le milieu (sol, feuillage, litière). L'agent pathogène va se multiplier dans l'hôte et causer sa mort par destruction de tissus, parfois par l'émission d'une substance toxique (cas des bactéries). Les cadavres de l'hôte libèrent les agents pathogènes dans le milieu. À ce jour, plusieurs milliers de microorganismes entomopathogènes et pathogènes des mauvaises

herbes ont été décrits et plus d'une centaine d'espèces sont utilisées en champs. Les formulations de biocides à base de microorganismes deviennent de plus en plus performantes avec des prix compétitifs, et l'utilisation des insecticides microbiens augmente rapidement, de 10 à 25 % par année.

II.5.2.1 - Produits à base de *Bacillus thuringiensis*

Il existe des insecticides à base de spores et toxines de *Bacillus thuringiensis* (en abrégé en Bt). La bactérie du Bt a la capacité de synthétiser et d'excréter des cristaux toxiques pour certains insectes. Ils sont formés de l'association de plusieurs protéines qui représentent près de 30% du poids sec en fin de sporogénèse. Seules ces protéines ont une propriété insecticide sur les lépidoptères, les coléoptères et/ou les diptères. Elles agissent en détruisant les cellules de l'intestin moyen de la larve d'insecte atteint par ces toxines, ce qui aboutit à la mort de l'insecte. Comparés aux insecticides chimiques, ils offrent l'avantage de ne pas tuer les ennemis naturels (même si ce point est aujourd'hui discuté). De plus, ce sont des produits qui ne sont pas toxiques pour l'utilisateur et les consommateurs.

II.5.2.2 - Baculovirus

C'est la famille des baculovirus (virus spécifiques des insectes et inoffensifs pour l'homme) qui est considérée comme la plus prometteuse pour des opérations de lutte microbiologique, en particulier en raison de son innocuité à l'égard de l'homme et des vertébrés.

Un certain nombre de chenilles sont sensibles aux virus de la granulose (type de Baculovirus que l'on rencontre chez les Lépidoptères). L'infection des chenilles par les virus a lieu par ingestion des particules virales lors des morsures. Après leur ingestion, les baculovirus vont se fixer sur les microvillosités des cellules épithéliales de l'intestin moyen des insectes qui sont sensibles à ces germes et se termine par la mort de l'insecte.

Les applications doivent coïncider avec l'éclosion des jeunes larves qui sont en effet sensibles aux viroses. Il est donc conseillé de contrôler les vols à l'aide de pièges sexuels et de suivre les avertissements phytosanitaires. Les adultes peuvent par contre être des vecteurs passifs ou transmettre la maladie à leur descendance.

II.5.2.3 - Champignons entomopathogènes

Les hyphes infectieux des champignons entomopathogènes pénètrent dans les tissus des insectes et provoquent la mort de l'hôte. Le cadavre de l'insecte se transforme en «momie» et une seule momie assure ainsi la production d'un foyer infectieux. Citons parmi les plus connus, les Entomophthorales (champignons Zygomycètes inféodés aux Homoptères *Aphididae* et *Cicadidae*) et les Deutéromycètes (*Beauveria*, *Hirsutella*, *Metarhizium*...).

Les utilisations de champignons entomopathogènes dans les conditions agronomiques sont délicates du fait des difficultés technologiques de production, de la sensibilité des germes aux conditions environnementales, et des difficultés d'installation dans les parcelles.

Les champignons du genre *Trichoderma* sont des auxiliaires potentiels contre de nombreux champignons phytoparasites : *Trichoderma virens* est par exemple agréé pour lutter contre *Rhizotocnia sp.* et *Pythium sp.* en cultures maraîchères. Des bactéries rhizosphériques du genre *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Serratia*, ... assurent la protection des racines, alors que *Pasteuria penetrans* s'avère efficace contre les attaques de nématodes phytophages. Des souches de *Fusarium oxysporum* sont antagonistes à des souches parasites de la même espèce. Des levures sont utilisées pour protéger les pommes durant leur stockage en frigos.

II.5.2.4 - Nématodes entomopathogènes

Plusieurs espèces de nématodes (*Steinernatidae* et *Heterorhabditidae*) sont parasites d'insectes. L'infection se fait le plus souvent à partir d'œufs déposés sur les feuilles des plantes. Les œufs éclosent et les larves pénètrent l'hôte par les orifices naturels et même par la cuticule. Soit elles libèrent les bactéries qui tuent rapidement l'hôte, soit au quatrième stade, elles quittent l'hôte par perforation des tissus. Il s'en suit la mort de l'insecte. Quoique de bons agents en lutte biologique, l'utilisation des nématodes en zone sèche est limitée par les facteurs abiotiques, particulièrement les UV.

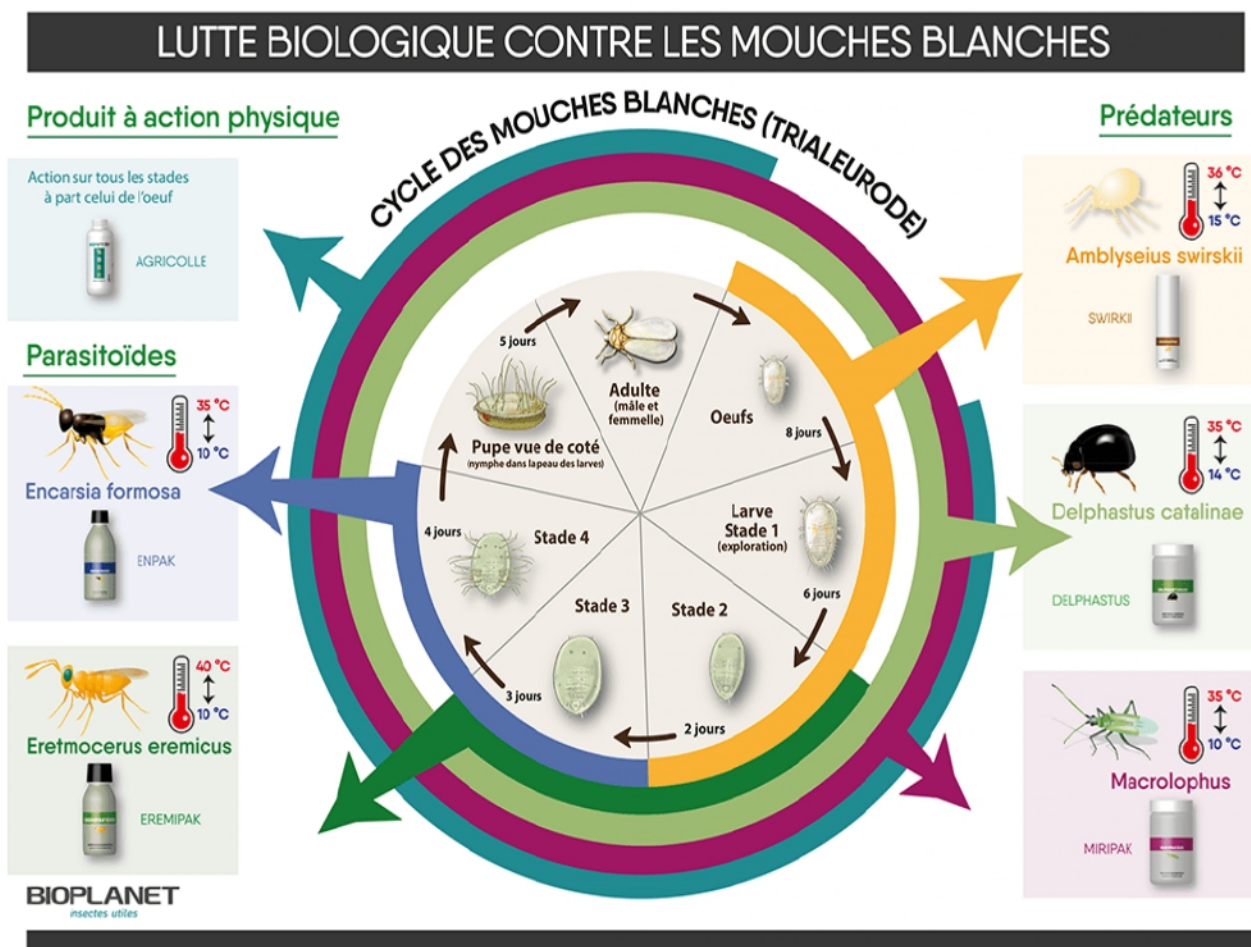


Figure 42 : Exemple de la lutte biologique contre les mouches blanches

II.5.3 - Action des régulateurs de croissance et des substances analogues de l'hormone juvénile (HJ)

Un régulateur de croissance des insectes (ou IGR, pour insect growth regulator en anglais) est une substance (chimique) qui agit sur la croissance d'un insecte. Les IGR sont généralement utilisés comme insecticides, pour contrôler les populations d'insectes nuisibles tels que les cafards et les puces.

Avantages

De nombreux IGR sont étiquetés « à risque réduit » par l'Environnementale (l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis), car leur spectre d'action est plus étroit : ils ciblent les populations d'insectes nuisibles juvéniles et sont donc moins néfastes pour les insectes utiles. De nombreux apiculteurs ont néanmoins signalé que les IGR affectaient négativement le couvain et les jeunes abeilles. Contrairement aux insecticides classiques, les IGR n'affectent pas le système nerveux d'un insecte et sont donc plus respectueux des

"insectes ouvriers" dans des environnements fermés. Les IGR sont également plus compatibles avec les systèmes de gestion des ravageurs en agriculture biologique. De plus, alors que les insectes peuvent développer des résistances aux insecticides classiques, ils sont moins susceptibles d'en développer pour les IGR.

Mécanisme d'action

Pendant sa croissance, un insecte mue plusieurs fois. Il synthétise un nouvel exosquelette (ou cuticule) sous son ancien, puis se débarrassant de l'ancien pour permettre au nouveau d'atteindre sa taille définitive et de durcir. Les IGR empêchent un insecte d'atteindre sa maturité en interférant avec le processus de mue. Cela ralentit la propagation des nuisibles car les insectes immatures ne peuvent pas se reproduire. Les IGR tuent les insectes plus lentement que les insecticides traditionnels puisqu'ils empêchent le processus de mue des insectes au lieu de directement provoquer la mort des adultes. La mort survient généralement dans les 3 à 10 jours, selon l'IGR considéré, le stade de vie de l'insecte au moment où le produit est appliqué et la vitesse à laquelle l'insecte se développe. Certains IGR empêchent les insectes de se nourrir un long moment avant leur mort.

IGR hormonaux

Les IGR hormonaux fonctionnent généralement en imitant ou en inhibant l'hormone juvénile, l'une des deux principales hormones impliquées dans la mue des insectes. Les IGR peuvent également inhiber la seconde hormone, l'ecdysone, dont les concentrations élevées déclenchent la mue de l'insecte⁵. Quand l'hormone juvénile est active au moment de la mue, l'insecte mue en une forme larvaire plus grosse ; si elle est absente, il mue en nymphe ou en adulte non fonctionnel. Les IGR qui imitent l'hormone juvénile peuvent produire une mue prématurée des stades immatures, perturbant le développement larvaire. Ils peuvent également agir sur les œufs, en provoquant la stérilité, en causant des troubles du comportement ou en perturbant la diapause, processus qui provoque la mise en sommeil d'un insecte avant l'hiver. Les IGR qui inhibent la production de l'hormone juvénile peuvent causer la mue prématurée des insectes en un adulte non fonctionnel, et les IGR qui inhibent l'ecdysone peuvent entraîner une mortalité nymphale en interrompant la transformation normale des tissus larvaires en tissus adultes pendant le stade nymphal.

Inhibiteurs de la synthèse de la chitine

Les inhibiteurs de la synthèse de la chitine agissent en empêchant la synthèse de chitine, un glucide indispensable à la formation de l'exosquelette de l'insecte, ou cuticule. En présence de ces inhibiteurs, un insecte grandit normalement jusqu'à sa mue. Alors, les inhibiteurs empêchent le nouvel exosquelette de se former correctement, provoquant au final la mort de l'insecte⁵. La mort peut être rapide ou prendre jusqu'à plusieurs jours selon l'espèce d'insecte et le stade de développement. Les inhibiteurs de la synthèse de chitine peuvent également tuer les œufs en perturbant le développement embryonnaire normal³. Ils affectent également les insectes pendant des périodes de temps plus longues que les IGR hormonaux. Leur action est aussi plus rapide, mais ils peuvent néanmoins affecter des insectes prédateurs, des arthropodes et même certains poissons. Ces inhibiteurs de la synthèse de chitine comprennent les pesticides à base de benzoylurée

II.5.4 - Intérêt des souches hypovirulentes

Avec le développement des programmes d'exploration spatiale de longue durée, impliquant une vie extra-terrestre de plusieurs mois ou années pour les astronautes dans un futur proche, la question de la sécurité des denrées alimentaires se pose. Les critères de sécurité microbiologique sont bien définis dans des conditions normales de croissance bactérienne et de conservation des aliments. Pour vérifier que ces données sont bien transposables dans le cadre des missions spatiales, une étude a été menée lors du vol de la navette spatiale Atlantis en 2006. Elle concernait une souche de salmonelle pathogène (*Salmonella enteritidis*) qui était cultivée dans des conditions strictement identiques (monitorage informatisé) et synchrone au sol et dans l'espace. Les données recueillies concernaient l'évolution génomique (ou plutôt transcriptomique) de la souche embarquée et soumise à une atmosphère différente (microgravité) ainsi que son pouvoir pathogène (sur la souris) par rapport à la souche terrestre. Les résultats obtenus sont pour le moins étonnants. Ils montrent que les souches bactériennes cultivées dans l'espace sont plus virulentes pour la souris. Les bactéries cultivées en microgravité produisent également une quantité plus importante de biomolécules impliquées dans la formation de biofilms.

Ces modifications phénotypiques sont associées à des bouleversements profonds de l'expression des gènes bactériens : 167 transcrits et 73 protéines voient leur expression

modifiée dans l'espace. La principale responsable de ce grand chambardement serait une protéine bactérienne de liaison à l'ARN appelée Hfq. Les mécanismes qui relient l'activité de cette protéine à la microgravité restent inconnus. Les chercheurs de la NASA tentent d'ores et déjà de définir des stratégies qui permettraient de modifier l'activité de cette protéine de façon à limiter la virulence des pathogènes alimentaires dans l'espace.

Exemple type

La souche RH entraîne la mort de la souris en quatre à dix jours quels que soient le mode et la voie d'inoculation. Cette souche est entretenue depuis par passages sur souris dans les laboratoires spécialisés du monde entier. Les passages successifs chez de nombreuses espèces, l'ensemencement sur culture de tissus n'ont pas altéré ses caractères. L'abondance du matériel antigénique mis à la disposition des chercheurs a permis de mettre au point des réactions sérologiques pour le diagnostic de la maladie : dye-test de Sabin et Feldmann, déviation du complément, hémagglutination passive, test de lyse, immunofluorescence. La souche RH est à la base de toutes les études biologiques sur le toxoplasme et des recherches thérapeutiques.

En dix ans de recherches, nous avons isolé vingt souches à partir de prélèvements divers (placentas, ganglions, cerveau, foie, L.C.R., muscle) provenant de sujets atteints de toxoplasmose aiguë, acquise ou congénitale. Ces souches ont été isolées après passages à la souris. Les animaux inoculés présentent deux types de réactions: soit une infection rapidement mortelle et il est facile de mettre en évidence le toxoplasme dans le péritoine de ces animaux, soit une forme chronique asymptomatique décelée par la présence de formes enkystées dans le cerveau. L'infection chez la souris est sans rapport avec la maladie humaine. Des souches isolées dans des cas mortels d'encéphalite néo-natale se sont comportées comme des souches peu pathogènes, d'autres au contraire, isolées dans des cas de toxoplasmose ganglionnaire bénigne ont entraîné la mort des animaux inoculés. Il paraît donc difficile de définir actuellement une souche de toxoplasme si ce n'est par rapport aux caractères de la souche RH, donc en fonction de son pouvoir pathogène pour la souris. Une souche de toxoplasme est du type RH lorsqu'elle entraîne régulièrement la mort de la souris en quatre à dix jours. Nous disons de « type RH » car, jusqu'à présent, aucune des souches virulentes que nous avons isolées n'a pu être entretenu régulièrement par passages pendant des années. Si l'on se réfère à ce critère, les souches du type RH semblent très peu répandues dans la nature. La majorité des souches

que nous avons manipulées n'étaient pas pathogènes pour la souris. Parmi celles-ci, nous avons sélectionné une souche dite « souche n° 76 », dont les caractères se sont maintenus constants depuis sept ans d'expériences, malgré des centaines de passages chez la souris et le cobaye. Cette souche nous a paru intéressante à étudier par opposition à la souche RH. Elle présente certains avantages expérimentaux. 1) Alors qu'avec la souche RH, l'antigène n'est étudié que sous sa forme végétative, avec la souche 76, il est possible de manipuler la forme enkystée du parasite. 2) Au point de vue pathologique, la maladie obtenue avec la souche 76 chez la souris, semble assez superposable aux formes de la maladie humaine acquise ou congénitale, telles qu'on les rencontre actuellement. En effet, les formes mortelles de toxoplasmose acquise de l'enfant et de l'adulte décrites par Pinkerton (10) ne sont plus observées. Cette parasitose semble avoir bénéficié de la très large utilisation des antibiotiques, bien que la majorité de ceux-ci soient réputés inactifs contre le toxoplasme (c'est une explication possible). La toxoplasmose congénitale manifeste est également devenue exceptionnelle, seules les formes chroniques inapparentes restent très fréquentes ; 30 à 70 cas pour 10.000 naissances (Colloque de Lyon sur la prévention de la toxoplasmose chez la femme enceinte, 1969).

Le comportement antigénique des toxoplasmes de cette souche 76 semble pratiquement superposable à celui des toxoplasmes de la souche RH, ce qui, du fait de la non-pathogénicité de cette souche 76, est particulièrement précieux pour étudier la cinétique des anticorps.

A. La souche 76 :

a) Son origine : Cette souche a été isolée à partir du cerveau d'un cobaye (n° 76) mort rapidement lors de son arrivée au laboratoire. Les souris inoculées avec le broyat de cerveau ont présenté au 10^e jour une ascite avec des toxoplasmes ; malgré cette réaction péritonéale, elles ont survécu ; certains de ces animaux ont été sacrifiés deux mois après et ils présentaient une infestation massive du cerveau par de très gros kystes de toxoplasmes (100 à 300 u et plus). Par écrasement entre lame et lamelle, il était facile de vérifier que le contenu de ces sphères était bien constitué par des toxoplasmes.

b) Entretien de la souche : Après plusieurs essais d'inoculation, nous avons mis au point une technique permettant de conserver la souche. Les modalités sont les suivantes : Un cerveau de souris infectée est broyé très finement à sec dans un mortier ; il est mis en suspension dans 3 cm³ de sérum physiologique ; une goutte de cette suspension est

examinée entre lame et lamelle au grossissement 10 avec un éclairage de faible intensité ; l'étalement doit être très fin ; les kystes apparaissent sur fond clair comme des sphères denses de tailles très variables (50 à 300 μ). Pour l'inoculation à la souris, le broyat est dilué dans du sérum physiologique jusqu'au volume terminal de 20 cm³ pour un cerveau ; on injecte 1/2 cm³ à chaque animal. Le passage n'a jamais donné d'échecs ; les souris sont infestées dans 100 % des cas.

B. Caractères de l'infection chez la souris inoculée avec la souche 76 : Les animaux présentent toujours au 10^e jour une ascite facile à ponctionner, mais assez pauvre en toxoplasmes. Ils résistent à cette première atteinte et survivent en parfait état. Ce parasitisme n'altère pas leur croissance ni leurs possibilités de reproduction. Nous avons gardé des souris infectées pendant dix-neuf mois. Pour essayer de caractériser la maladie chez ces souris, nous avons étudié au cours de travaux successifs les éléments suivants :

- 1) L'évolution des réactions sérologiques et ses rapports avec l'intensité du parasitisme au niveau du cerveau ;
- 2) Les variations de la formule sanguine et du protéinogramme ;
- 3) La dissémination du parasite

II.5.5- Avantages et inconvénients de la lutte biologique

II.5.5.1- Avantages

- En général, peu de résidus dangereux pour l'environnement.
- L'utilisateur entre peu en contact avec des substances toxiques.
- Les travaux de culture peuvent se poursuivre durant la mise en œuvre des auxiliaires.
- Il y a peu d'apparition de résistances.
- Pas de dégât aux plantes, suite à l'utilisation d'auxiliaires.
- Peu de résidus sur les plantes.
- Action sélective des auxiliaires sur un ravageur.
- La lutte biologique améliore l'image des auxiliaires dans le public.

II.5.5.2- Inconvénients

- L'efficacité est souvent très sélective et limitée à un seul ravageur.
- La lutte biologique exige une connaissance approfondie des ravageurs et des auxiliaires.

- Les cultures doivent faire l'objet de contrôles pour vérifier si elles sont attaquées.
- La surveillance des attaques et les lâchers d'auxiliaires exigent un supplément de travail.
- L'élimination totale d'un ravageur n'est pas possible.
- La lutte biologique n'agit pas sur tous les ravageurs.
- La composition exacte et le mode d'action ne sont pas connus avec précision.
- Effets possibles sur la biodiversité locale par application d'organismes étrangers.
- Risque d'introduction d'autres organismes envahissants indésirables.

II.6 - Les moyens chimiques (Lutte chimique)

II.6.1- Généralité et définition

La lutte chimique repose sur l'emploi de pesticides synthétiques, inorganiques, botaniques et biologiques. Ces produits tuent les ennemis ciblés, en limitent les populations et sont d'importants outils de protection des cultures quand ils font partie d'un programme de LI. Pour les utiliser rationnellement, il est indispensable de comprendre le cycle vital de l'organisme et de faire le traitement durant son stade le plus vulnérable.

- Pour lutter contre les insectes et les acariens, surveiller les parcelles de près et pulvériser quand les seuils d'intervention établis pour chaque espèce sont atteints.
- Pour lutter contre les maladies cryptogamiques (fongiques), épandre les fongicides protecteurs lorsque les conditions météorologiques sont favorables et avant l'apparition des dommages.

Lutte chimique aveugle: La protection des plantes peut être assurée par une lutte chimique aveugle qui consiste à répandre des pesticides (insecticides, acaricides, fongicides, herbicides, etc.) souvent à forte dose et sans se soucier du niveau des populations des organismes nuisibles (ravageurs, pathogènes et les mauvaises herbes). Dans ce type de lutte, l'agriculteur utilise sans discrimination des produits phytosanitaires très efficaces, mais non sélectifs.

Avec leur emploi, il ne se préoccupe nullement de l'environnement, détruisant aussi les ravageurs que leurs auxiliaires. La plupart des produits utilisés sont fortement rémanents, encore dangereux plusieurs années après leur épandage. Ainsi le DDT, interdit depuis de

nombreuses décennies, continue à exercer son action dans de nombreuses régions du globe.

Lutte chimique conseillée : Dans ce cas, il y a utilisation réfléchie de pesticides à large spectre d'action, en relation avec un service d'avertissement. Elle est efficace, mais il faut l'utiliser de façon raisonnée en tenant compte de l'opportunité des traitements, de l'efficacité du produit, de son mode d'action et des effets secondaires de cette intervention.

Cette méthode répond mieux aux exigences écologiques mais elle n'est pas sans danger sur l'environnement. L'emploi des produits phytosanitaires peut engendrer à long terme des modifications profondes de l'équilibre biologique de l'agrosystème.

Lutte raisonnée (ou dirigée) : C'est une autre phase d'approche de la lutte intégrée consistant en un aménagement progressif de la lutte chimique grâce à l'utilisation des seuils de tolérance économique et à l'emploi raisonné de produits spécifiques ou peu polyvalents.

La lutte raisonnée fait appel aux pesticides, mais en réduisant au maximum les doses, en choisissant les produits les moins toxiques pour l'environnement en tenant-compte des effectifs des espèces nuisibles sur le terrain.

Les produits phytopharmaceutiques

Le mot « pesticide », terme générique dérive des termes latins « caedere » (tuer) et « pestis » (fléau). Les pesticides sont utilisés pour lutter contre des organismes nuisibles (animaux, végétaux, champignons) mais ils peuvent aussi réguler la croissance des végétaux.

En se sent, les produits phytopharmaceutiques peuvent être représentés par trois formulations connus dans le marcher par :

Les pesticides, ce sont des substances ou préparations permettant de lutter contre les déprédateurs des cultures.

Les substances de croissances, ce sont des produits appliqués en vue d'agir sur la différenciation et l'élongation cellulaire.

Les correcteurs de carences, ce sont des solutions qui portent un ou plusieurs éléments vitaux dont la plante est parfois privée.

II.6.1- Classification des pesticides

II.6.1.1-Classification d'après l'utilisation

Les ravageurs, les maladies et les adventices des principales cultures alimentaires sont encore combattus à l'aide de pesticides qui offrent dans beaucoup de cas, le seul moyen satisfaisant, à ce jour, de limiter les pertes. De ce fait les firmes proposent la liste suivante:

- **Insecticides**, idem, à propos des insectes.
- **Fongicides**, produit utilisé pour combattre les champignons.
- **Herbicides**, produit utilisé pour combattre les mauvaises herbes
- **Bactéricides**, produit utilisé pour combattre les bactéries.
- **Nématicides**, produit utilisé pour combattre les nématodes.
- **Acaricides**, idem, à propos des acariens.
- **Avicides**, idem, à propos des oiseaux.
- **Rodenticides**, idem, à propos des rongeurs.

D'autres molécules ou pratiques sont à signaler dont le principe de base est de faire fuir les assaillants et les maintenir à l'écart, il s'agit de :

- **Acarifuges.**
- **Insectifuges,**
- **Corvifuges.**
- **Cunifuges.**

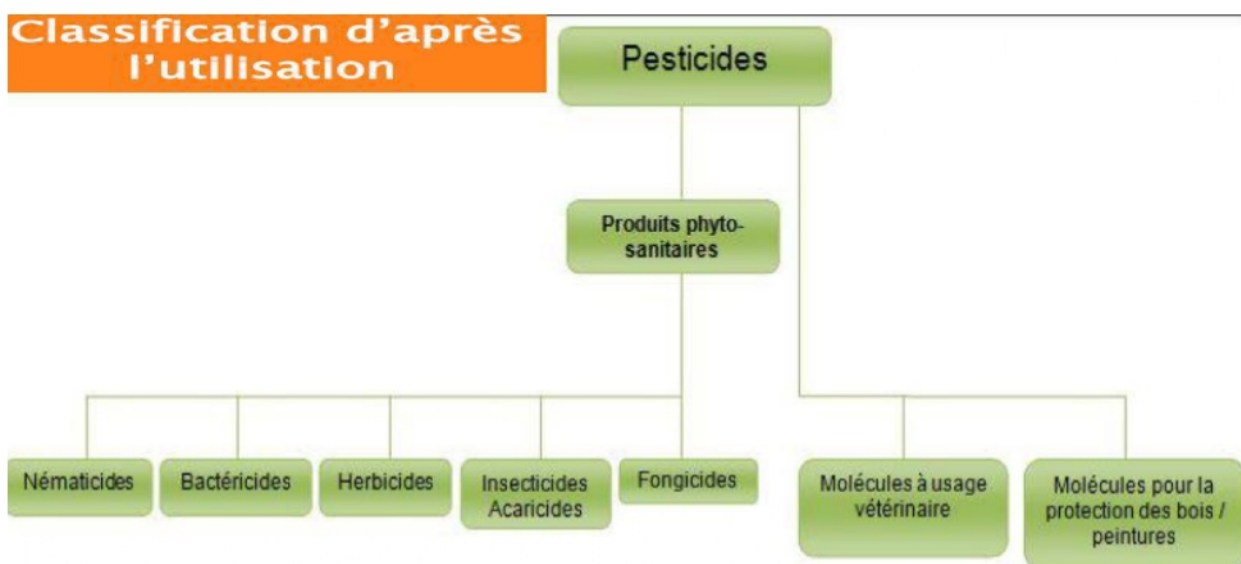


Figure 43 : Classification d'après l'utilisation

II.6.1.2-Classification d'après l'origine des substances

Les pesticides peuvent être d'origines multiples à savoir :

Les pesticides inorganiques : Dont on peut distinguer :

- **Les métaux lourds** : Ils sont peut utiliser dans la lutte contre les déprédateurs a cause de leurs innocuités en vers d'autres organismes vivants. En générale, ces composés sont des toxiques protoplasmiques, induisant la sédimentation des protéines et entravent leurs propriétés enzymatiques « Sels de cuivre et sels de mercure ».
- **Les dérivés des acides inorganiques** : Représentés par les Fluorides, les Fluosilicates, les Fluo-aluminates, les Borates, les Arsenites et les Arsenates. Généralement, ils sont considérés comme des substances toxiques stomacales.

Les pesticides d'origine végétale : Nous citerons :

- ✓ **Les pyréthrine** : Ce sont des poisons neuromusculaires agissant par contact.
- ✓ **La nicotine et la roténone**.
- ✓ **Les composés secondaires des plantes** : Ces substances ont un effet répulsif lorsqu'elles agissent à distance en empêchant l'approche des ravageurs ou un effet anti-appétant lorsqu'elles inhibent la prise de nourriture ou voir même toxiques.

Classification d'après l'origine des substances

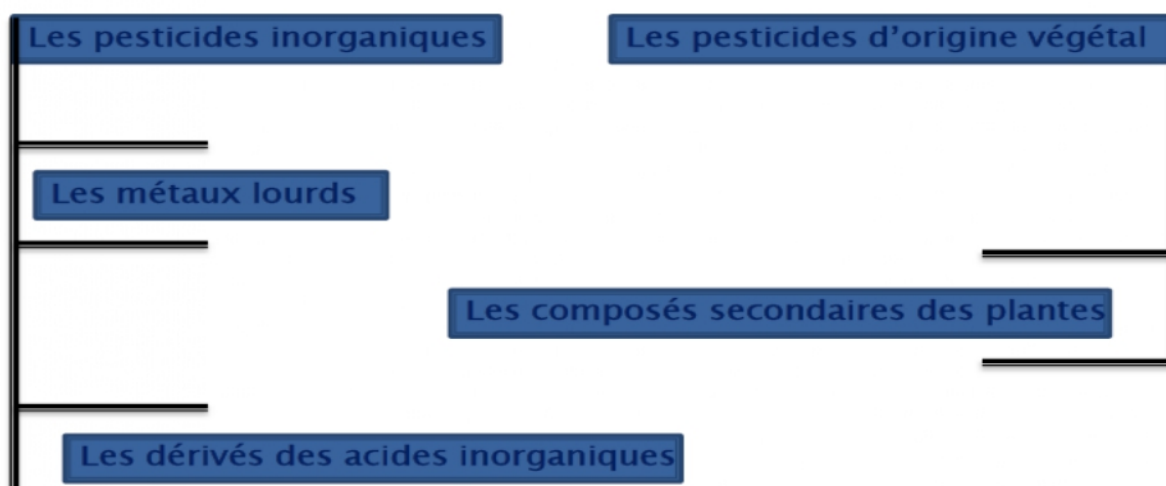


Figure 44 : Classification d'après l'origine des substances

II.6.1.3-Classification d'après le mode d'action

Les pesticides peuvent être classés selon qu'ils agissent par :

- **Contact** : C'est la faculté que possède une substance après pénétration à travers l'épiderme, d'engendrer des altérations d'une ou de plusieurs fonctions de cet être vivant.
- **Inhalation** : par pénétration dans le système nerveux.
- **Ingestion** : par pénétration dans le tube digestif.
- **Absorption** : par pénétration radiculaire ou foliaire dans le système vasculaire d'une plante.

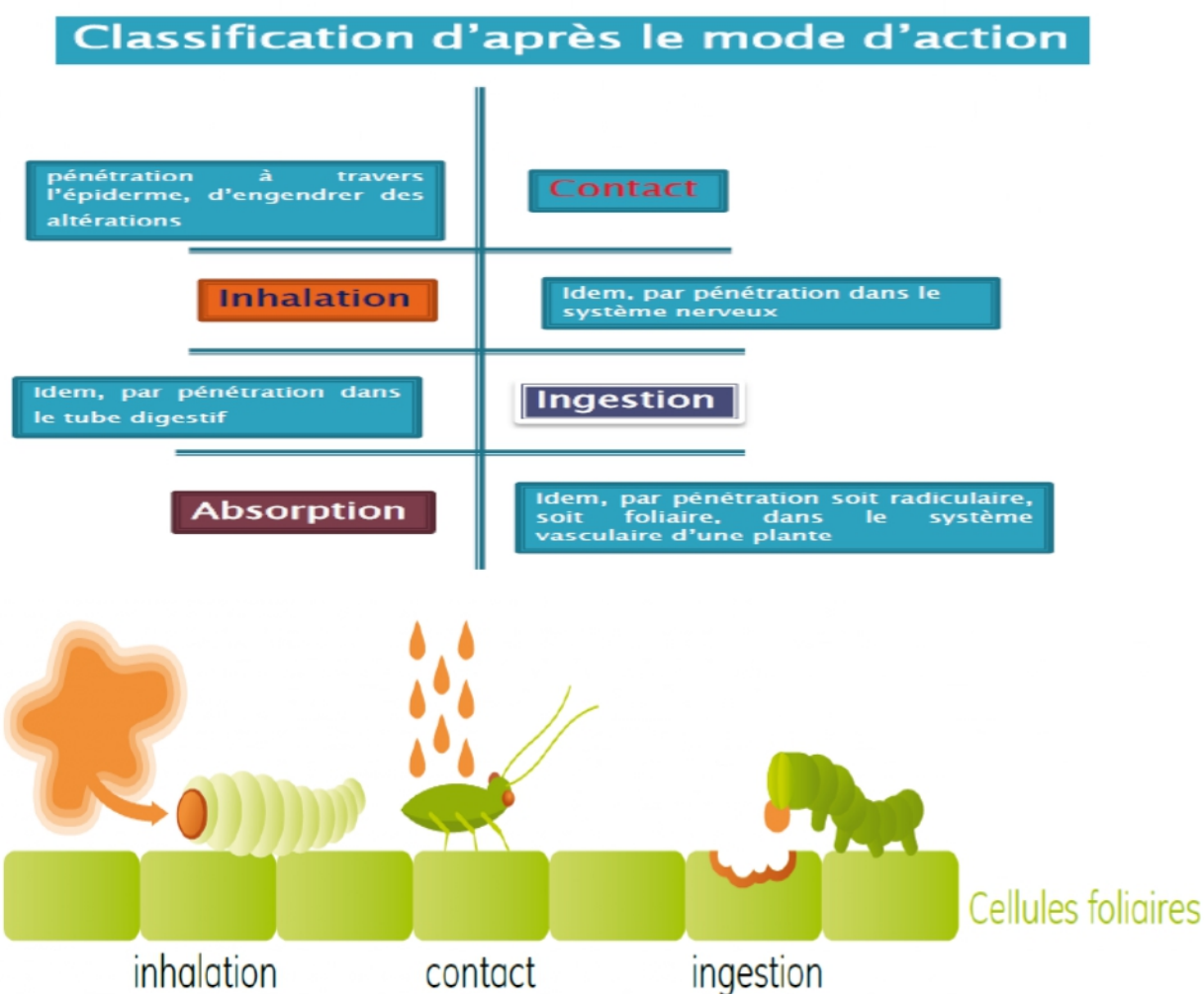


Figure 44 : Classification d'après le mode d'action

II.6.1.4-Classification d'après la nature chimique

C'est la plus compliquée, parce que les pesticides appartiennent à des groupes chimiques très divers et dont le nombre est sans cesse en accroissement, à ce propos nous citerons : Les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les dithiocarbamates etc.

II.6.2- Différentes formes de pesticides

Les pesticides sont formulés (préparés) sous forme liquide, solide ou gazeuse.

- Les formulations liquides incluent les suspensions (suspensions concentrées), les solutions, les concentrés émulsifiables, les suspensions en micro-capsules et les aérosols.
- Les préparations solides comprennent les poussières, les particules, les granulés, les pastilles, les granules solubles, les poudres solubles, les appâts, les tablettes, les comprimés, les pâtes granulées et les poudres mouillables.
- Les pesticides gazeux sont généralement des fumigants (ils peuvent être vendus sous forme de liquide ou de gaz).

Sur l'étiquette du pesticide, les abréviations codées sont souvent accompagnées du nom commercial pour indiquer le type de formulation du pesticide. Voici quelques exemples d'abréviations codées avec leur signification que l'on retrouve sur l'étiquette pour indiquer le type de formulation dont il s'agit.

D – Poussière ou poudre

DF – Pâte granulée

E ou **E C** – Concentré émulsifiable

F – Suspension concentrée

GR – Granulé

P – Pastille

SN – Solution

SC – Concentré pulvérisable

SP – Poudre soluble

WDG – Granulé soluble

WP – Poudre mouillable

WS – Concentré soluble dans l'eau

Il est important de connaître la forme dans laquelle se présente le pesticide parce que celle-ci peut avoir une incidence sur le risque posé par ce produit chimique. Par exemple, votre peau absorbe les liquides plus facilement que les poudres. Dans certains cas, les formulations telles que les concentrés émulsifiables peuvent être plus facilement absorbées que les solutions aqueuses. De plus, des adjuvants (un produit chimique ajouté à un pesticide afin d'augmenter ses effets) peuvent être ajoutés à une solution à

pulvériser. Certains adjuvants peuvent augmenter la quantité de pesticide qui se répand sur la peau, qui colle à la peau ou qui est absorbée par la peau.



Figure 45 : Formulation des pesticides

II.6.3- Les matières actives spécifiques

Un pesticide est constitué d'une matière active et d'un adjuvant.

La substance active ou matière active est la molécule chimique par excellence qui permet de toucher le ravageur, de le tuer ou le repousser. Elle constitue généralement une proportion faible du produit vendu sur le marché. Exemple : 100 g de Furadan 5G ne contiennent que 5 g de matière active.

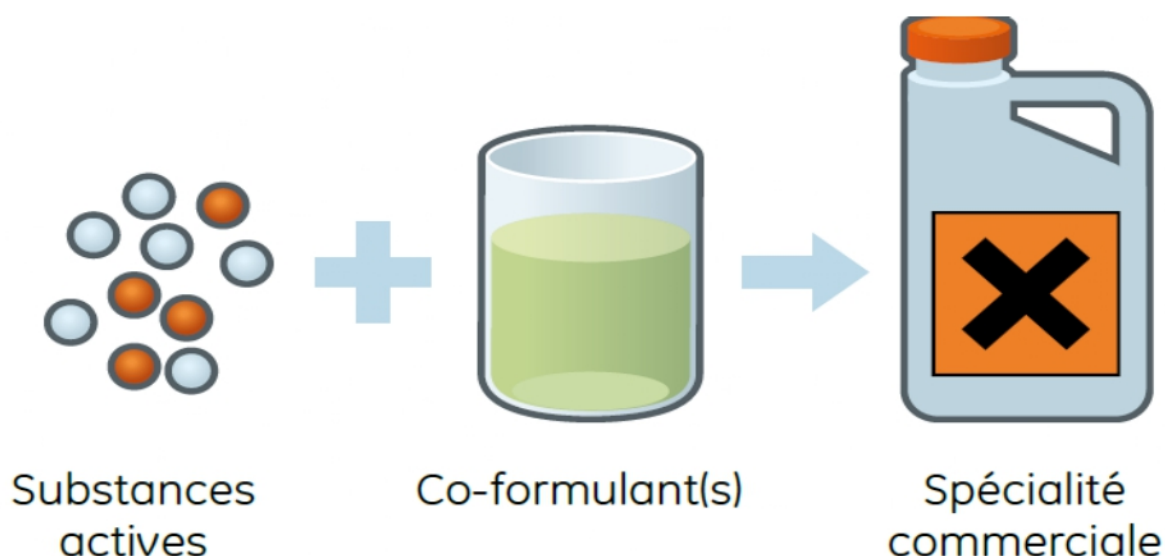
L'adjuvant encore appelé Co-formulant est un support de la matière active (liquide, solide ou gazeux) auquel on adjoint un stabilisateur pour éviter la dégradation rapide du produit ou un mouillant pour accroître l'adhérence du produit à la surface traitée.

L'ensemble substance active (= matière active) + adjuvant, constitue le produit commercial ou la formulation.

Chaque insecticide peut être désigné par 2 noms différents :

- ✓ Le nom de la matière active qui le compose. Exemple : Deltaméthrine.
- ✓ Le nom commercial. Exemple : le Décis est le nom commercial de la Deltaméthrine.

N.B.: Une même matière active peut être désignée sous plusieurs noms commerciaux différents sur le marché. Il est donc important de retenir le nom de la matière active d'un pesticide.



Nom du produit	Matières actives / formulation	Dose MA / ha
AVESTHRIN	Cypermethrin 100 g/l EC	240-480 ml
CYPER ACTION	Cypermethrin 100 g/l EC	
COTSPRING	Cypermethrin 100 g/l EC	440-550 ml
CYPEFORCE	Cypermethrin 100 g/l EC	300-500 ml
CYRUX	Cypermethrin 100g/l EC	250-500 ml
DELTHRIN	Cypermethrin 100g/l EC	750 ml
GLOBATRIN	Cypermethrin 100g/l EC	

Figure 46 : Composition d'un pesticide

II.6.4- Risques de toxicité des pesticides

Les pesticides sont des poisons, leur utilisation n'est pas sans danger. Le danger du pesticide dépend non seulement de sa toxicité, mais aussi et surtout du risque d'exposition à des quantités toxiques du pesticide. Il peut pénétrer dans l'organisme par ingestion orale, à travers la peau ou par inhalation. Une fois à l'intérieur du corps, le pesticide produit des symptômes d'empoisonnement, qui sont soit aiguës (à partir d'une seule exposition) ou chroniques (expositions répétées ou d'absorption de petites quantités de produits toxiques).

La toxicité d'un produit s'exprime par la dose létale 50 (DL50) ou la concentration Létale 50 (CL 50). La DL50 est « la dose qui en une seule administration entraîne la mort de la moitié d'un lot d'animaux (souvent souris, rats ou lapins) ».

Plus la valeur de la DL50 est faible, plus le produit est toxique. Le manipulateur est alors averti sur l'étiquette de la toxicité du produit. Généralement, la FAO et l'OMS définissent 5 classes de toxicité des produits qui sont données dans ci-dessous.

II.6.4.1- Classification de toxicité selon l'OMS

	Terme descriptif	DL 50 par voie orale chez le rat (mg/kg de poids corporel)		DL50 par voie cutanée chez le rat (mg/ kg de poids corporel)	
		Solides	Liquides	Solides	Liquides
Ia	Extrêmement dangereux	≤5	≤20	≤10	≤40
Ib	Hautement dangereux	5-50	20-200	10-100	40-400
II	Modérément dangereux	50-500	20-2000	100-1000	400-4000
III	Légèrement dangereux	≥501	≥2001	≥1001	≥4001
U	Peu susceptible de présenter un risque aigu dans les conditions normales d'utilisation	≥2000	≥3000	-	-

L'OMS a aussi mis au point un système de codage en couleur facilement reconnaissable par les agriculteurs analphabètes. Ce système de code en couleur se présente comme suit:

Toxicité Aigue pour l'homme - OMS	Code en couleur d'étiquette de pesticide	Mots de Signalement
Classe Ia- Extrêmement dangereux	Rouge	Très Toxique
Classe Ib- Fortement dangereux	Rouge	Toxique
Classe II- Modérément dangereux	Jaune	Dangereux
Classe III- Légèrement dangereux	Bleu	Prudence
Classe U- Peu susceptible de causer un danger grave en utilisation normale	Vert	Prudence

II.6.4.2- Symbole et l'indication des dangers :

Les risques liés à l'utilisation d'un produit sont indiqués par des lettres et des chiffres qui expliquent le classement du produit en détaillant les dangers potentiels.

Les symboles et l'indication des dangers pour l'Abamectine :

X – N R/22 – R37- R50/53 X : nocif

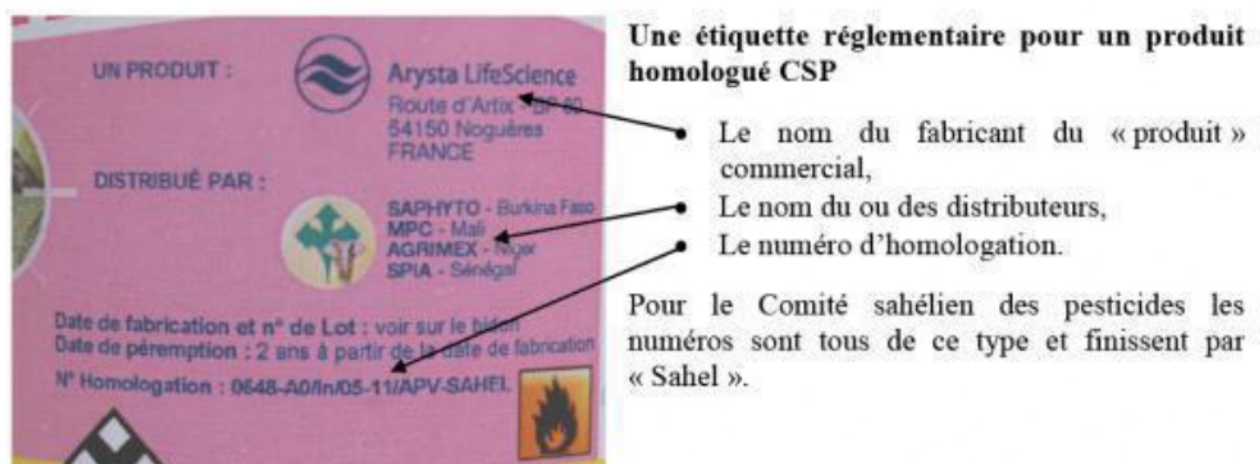
N : dangereux pour l'environnement, toxique pour les insectes pollinisateurs

R22 : nocif par ingestion

R37 : irritant pour les voies respiratoires

R50/53 : Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

Avant d'utiliser des insecticides, il est recommandé de prendre connaissance de ce qui est inscrit sur l'étiquette ou emballage. Normalement, tout produit doit porter une étiquette indiquant les informations suivantes : le nom commercial, le nom de la matière active, la teneur en matière active en % pour les solides et en gramme/litre pour les liquides, les utilisations autorisées, les doses recommandées, les dangers du produit et les précautions à prendre, les premiers soins à donner en cas d'intoxications, le nom et l'adresse du fabricant, l'autorisation de mise en marché ou d'homologation.



Tout pesticide doit porter sur son emballage une étiquette précisant :

- Le nom commercial
- Le nom de la matière active
- La teneur en m.a. en % pour les solides et en gramme/litre pour les liquides.
- Les utilisations autorisées
- Les doses recommandées
- Les dangers du produit et les précautions à prendre

- Les premiers soins à donner en cas d'intoxications
- Le nom et l'adresse du fabricant
- Le numéro de série.

Le producteur ou le manipulateur du produit doivent impérativement respecter les doses recommandées.

La dose recommandée d'un produit a été étudiée, d'une part pour limiter les risques pour les utilisateurs et les consommateurs, limiter les dégâts sur l'environnement, et d'autre part pour réduire le coût des traitements (ne pas utiliser plus de produits que nécessaire).

Il faut respecter les doses recommandées et le délai avant récolte.

Le respect de la dose recommandée se fait par en calibrant d'abord l'appareil de traitement pour obtenir la quantité de produit nécessaire pour traiter la parcelle.

Le Délai Avant Récolte (DAR) : Exprimé en jours, il indique le nombre de jours à respecter entre un traitement et la récolte. Ce délai doit garantir une teneur minimale en résidus de pesticide sur un produit récolté destiné à l'alimentation humaine, afin de ne pas avoir d'effet sur la santé du consommateur. Le DAR est plus faible pour les légumes « fruits » (tomate, aubergine, poivron, ...), il augmente pour les légumes feuilles puis les légumes racines, les bulbes et tubercules.

Quelques exemples de délais avant-récolte pour les matières active ou associations de matière actives :

- Acétamipride : Le DAR recommandé est de 7 jours. Attention aux légumes feuilles (salade, persil, céleri, menthe, moringa).
- Cyperméthrine : Le DAR est de 3 jours pour la tomate, le piment, le poivron et l'aubergine, de 7 jours pour les légumes feuilles, la laitue, le chou et l'oignon.
- Abamectine : Le DAR pour l'Abamectine est de 3 jours pour les légumes, mais est de 14 jours pour les laitues (salades) et les légumes feuilles et de 7 jours pour les oignons.
- Pyréthrinoïdes (Deltaméthrine); Le DAR, 3 jours pour piment, poivron, tomate, aubergine, 7 jours pour les légumes feuilles, laitue, 14 jours pour carotte, betterave, 21 jours pour patate douce et oignon.
- Néonicotinoïdes : Le DAR est de 3 jours pour tous les légumes.
- Organophosphorés : Le DAR est de 14 jours de piments, oignon, 21 jours pour chou, aubergine, tomate, 30 jours pour la patate douce.
- Néonicotinoïdes + Pyréthrinoïdes : Le DAR est de 7 jours pour tous les légumes.

- Organophosphorés + Pyréthriinoïdes : Le DAR est de 21 jours pour tous les légumes.

II.6.5- Quels sont les critères de choix d'un pesticide ?

Le choix du produit dépend de 2 paramètres :

- ✓ les ravageurs à détruire

Ce choix est fonction du ravageur cible (insecte, adventice, champignon, bactéries, etc.), de la localisation au niveau de la plante et de son stade de développement (oeuf, larve, adulte, caché ou libre dans le cas des insectes, végétation ou en floraison pour les mauvaises herbes, etc.)

- ✓ le spectre d'action

Le spectre d'action d'un produit est l'éventail de ravageurs ou d'agents de maladies qu'il peut combattre).

- ✓ la rémanence du produit

Quant à la rémanence ou persistance d'action, c'est la durée de l'action toxique d'un produit sur les ravageurs visés ou dans l'environnement.

- ✓ le prix du produit

- ✓ la formulation de la matière active.

La formulation est une préparation prête à l'emploi. Elle permet de faciliter et d'améliorer l'action des pesticides et d'avoir une bonne répartition du produit sur les organes de la plante traitée.

- ✓ La toxicité du produit pour l'homme et l'environnement

- ✓ Après s'être assuré du bon fonctionnement du pulvérisateur, l'opérateur doit :

1. Remplir le pulvérisateur avec 1 litre d'eau (1)
2. Traiter une surface nue avec cette eau, à vitesse constante jusqu'à ce que le pulvérisateur soit totalement vide (2)
3. Mesurer la superficie traitée (3)
4. Ramener la quantité d'eau à l'hectare ou à la superficie de notre parcelle à traiter en utilisant les formules suivantes :

- ✓ A l'hectare

$$\text{Volume d'eau (ha)} = \frac{1 \text{ litre} \times 10\,000}{\text{surface traitée avec litre}}$$

- ✓ A l'échelle de ma parcelle

$$\text{Volume d'eau pour traitée ma parcelle} = \frac{1 \text{ litre} \times \text{la surface de ma parcelle}}{\text{surface traitée avec litre}}$$

Exemple : Si je déverse 1 litre d'eau sur une surface de 25 m², et que ma parcelle est de 500 m², alors, la quantité d'eau nécessaire pour traiter mon champ est de :

$$1 \text{ l} \times 500 \text{ m}^2 / 25 \text{ m}^2 = 20 \text{ l.}$$

Comment calculer la dose recommandée d'un produit ?

1. Calculer la superficie à traiter en ha

$$\text{Superficie à traiter en ha} = \frac{\text{Longueur (m)} \times \text{Largeur (m)}}{10\,000 \text{ m}^2/\text{ha}}$$

2. Consulter l'étiquette pour obtenir la dose préconisée
3. Multiplier la superficie par la dose pour connaître la quantité totale de pesticide dont vous aurez besoin

Quantité totale de produit en (L) = Superficie (ha) x Dose (L/ha)

4. Pour chaque réservoir plein ou partiellement rempli, multiplier la superficie que peut traiter un tel réservoir par la dose pour obtenir la quantité de pesticide à ajouter à chaque réservoir.

$$\text{Quantité de produit par réservoir (L)} = \frac{\text{Volume du réservoir (L)}}{\text{Taux d'application } \left(\frac{\text{L}}{\text{ha}}\right)} \times \text{Dose } \left(\frac{\text{L}}{\text{ha}}\right)$$

Exemple de calcul

L'étiquette d'un produit préconise d'appliquer 1 litre/ha à mélanger dans 400 litres d'eau.

Le champ à traiter mesure 50m de longueur et 40m de largeur.

Le réservoir de votre pulvérisateur peut contenir 15 litres.

Réponse

$$\text{Quantité totale de produit en litre} = 0,2 \text{ ha} \times 1 \text{ l/ha} = 0,2 \text{ litre}$$

$$\text{Quantité de bouillie} = 400 \text{ L/ha} \times 0,2 \text{ ha} = 80 \text{ litres}$$

$$\text{Nombre de remplissage} = 80 / 15 = 5,3$$

$$\text{Quantité de produit par réservoir} = (15 \text{ l} : 400 \text{ l/ha}) \times 1 \text{ L/ha} = 37,5 \text{ ml}$$

II.6.6- Les attractifs sexuels et appâts empoisonnés

On appelle attractif tout corps chimique qui est à l'origine de stimuli déterminant de la part de l'insecte une réponse positive orientée, il s'agit donc là d'une orientation secondaire, comportant une orientation, plus ou moins nette selon l'intensité des stimuli et un déplacement orienté (taxie). La plupart des chimio-taxies sont provoquées par des substances odorantes contenues dans les végétaux (huiles essentielles), par des substances émises par l'insecte lui-même (attraction sexuelle) ou par des substances chimiques de synthèse. Les substances chimiques déterminant une chimio-taxie sont perçues par les organes sensoriels de l'olfaction, d'où le nom de chimiotropisme olfactif que l'on peut donner à ce tropisme. Ainsi la première catégorie des attractifs à envisager pour les usages agricoles est donc celle des attractifs olfactifs ou substances odorantes pour l'insecte, et déterminant l'attraction à distance ; mais le sens chimique des insectes perçoit, outre les substances odorantes, d'autres substances chimiques selon un processus voisin de celui de la gustation des mammifères. Or, comme l'ont montré, il est particulièrement difficile de distinguer chez l'insecte le goût de l'odorat. Il y a des chercheurs proposent donc la classification suivante : Le sens de l'olfaction par lequel sont perçues les odeurs.

Les « chemoreceptions » de contact, correspondant à ce que l'on appelait improprement le chimiotropisme gustatif, et renfermant toutes les réactions vis-à-vis de substances chimiques non odorantes mais perçues par l'insecte à la suite d'un contact d'une partie de son corps (antenne, pièces buccales, tarsi, ovipositeur). Cette dernière catégorie (les perceptions chimiques peut avoir, une grande influence sur le comportement de l'insecte vis-à-vis du végétal ; l'un de nous, en effet, a montré que le Charançon du Bananier (*Cosmopolites sordidus* Germ.), dans certains cas, repérait le végétal dont il s'alimente et sur lequel il pond, uniquement par des perceptions de contact. Il apparaît donc, que ces deux aspects des perceptions chimiques doivent être envisagés lors de l'utilisation des produits chimiques pour lutter contre les insectes nuisibles. En effet, pour la confection de pièges empoisonnés, il ne faut pas négliger le comportement de l'insecte à proximité immédiate de l'appât : il se peut que l'insecte parvenu au contact de l'appât ou du végétal, par suite (l'une attraction olfactive, ne s'y fixe pas pour avoir perçu au contact ou à proximité immédiate une substance répulsive. Cette distinction entre attractifs de contact et à distance revêt une importance considérable pour la recherche du mécanisme (le

l'attaque du végétal par le ravageur. Il est, en effet indispensable de savoir, avant d'entreprendre la destruction d'une espèce nuisible, quels sont les modalités de l'attaque et sous l'influence de quels excitations ou stimuli elle se produit. Des Recherches sur la substance attractive pour les larves de Doryphore contenues dans les feuilles de Solanées, il semble que le principe soit actif par contact ; alors que les expériences de Mc INDOO (in DETHIER) montrèrent que le Doryphore était également attiré par les feuilles de pomme (le terre selon un chimiotropisme olfactif. Cet exemple montre les deux aspects du chimisme de l'insecte. Nous avons d'ailleurs retrouvé un comportement analogue à propos du Charançon du Bananier : chez ce calandride, en effet, le repérage par contact est l'élément le plus important pour le choix du matériel frais alors que le chimiotropisme olfactif rend compte de la forte attractivité du matériel végétal fermenté . Parmi les différentes catégories d'attractifs on distingue selon leurs significations :

Les attractifs alimentaires.

Les attractifs de ponte.

Les attractifs sexuels.

On conçoit tout l'intérêt que peut comporter ces données pour la protection du végétal : en effet, s'il est possible d'inhiber la ponte de la femelle sur tel ou tel matériel, ou de contrarier l'alimentation de l'adulte, le résultat final sera le même que la destruction d'un grand nombre d'insectes par l'emploi d'un insecticide.

Les substances sémiochimiques sont produites par des organismes qui modifient le comportement des animaux. Les types de produits sémiochimiques les plus importants pour la lutte antiparasitaire sont les phéromones et les allomones. Les phéromones sont émises par les membres d'une espèce pour modifier le comportement des autres membres de la même espèce. Les allomones sont comme les phéromones, sauf qu'elles sont émises par une espèce afin de modifier le comportement d'une autre espèce.

Les phéromones les plus couramment utilisées en agriculture sont les attractifs sexuels. Ces produits chimiques sont produits par les femelles pour attirer les mâles pour l'accouplement et sont utilisés par les praticiens de la lutte antiparasitaire pour attirer les mâles dans les pièges. Les pièges à phéromones sont souvent utilisés pour déterminer la densité de population en échantillonnant le nombre de mâles capturés dans un piège pendant un certain laps de temps. Les phéromones sexuelles aident également au piégeage de masse et à la perturbation de l'accouplement des insectes. La phéromone

sexuelle synthétique gossyplure est utilisée pour piéger le ver rose du cotonnier *Pectinophora gossypiella*. Des essais à grande échelle de confusion sexuelle en Inde sur le ver rose de la capsule ont démontré une augmentation de 35 % en utilisant 50 à 75 g de phéromone de gossyplure par hectare avec sept applications à 8 à 22 jours d'intervalle. Les phéromones d'alarme peuvent être utilisées pour éloigner certaines espèces des cultures. Une pratique traditionnelle au Mexique profite des phéromones d'alarme libérées par les coléoptères en feu. Placer des coléoptères brûlés dans les champs de haricots pendant la nuit repousse efficacement les coléoptères vivants le lendemain matin.



Figure 47 : Exemple type d'un attractif

Chapitre III

Lutte intégrée dans différents agroécosystèmes

Chapitre III : Lutte intégrée dans différents agroécosystèmes

III.1- Lutte intégrée dans les grandes cultures

III.1.1- Les ravageurs souterrains

Tableau Cultures et ravageurs de sol associés (• Courant; ○ Occasionnel)

	Lépidoptères				Diptères		Coléoptères								Autres	
	Chenilles						Vers blancs									
Cultures	Légionnaire uniponctué	Vers gris-noir	Perce-tige de la pomme de terre	Noctuelle fiancée	Mouche des semis et du chou	Tipule des prairies	Hanneton européen	Hanneton commun	Scarabée japonais	Chrysomèle des racines du maïs	Chrysomèle du haricot	Altises des crucifères et du navet	Altise du maïs	Vers fil-de-fer	Limaces	Nématode à kyste du soya
Maïs	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○		•	•	•	
Soya	○	•			•	•	•	•	•	○	•		•	•	•	•
Canola	○	○			•	•						•		•	•	
Céréales	•	•	•	•		•	•	•	•				•	•	•	
Cultures fourragères	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•		•	•	•	

Stratégies de gestion des ravageurs:

Options de lutte en prévention et par les pratiques agricoles

La rotation des cultures est la méthode la plus efficace pour lutter contre la chrysomèle des racines du maïs. Après le maïs, alterner avec une culture non hôte comme le soya, les cultures fourragères, la betterave à sucre ou le blé.

Un semis hâtif peut diminuer la sensibilité aux activités des larves

Lutte biologique et ennemis naturels

Les prédateurs: coléoptères

Les pathogènes: nématodes, champignons

Options de lutte chimique

Si la rotation des cultures n'est pas une possibilité et que les populations d'adultes étaient élevées dans la culture précédente, un contrôle efficace est possible en semant des hybrides de maïs contre la chrysomèle des racines du maïs (méthode préférée), une dose élevée de traitement insecticide pour la semence, ou un insecticide appliqué au sol

Pour une gestion à long terme de la chrysomèle des racines du maïs, il est recommandé d'alterner les options de lutte. Pour prévenir le développement de la résistance, ne pas utiliser la même méthode de lutte chimique ou transgénique année après année

Quelques exemples :

1. Charançon de la Luzerne Coléoptère | Curculionidae (*Otiorhynchus ligustici*)

Description de l'Adultes

- 12 mm de longueur
- Coléoptère gris foncé, l'adulte ne vole pas
- Tous les adultes sont des femelles capables de pondre des œufs fertiles

Larves

- Jusqu'à 12 mm
- Les larves sont petites, blanches et apodes, avec une tête roux pâle et peuvent être observées dans le sol, s'alimentant sur ou dans les racines des plants de luzerne

Cycle biologique Métamorphose complète Cycle biologique de deux ans

- La 1^{re} année, les adultes émergent de leurs sites d'hibernation en avril, se nourrissent des pousses de luzerne et migrent vers de nouveaux sites pour pondre
- L'éclosion des œufs a lieu rapidement après la ponte et les jeunes larves commencent à se nourrir des racines latérales pour éventuellement s'en prendre à la racine principale/pivotante du plant hôte
- En novembre, les larves s'enfouissent profondément dans le sol (40 à 60 cm) et elles y restent sous la forme de vers blancs, en phase de jeûne jusqu'à la fin de l'été suivant
- À la fin de l'été de la 2^e année, les larves se purifient et se transforment en adultes inactifs par la fin de l'automne
- D'avril à mai de la 3^e année, les adultes émergent du sol pour commencer à se nourrir et migrer tardivement vers de nouveaux sites pour pondre

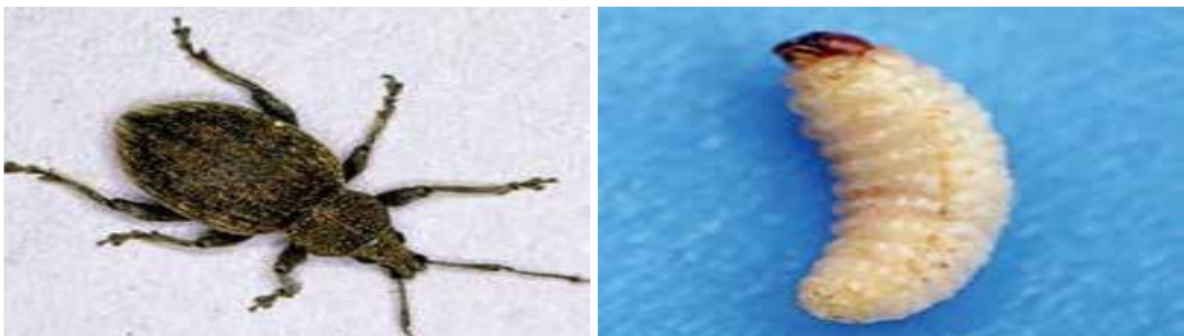


Figure 48 : *Otiorhynchus ligustici*

Dommmages

- Un ravageur souterrain d'abord
- Les larves commencent à s'alimenter sur les racines latérales pour se déplacer par la suite sur la racine pivotante pour en creuser la surface
- Les larves cernent la racine pivotante, laissant de profondes rainures en spirales qui souvent tranchent complètement la racine
- Les plants sévèrement endommagés sont jaunâtres et défoliés à l'automne
- Les dommages sont surtout évidents à la fin de l'été et au début de l'automne
- Les adultes s'alimentent sur les feuilles et les tiges, n'occasionnant que de légers dommages

Pourcentage de la superficie à risque: la luzerne dans les sols plus grossiers (loam sableux, sable, gravier)

Conditions favorables et facteurs de risque

- Champs de luzerne sur des sols plus légers (loam sableux, sable, gravier) dans des régions infestées
- Le charançon de la luzerne a été aperçu dans l'est de l'Ontario, à Wolfe Island, dans les régions de Prescott/ Brockville et de Kemptville et sur la ferme expérimentale centrale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Ottawa

Cultures ciblées

Principales cultures

- Luzerne

Cultures secondaires

- Trèfles et lotiers en moins grande importance



Figure 49 : Dégâts causé par *Otiorhynchus ligustici*

2. Chrysomèle septentrionale des racines du maïs et Chrysomèle occidentale des racines du maïs Coléoptère | Chrysomélidae (*Diabrotica barberi* et *D. virgifera*)

Description : Chrysomèle septentrionale des racines du maïs (csrcm)

Adultes

- 4 à 7 mm
- Corps vert ou jaune, sans rayures ou marques sur les ailes

Chrysomèle occidentale des racines du maïs (corm)

Adultes

- 4 à 7 mm
- Corps allant du jaune au vert avec trois bandes sinueuses sur les élytres – les bandes peuvent se chevaucher
- L'abdomen de la chrysomèle occidentale des racines du maïs est jaune

Larves

- (toutes les espèces)
- 10 à 18 mm



Figure 50 : *Diabrotica barberi* et *D. virgifera*

Domages

Larves

- Un ravageur souterrain d'abord
- Racines: cicatrices brunes sur la surface des racines, petits trous et galeries le long des racines, apparition de maladies fongiques. Les extrémités des racines sont sectionnées et semblent en lambeaux
- Tige: incurvation des tiges en col d'oie; verse des plants depuis leur base

Adultes

- Parce que les soies des épis sont sectionnées par les adultes, la pollinisation peut être moindre. Après la pollinisation complète, les adultes ne sont plus une menace pour les rendements.
- Les adultes peuvent s'alimenter sur le limbe situé entre les nervures, laissant des bandes ajourées parallèles aux nervures de la feuille. Ces dommages sont rarement d'importance économique.



Figure 51 : Dégâts causé par *Diabrotica barberi* et *D. virgifera*

Stratégies de gestion des ravageurs

Options de lutte en prévention et par les pratiques agricoles

L'équipement agricole devrait être nettoyé à fond de toute trace de terre et de débris végétaux avant d'être transporté hors d'un champ infesté.

Les adultes présents à la fenaison peuvent être dans les balles de foin et y survivre pendant une période indéterminée. La première coupe de foin provenant de foin infesté devrait être entreposée pendant au moins deux mois avant d'être livrée.

Le charançon de la luzerne ne survit pas sans hôte sur lequel il peut se nourrir. Une rotation serrée de luzerne pour deux ou trois ans (année d'établissement + une ou deux années de production) devrait être suivie par deux années ou plus de cultures non-hôtes incluant le maïs, les céréales à paille et le soya.

Lutte biologique et ennemis naturels

Le charançon de la luzerne n'a aucun prédateur, parasite ou pathogène connu en Ontario.

Options de lutte chimique

Les insecticides actuels ne sont pas efficaces pour contrôler ce ravageur.

III.1.2- Les ravageurs en surface

Stratégie de gestion des ravageurs

Options de lutte en prévention et par les pratiques agricoles

- Gestion des mauvaises herbes et des résidus de cultures: le sol doit être à nu pendant deux à trois semaines avant le semis
- Rotation: éviter de semer des cultures fourragères ou de graminées si des populations élevées ont été observées les années précédentes
- Date de semis: éviter les semis tardifs
- Favoriser les pratiques culturales qui favorisent la présence d'ennemis naturels (ex. aménager des zones enherbées ou boisées autour des champs, diminuer les applications d'insecticides systémiques)

Lutte biologique et ennemis naturels

- Les parasitoïdes: mouches (ex. Tachinidae), guêpes parasitoïdes (ex. Braconidae; Ichneumonidae), staphylins (ex. Staphylinidae)
- Les prédateurs: oiseaux, carabes
- Les pathogènes: nématodes (ex. Steinernematidae, Heterorhabditidae), champignons

Options de lutte chimique

- La méthode préférée pour les champs avec un historique d'infestations est d'utiliser des hybrides Bt contenant Cry1F
- Traitement insecticide pour la semence disponible : seulement indiqué pour les champs avec un historique d'infestations du ver-gris noir, plus efficace sur les jeunes larves.
- Traitement insecticide foliaire disponible (peut être restreint pour la zone infestée): n'est pas efficace si les larves ont plus de 2,5 cm.

Quelques exemples :

1.Ver-gris noir Lépidoptère | Noctuidae (*Agrotis ipsilon*)



Figure 52 : *Agrotis ipsilon*

Dommmages

- Feuilles : petits trous ou entailles irrégulières (jeunes larves), trous aux contours irréguliers ou marge des feuilles grignotée donnant l'impression d'avoir été déchiquetée (larves plus grosses)
- Plants : flétrissement soudain, coupés ou creusés de galeries au niveau du sol ou juste en dessous (larves de derniers stades)
- Champ : peuplement clairsemé/croissance non uniforme



Figure 53 : Dégâts causé par *Agrotis ipsilon*

2.Limaces Gastropode | Agriolomacidae, Arionidae

Plusieurs espèces incluant :

Arion fasciatus (Nilsson) – Limace rayée

Arion subfuscus (Draparnaud) – Limace brune

Deroceras laeve (Müller) – Loche des marais

Deroceras reticulatum (Müller) – Limace de Bourguignat

Description

Adultes

- 25 à 50 mm
- Corps mou, sans pattes, allant de brun-gris à beige, avec ou sans motifs
- La tête est pourvue de deux paires de tentacules, dont une porte les yeux
- “Escargots sans leur carapace” et sont recouvertes d’un mucus visqueux qui les empêche de se déshydrater

Larves

- 4 à 5 mm
- Similaire aux adultes, mais plus bleuâtre ou violacée



Figure 54 : Gastropode

Dommages

- Semences: grignotées ou creuses
- Plantules: grignotées en partie ou complètement
- Feuilles: dans le maïs, bandes râpées, transformant les feuilles en lambeaux, semblable aux dommages causés par la grêle.
- Les points de croissance
- du maïs sont rarement affectés. Dans le soya et autres plantes à feuilles larges, les feuilles sont squelettisées et les points de croissance peuvent être détruits.
- Champ: peuplement clairsemé, croissance non uniforme



Figure 55 : Dégâts causé par un Gastropode

Stratégies de gestion des ravageurs

Options de lutte en prévention et par les pratiques agricoles

- Semer tôt, avant l'éclosion des œufs et avant que les limaces ne soient actives, si les conditions sont favorables à une croissance rapide des plants

- S'assurer que les sillons de semis sont fermés
- Un travail du sol pour éliminer les résidus volumineux pour exposer les limaces à la déshydratation et à la prédation. Le travail du sol en bande ou le nettoyage entre les rangs peuvent contribuer à accélérer l'assèchement du rang, dissuadant les activités des limaces. Le déplacement des déchets loin des plantules peut aider à diminuer les dommages.

Lutte biologique et ennemis naturels

- Les parasitoïdes: nématodes
- Les prédateurs: carabes, staphylins, vertébrés (ex. oiseaux et petits rongeurs)
- Les pathogènes: possibles, mais pas très bien connus

Options de lutte chimique

- Appâts: certains produits sont disponibles (granulés de phosphate de fer), mais ne sont pas rentables pour les grandes cultures, mais ils pourraient être efficaces pour le traitement de petites superficies à forte incidence. Installer les appâts peu après le 24 mai pour optimiser les résultats.
- Les études avec un mélange d'azote 28 %/eau ou des applications de potasse foliaire ont démontré des résultats variables et ne sont pas encouragés
- Insecticides (sur la semence, appliqués au sol ou foliaires) ne contrôlent pas les limaces

3. Puceron du Soya Hémiptères | Aphididae *Aphis glycines* (Matsumura)



Figure 56 : *Aphis glycines*

Dommmages

- Les mandibules piqueuses-suceuses sucent la sève et les nutriments hors du plant
- Lorsque les populations atteignent les seuils d'intervention, les pucerons peuvent faire avorter les fleurs, les faire rabougrir, diminuant la production et la qualité des gousses et de la semence
- Les pertes de rendements sont les plus élevées dans les premiers stades R du soya (R1-R2), c'est dans cette période que les fleurs peuvent avorter et avoir un effet sur l'établissement des gousses
- En période de pointe, les infestations pendant le stade de remplissage des gousses (R3) et plus tard, peuvent se traduire en une semence de plus petit calibre et de moindre qualité
- Les dommages sont accrus pendant une année aride où les plants sont stressés
- Vecteur du virus de la mosaïque du soya, dont les symptômes sont des feuilles cloquées et le tégument de la semence taché par le hile



Figure 57 : Dégâts causé par *Aphis glycines*

Stratégies de gestion des ravageurs

Options de lutte en prévention et par les pratiques agricoles

- L'enlèvement des nerpruns peut éliminer l'hôte d'hibernation
- Des variétés résistantes sont disponibles, mais certains biotypes de pucerons peuvent vaincre le mécanisme du plant hôte résistant

Lutte biologique et ennemis naturels

Les ennemis naturels jouent un rôle important dans la gestion du puceron du soya.

- Les prédateurs: les coccinelles, les larves de chrysope, les minuscules punaises anthocorides, les larves de syrphes
- Les parasitoïdes: *Aphelinus certus*, et autres

- Les pathogènes: champignons entomopathogènes

Options de lutte chimique

Traitement insecticide pour la semence: Passé le stade de croissance R1 de la plante, les traitements pour la semence ne sont plus dans la plante, si les seuils sont atteints, appliquer un traitement foliaire

Insecticides foliaires: Appliquer lorsque le seuil est atteint. Dépister les champs après l'application pour s'assurer que les populations de pucerons ne reviennent à la charge ou que les ravageurs secondaires, surtout les populations de tétraniques, ne montent pas en flèche.

Les abeilles peuvent butiner pendant la floraison du soya. Si un traitement de pulvérisation est requis, choisir un insecticide qui pose moins de risques pour les abeilles et l'appliquer en soirée, lorsque les températures sont plus fraîches, alors que les abeilles sont moins actives. Aviser les apiculteurs à proximité un jour avant l'application afin de leur permettre de prendre des précautions supplémentaires pour protéger leurs ruches.

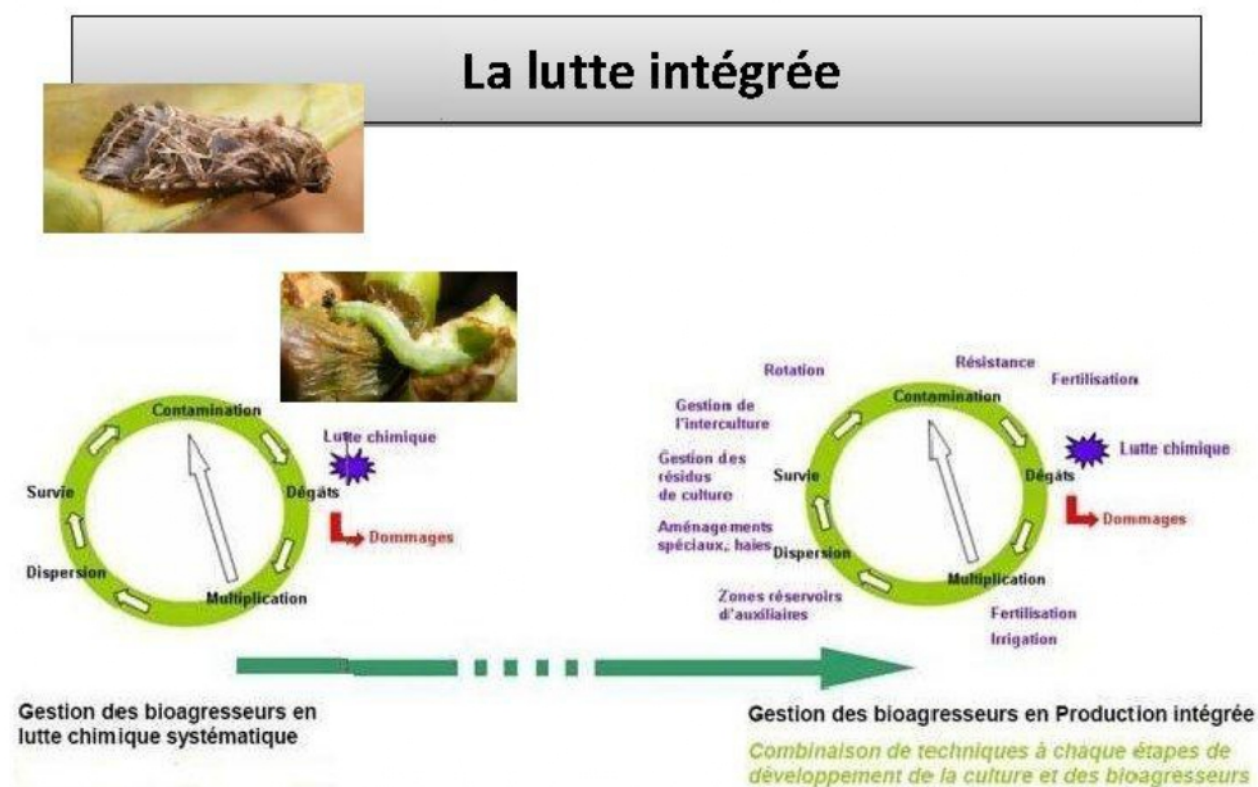


Figure 58 : Résumé de la gestion intégrée

III.2- Lutte intégrée dans les cultures maraichères

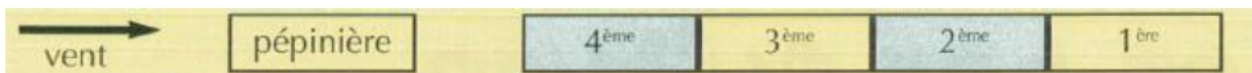
Pour le But de :

Conduire une culture en supportant quelques ravageurs n'engendrant pas de dégâts économiques

Diminuer l'impact négatif des pesticides*: coût, pollution, résidus, élimination des insectes utiles, résistance des ravageurs et des maladies

Par le respect de mesures prophylactiques

Choisir l'ordre de plantation des parcelles et la position de la pépinière par rapport au vent dominant



- Eliminer les cultures après récolte, faire un vide sanitaire sur l'exploitation
- Avoir des plantes vigoureuses : choix de variétés adaptées, bonne maîtrise agronomique (préparation du sol, irrigation, fertilisation, désherbage)

Par la lutte chimique raisonnée

Choisir le moment d'application

- ✓ Faire un traitement curatif quand le niveau d'infestation d'un ravageur ou d'une maladie est trop important
- ✓ Faire des traitements préventifs sur des ravageurs ou des maladies obligatoires, selon un calendrier de traitements
- Choisir des pesticides les plus inoffensifs possibles vis-à-vis des auxiliaires: voir tableaux en fin de document

Par la lutte biologique naturelle

Réalisée par les auxiliaires quand la lutte chimique est raisonnée :

- Les prédateurs* : coccinelles, punaises, ...
- Les parasitoïdes* : petites guêpes
- Les entomopathogènes* ou maladies des insectes : champignons, bactéries, virus ...

La lutte biotechnique

Définition : La lutte biotechnique est basée sur le comportement des insectes : attraction (ou répulsion), piégeage (de masse ou de contrôle).

- ✓ Attraction olfactive: Attractifs alimentaires, de ponte, sexuels (phéromones, paraphéromones) traitements par taches, confusion sexuelle.

- ✓ Attraction visuelle : couleur, forme, rayons (UV), pièges colorés (+ glue), pièges lumineux.

Attention : on a généralement un problème de sélectivité des pièges : ceux-ci peuvent attirer généralement aussi bien les ravageurs que les auxiliaires.

La lutte physique

- ✓ Filets anti-insectes.
- ✓ Serres « insect-proof ».
- ✓ Plastiques de serre anti-UV.
- ✓ Paillage plastique au sol (Attention aux problèmes de nématodes et à la température au niveau des racines).
- ✓ Aspiration des insectes dans des exploitations équipées en matériel.
- ✓ Récolte manuelle...

Règles pratiques concernant les traitements phytosanitaires

- ✓ Matière active / produit commercial : La dose de produit commercial ne correspond pas à la dose de matière active. Il faut bien lire les instructions sur la boîte.
- ✓ DL 50 : plus la DL 50 est faible et plus le produit est toxique : en dessous de 100mg/kg, le produit est dangereux, en dessous d'une DL50 de 10mg/kg, le produit est très dangereux.
- ✓ Bien respecter la dose prescrite.
- ✓ Le mouillage, c'est à dire la quantité d'eau que l'on utilise par unité de surface, doit être suffisante :
 - Pour une culture développée, le mouillage sera de 1000 l/ha.
 - Pour des plantes jeunes (stade 2 ou 3 feuilles), le mouillage sera de 200 l/ha.
 - En serres, sur des plantes hautes, le mouillage sera de 1200-1300 l/ha.

Dans le cas de l'atomiseur, on divise la quantité d'eau par 2 (la dose par hectare reste la même).

- ✓ Alternier les familles chimiques pour éviter les phénomènes d'accoutumance ou de résistance des insectes et des maladies dans la mesure du possible.

Attention : Changer de produit n'implique pas forcément un changement de matière active.

Pour éviter les résistances, il faut alterner les familles chimiques et non pas les noms commerciaux de produits.

Il faut changer de famille chimique toutes les semaines.

Il faut attendre 3 semaines avant la réutilisation d'une famille chimique sur une culture.

- ✓ Respect des délais avant récolte.
- ✓ Respecter les homologations.

III.2.1- Quelques exemples par culture :

Tomate

Programme de traitements contre les insectes et les acariens

En pépinière

- Faire un traitement préventif contre les mineuses et les acariens environ une semaine avant la plantation.

Traiter contre les aleurodes si nombreux

En culture

Traitements préventifs :

- Faire un acaricide toutes les 2-3 semaines en alternant les produits

Traitements curatifs (en cas d'attaques importantes) :

- Contre les mineuses: à partir de 3 mines par feuille
- Contre les aleurodes si apparition de nombreux adultes (mouches blanches) volant près des jeunes rameaux
- Contre les chenilles dès les premiers fruits perforés
- Contre les pucerons si apparition de foyers
- Contre les punaises si nombreuses

Programme de traitements contre les maladies

- Faire un ou deux traitements préventifs contre les fontes de semis entre 7 jours après le semis et 2 jours

Avant la plantation

Traitements préventifs :

- Contre la gale bactérienne (en plein champ seulement) tous les 7-15 jours en fonction des pluies

Traitements curatifs (dès les premiers symptômes) :

- Contre les maladies du feuillage (oïdium, septoriose, alternariose, cladosporiose ...)

Remarques : il n'existe pas de traitement contre les virus et le flétrissement bactérien. Les traitements contre le *Corynespora* ne sont pas efficaces actuellement dans nos conditions.

Cucurbitacées (Melon, concombre, courgette, pastèque...etc.)

En pépinière

- Faire un traitement contre les pucerons (vecteurs de viroses) et les mineurs si besoin

En culture: Traitements préventifs :

- Faire un traitement contre les chenilles tous les 10-15 jours (sur melon, concombre et courgette) à partir du 5^{ème} jour après la plantation
- Faire des traitements contre les pucerons si risques de viroses importants (notamment pour la courgette)

Traitements curatifs (en cas d'attaques importantes) :

- Contre les mineuses : à partir de 3 mines par feuille
- Contre les aleurodes si apparition de nombreux adultes (mouches blanches) volant près des jeunes rameaux
- Contre les pucerons si apparition de foyers
- Contre les thrips si nombreux
- Contre les acariens si présence (en serre)
- Contre les chenilles si nombreuses (sur giraumon, pastèque et christophine)

III.2.2- Quelques exemples par ravageur:

Les Aleurodes *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum*



Figure 59 : Larves et adulte d'aleurodes

Caractéristiques Biologiques

- Les aleurodes se nourrissent de sève (insectes piqueurs-suceurs), provoquent des dégâts directs sur la plante.
- Les piqûres et le rejet de salive entraînent des nécroses et des taches sur feuilles ou fruits et des dérèglements physiologiques.
- Pas de déformation des feuilles ni des bourgeons.
- Production de miellat qui occasionne le développement d'un champignon : la fumagine.
- Transmission de virus.



Figure 60 : Dégâts causé par les aleurodes

Lutte contre les aleurodes

- Mesures prophylactiques.
- Lutte physique : serres étanches, panneaux jaunes, aspirateurs....
- En lutte chimique raisonnée :
 - ADMIRAL (DCI = Dérégulateur de Croissance d'Insecte)
 - PLENUM (doubler la dose)
 - APPLAUD (DCI)
 - CONFIDOR : très critiqué par rapport aux abeilles. Produit systémique
- Lutte biologique : grâce à des auxiliaires indigènes ou introduits.

LES PREDATEURS D'ALEURODES



Punaise Orius



Larve de coccinelle
qui mange des
aleurodes



Coccinelle prédatrice



Macrolophus

LES PARASITOIDES D'ALEURODES :

Ce sont généralement de petites guêpes qui pondent leurs œufs dans les larves d'aleurode.

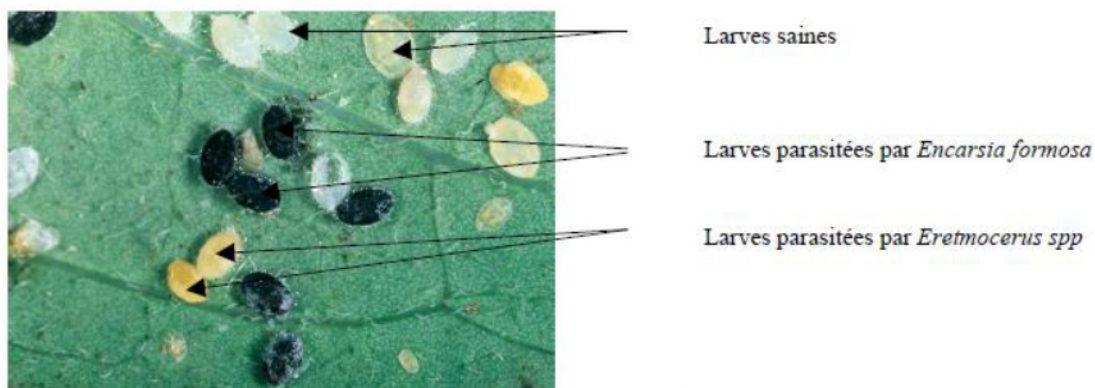


Figure 61 : Prédateurs et parasitoïdes des aleurodes

Différentes guêpes parasitoïdes :



Encarsia luteola



Encarsia transvena



Eretmocerus spp



Amitus bennetti

Pour savoir si la pupa vide était parasitée, observer sa couleur, si elle est plus ou moins foncée, avec un trou ovale bien net, ce sont les signes de la sortie d'une guêpe parasitoïde et non pas d'un aleurode . Lorsque c'est un aleurode qui en est sorti, la pupa reste transparente et l'ouverture a la forme d'une fente en T.

LES « MALADIES » DES ALEURODES

Champignon entomopathogène



Figure 62 : Différentes guêpes parasitoïdes des aleurodes

Les Pucerons *Aphis gossypii* et *Aphis craccivora*

Caractéristiques biologiques

- Les pucerons se nourrissent de sève (insectes piqueurs-suceurs), provoquent des dégâts directs sur la plante.
- Les piqûres et le rejet de salive entraînent souvent des déformations des feuilles et des bourgeons.

- Production de miellat qui occasionne le développement d'un champignon : la fumagine.
- Transmission de nombreux virus.

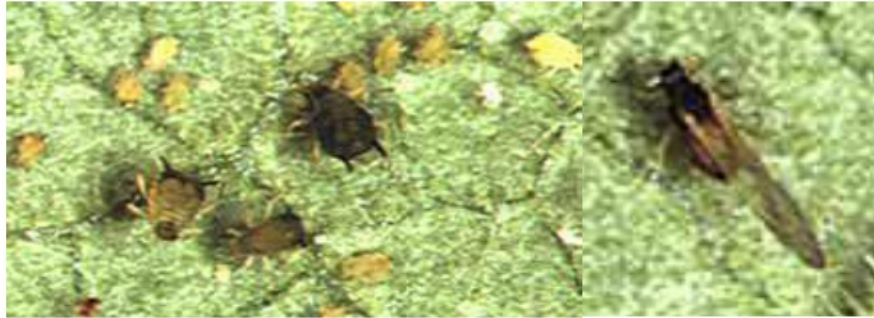


Figure 63 : Pucerons



Figure 63 : Dégâts causée par Pucerons

Lutte contre les pucerons

- Mesures prophylactiques.
- Lutte physique : serres étanches, panneaux jaunes...
- Lutte chimique raisonnée : PLENUM, PIRIMOR, (CONFIDOR)
- Lutte biologique : grâce à des auxiliaires indigènes ou introduits.

LES PREDATEURS DE PUCERONS

Coccinelles, punaises :



Coccinelles prédatrices de puceron



Punaie Orius prédatrice



Larves de coccinelles prédatrices de puceron :
Les larves sont grosses prédatrices de pucerons.

Oeufs de coccinelles : amas de points jaune vif sur les feuilles

Chrysopes :



Adulte de chrysope



Larve de chrysope



Œufs fixés sur pédoncule

Syrphes :



Œufs de syrphes



Larves de syrphes



Syrphes adulte

Ce sont les larves qui sont prédatrices des pucerons

Figure 64 : Prédateurs et parasitoïdes des Pucerons

LES PARASITOIDES DE PUCERONS



Puceron gonflé (=monie), parasité par une micro-guêpe qui est sortie par l'opercule



Micro-guêpe parasitoïde

III 3 - Lutte intégrée dans les vergers

Tout se joue dès l'implantation du verger. Afin d'accéder à ces points référez-vous sur ce site aux fiches densité de plantation, porte-greffe et taille . Seront abordés dans cette fiche, que les étapes à suivre sur un verger déjà implanté.

Deux conditions préalables à l'utilisation de cet outil :

- Le point essentiel à respecter en tout temps, si l'on veut avoir de bons rendements tout en raisonnant ses traitements, est d'être présent régulièrement sur sa parcelle.
- Supposons que ceci soit fait, vous vous familiariserez alors facilement avec le microcosme qui compose votre verger. La deuxième étape à suivre étant de savoir reconnaître les insectes, acariens et maladies d'importance économique (c'est-à-dire ayant assez d'impact sur le verger pour causer des pertes de rendements) ainsi que leurs auxiliaires. Ces espèces sont répertoriées dans les fiches suivantes, avec description et photographies, vous n'avez qu'à cliquer sur les liens pour y accéder:
- Les différents nuisibles en tête, vous êtes à présent « aptes » à effectuer des suivis réguliers sur votre parcelle. Ceci en utilisant un outil simple : la fiche de suivi. Le suivi consiste à effectuer des comptages sur un échantillon de 10 arbres par hectare , sur chacun de ses arbres 4 fruits et 4 rameaux sont observés répartis uniformément sur l'arbre. Chaque nuisible agit préférentiellement sur un organe, ainsi vous ne regarderez pas la même chose sur les fruits ou sur les feuilles.
- Un exemple : sur une parcelle d'agrumes, vous regarderez sur les fruits les phytophtes et les tarsonèmes, et sur les feuilles les cochenilles visibles à l'œil nu. La fiche de suivi indique les organes à observer pour les nuisibles à suivre. Toujours sur agrumes, il est important de ne pas oublier de regarder le tronc et les branches afin de pallier à une éventuelle pullulation de cochenilles du tronc, ou une attaque de phytophthora.
- La technique de comptage est simple, vous avez trois classes d'attaque :
 - Selon l'intensité du ravageur observé vous notez 0,1 ou 2 dans la case correspondant à l'échantillon observé. Au final lorsque les 40 échantillons sont observés (4 organes par ravageur pour 10 arbres) vous calculez le seuil.

Les seuils pour chaque nuisible, à partir desquels un traitement s'avère nécessaire, sont indiqués au dos de la fiche de suivi. Nous remarquons alors que pour l'exemple juste au-dessus, le seuil trouvé est de 27.5% alors que le seuil limite accepté pour les phytophtes est de 20%. Un traitement pourra donc être envisagé sur cette parcelle. Notons également

que les acariens ne sont pas visibles à l'œil nu, ils font pourtant partis des ravageurs causant le plus de dégâts sur les vergers d'agrumes car lorsque les dégâts sont visibles il est déjà trop tard. Une seule solution : les observer à la loupe (grossissement entre 10 et 16). Lorsque vous observez plus de 10 acariens dans les champs de votre loupe vous pouvez indiquer la classe 2 sur votre fiche de suivi.

La fréquence idéale des suivis est une fois par mois en période dite « normale » et une fois tous les 15 jours en période de fructification. Ceci afin de ne pas passer à côté d'une attaque d'acariens qui sont particulièrement voraces après la nouaison et pendant le grossissement du fruit. Selon les résultats de vos suivis vous prenez ou non la décision d'effectuer un traitement selon les seuils que vous avez calculé. A ce moment deux options s'offrent à vous :

- Vous jugez que votre verger est assez équilibré pour faire face à cette attaque et vous préférez attendre que des auxiliaires se mettent en place. Sachez tout de même que beaucoup de problèmes de pullulation d'insecte sont souvent réglés « dans l'ombre » grâce au travail d'entomologistes qui vont effectuer des recherches sur le ravageur en question, aller chercher leur ennemi naturel et essayer de l'acclimater à son nouveau milieu.
- La deuxième option est d'utiliser un traitement chimique. Dans ce cas référez-vous au site e-phy qui vous indique tous les produits homologués sur chaque culture.

Référez-vous également à la fiche traitements phytosanitaires sur ce site qui vous met en garde contre l'utilisation de certains produits, et vous indique les plus efficaces et les plus respectueux pour l'environnement.

Référez-vous également sur ce site à la fiche les bonnes pratiques agricoles qui retrace les précautions à prendre lors d'un traitement.

Une autre recommandation importante lorsque vous traitez : lisez bien l'étiquette afin de ne pas vous tromper dans la dose, il est important de faire votre mélange avec la dose indiquée sur l'étiquette afin de ne pas « sous doser » ou « sur doser », ce qui génère à la longue des résistances sur les nuisibles ciblés. Certains produits en revanche n'entraînent pas de résistance, c'est le cas des huiles par exemple qui ont une action physique d'étouffement que les insectes ne peuvent pas contourner. Dans le cas des huiles il est important, pour que le traitement soit efficace, d'appliquer le produit de telle sorte à ce

que l'arbre soit bien mouillé et qu'il « dégouline » afin d'être sûr d'avoir recouvert tous les ravageurs.

Lutte biologique et intégrée en vergers de pommiers, poiriers et abricotiers

La lutte biologique contre les organismes nuisibles aux vergers évolue par étape vers une Protection intégrée. Dans cette optique, les recherches se développent en France sur les points suivants: effets indésirables des pesticides sur l'entomofaune auxiliaire, rôle d'abri-refuge pour l'entomofaune autochtone joué par l'environnement végétal des vergers, diversification des procédés de lutte, mise au point de méthodes plus sélectives, sélection de variétés résistantes ou moins sensibles aux attaques de plusieurs organismes nuisibles, amélioration des méthodes de surveillance des vergers pour la prévision des risques de dégâts, lutte raisonnée contre les maladies cryptogamiques.

La mise au point de programmes de lutte intégrée dépend essentiellement des possibilités de lutte disponibles contre les ennemis-clés. Dans les vergers de pommiers et de poiriers français, les ennemis-clés appartiennent à groupes d'arthropodes: Carpocapse (*Cydia pomonella* L.), Tordeuses de la pelure, Aphides, Psylle du poirier (*Psylla pyri* L.) Acariens phytophages et aussi à trois maladies fongiques: Tavelure du pommier (*Venturia inaequalis* Cke.) Wint., Oïdium du pommier (*Podosphaera leucotricha* Ell. et Ev.), Tavelure du poirier (*Venturia pirina* (Bref.) Aderh.

Les méthodes de lutte sélective sont passées en revue: régulateurs de croissance des insectes, lutte biologique par lâchers de parasites et de prédateurs insecticide microbiologique, lutte par confusion avec les phéromones sexuelles. L'application de certaines d'entre elles dépend des possibilités de production industrielles d'agents biologique ou biotechnique.

Les principaux éléments ayant contribué à une application pratique des programmes de lutte raisonnée et de lutte intégrée ont été: l'amélioration des connaissances biologiques et de la nuisibilité des organismes phytophages, ainsi que des méthodes de surveillance et de prévision permettant l'utilisation des seuils de tolérance économique l'aménagement de la lutte chimique contre le Carpocapse en vergers de pommiers, la démonstration de la bonne efficacité des prédateurs du Psylle du poirier, spécialement des Anthocoris. La lutte raisonnée, appliquée sur plusieurs milliers d'hectares de vergers de pommiers et de poiriers en France, a permis de réduire de plus de 50% le nombre de traitements avec un bon niveau économique de protection.

Dans les vergers d'abricotiers, les maladies parasitaires, principalement l'Enroulement chlorotique causé par un mycoplasme, représentent les problèmes les plus importants. Des essais sont en cours pour parvenir à une lutte raisonnée contre la Petite mineuse (*Anarsia lineatella* Zell.) et le puceron *Hyalopterus pruni* Geoffr. Qui est l'agent de dissémination de la Sharka (maladie due à un virus de type I.L.A.R.).

Des moyens concrets...

Dans la culture du brocoli, il est possible de tolérer plus de chenilles avant qu'après la floraison; leurs prédateurs ont alors l'occasion de s'établir de façon naturelle. Par la suite, l'utilisation d'un insecticide biologique à base de *Bacillus thuringiensis*, qui n'affecte pas les organismes utiles, permet dans plusieurs cas d'obtenir de belles récoltes avec un minimum de pesticides chimiques.

L'application d'herbicides directement sur les rangs, combinée à un désherbage mécanique entre les rangs, permet de réduire d'environ les deux tiers la quantité d'herbicide utilisée dans le maïs. En outre, cette pratique offre l'avantage d'aérer le sol.

En cultures de crucifères, les rotations de 3 à 4 ans avec des légumineuses et des céréales réduisent les infestations de hernie et permettent une augmentation de rendement supérieure à 25 %, ce qui peut doubler le bénéfice net par hectare. Les rotations sont également très efficaces pour réduire les niveaux d'infestation du doryphore dans les champs de pommes de terre.

Dans les framboisières, le fait de conserver entre 12 et 15 tiges par mètre de rang améliore l'aération des haies et la pénétration de la lumière; cela abaisse le degré d'humidité dans la culture et réduit ainsi la propagation des insectes et des maladies fongiques. De plus, aussitôt la récolte terminée, l'enlèvement et la destruction des vieilles tiges, qui sont souvent porteuses d'insectes, d'acariens et de maladies, assainit la framboisière et réduit les sources de contamination.

Grâce aux nombreux agents de lutte biologique offerts sur le marché, dont plusieurs parasitoïdes et prédateurs, il est maintenant possible de gérer efficacement la plupart des ravageurs affectant les productions de légumes en serre. Le contrôle des conditions environnementales dans les serres est aussi un moyen très efficace de réduire l'incidence des maladies.

Quelques Exemples :

Les insectes sont des animaux de petite taille qui colonisent chaque milieu. A eux seuls, ils représentent les deux tiers du règne animal lequel compte plus d'un million d'espèces (et l'on ne connaît pas tout !). Pas question ici de les présenter tous. Nous nous contenterons de décrire ceux que l'on rencontre le plus souvent dans nos vergers. Pour la plupart, ils appartiennent à l'embranchement des arthropodes, invertébrés qui se caractérisent par : □ Un corps composé de 3 parties articulées : la tête, munie d'une paire d'antennes et de pièces buccales adaptées, le thorax sur lequel se fixent 3 paires de pattes et souvent une ou deux paires d'ailes et l'abdomen. □ Une respiration par un système de petites trachées ramifiées dans tout le corps, où circule l'air qui pénètre par de petits trous situés de chaque côté du corps. Un squelette externe chitineux. Ils ne s'alimentent pas tous de la même manière.

On distingue : □ Les piqueurs-suceurs comme le puceron par exemple. □ Leurs pièces buccales leur permettent de piquer les parties les plus tendres des végétaux qu'ils colonisent et de sucer la sève dont ils se nourrissent. □ Les lécheurs comme les papillons, possèdent une sorte de trompe qui leur sert à lécher le nectar des fleurs. □ Les broyeurs, comme les chenilles*. Leurs pièces buccales broient les feuilles (chématobie). L'épiderme ou le cœur des fruits (carpocapse) avant ingestion. D'autres critères comme le mode de reproduction pourraient aussi être retenus pour différencier les insectes. Nous allons décrire plus spécialement les deux insectes les plus rencontrés au verger : les pucerons et les carpocapses. Les solutions proposées pour lutter contre dans ces deux insectes conviennent aussi pour la plupart des autres ravageurs qui ne seront pas l'objet de descriptions aussi détaillées.

Le carpocapse

Bien que la plupart des dictionnaires attribue le genre féminin à ce mot, tous les arboriculteurs ou presque disent « le » carpo, en raccourci, je pense, pour « le papillon carpocapse ». Même si ce mot un peu bizarre ne vous dit rien, vous connaissez certainement les dégâts de cet hôte indésirable. En effet, c'est le petit papillon dont la larve est responsable des pommes dites « véreuses ». De mœurs nocturnes, on le connaît mal. « *Cydiapomolella* » pour les scientifiques, le « carpo » pour les intimes, la (ou le) carpocapse des Pommes (il y en a d'autres) est bien connu des services spécialisés, voici

sa fiche signalétique. Nom Scientifique (*Cydiapomonella*. Taille : adulte : 16 à 19 mm - œuf : 1 mm de diamètre - larve : 16 à 19 mm - chrysalide : 10 à 11 mm

Biologie : Les adultes apparaissent d'avril à juin selon les régions en fonction des températures nocturnes. Après accouplement, les femelles pondent de 50 à 80 œufs sur les branches, les feuilles ou les fruits. Après 9 à 15 jours, naissent des larves qui vont se « balader » à la recherche d'un fruit (stade baladeur). Quand elles ont trouvé, elles creusent une galerie en direction du cœur du fruit où elles continuent leur développement. A la fin de cette phase larvaire, elles quittent les fruits et se nymphosent pour donner des individus de deuxième génération ou entrent en diapause: pour passer l'hiver en attendant de se transformer en chrysalide pour donner la première génération de l'année suivante. En France, il y a 2 générations par an, parfois 3 dans le sud.

1. Depuis Linné, les espèces ont reçu un nom composé de deux mots latins. Le premier, débutant par une majuscule, désigne le genre et le deuxième, commençant par une minuscule, est un qualificatif spécifique.

2. Exemple : *Cydiapomonella*

3. *Cydia* : genre de papillon de la famille des Tortricidae. Dont les larves sont phytophages* et *pomonella* indique qu'il concerne les pommes.

4. Nymphose: période durant laquelle la larve se transforme en nymphe*, phase intermédiaire entre le stade larvaire et la forme adulte.

5. Diapause phase au cours de laquelle, un organisme entre en vie ralentie

6. Chrysalide : nymphe* de papillon



Figure 65 : *Cydiapomonella*

Dégâts

Au point de pénétration de la larve (chenille), souvent entre deux fruits ou entre une feuille et un fruit, on remarque des dépôts d'excréments rejetés par la larve qui se nourrit des pépins. Vidés de leur cœur, les fruits tombent et sont perdus. La première génération de carpocapses détruit des pommes de petite taille et les dégâts passent souvent inaperçus. Certains vont jusqu'à dire que, les années d'abondance, cela constitue un éclaircissage sans frais. Par contre, les carpocapses de la deuxième génération provoquent une accélération de la maturité et la chute de fruits qui sont d'apparence quasi normale, mais qui ne sont pas commercialisables car le centre a été dévoré par la chenille



Figure 65 : Dégâts causé par *Cydipomonella*

Lutte contre le carpocapse

Elle n'est pas facile car l'amateur ne dispose pas de matière active susceptible de détruire les œufs et les larves passent une bonne partie de leur vie bien à l'abri au cœur des pommes. Chaque larve de la première génération devenue papillon va en générer environ 10 à la deuxième. D'où l'importance de réussir le traitement de juin. A la première génération le stade baladeur dure plus longtemps rendant la carpovirusine et le BT plus efficaces. Pour le positionnement du traitement on peut obtenir dans beaucoup de régions le Bulletin d'avertissements de la chambre d'agriculture destiné aux professionnels. Reste le « stade baladeur » où les jeunes larves peuvent être atteintes par divers produits, notamment la « Carpovirusine », à base du virus de la granulose, maladie qui ne touche que les carpocapses. *Bacillus thuringiensis* est une matière active qui vise les chenilles* en général, quel que soit le papillon. Cette lutte au stade baladeur est difficile à mettre en place par l'amateur qui n'a pas toujours le temps, ni de surveiller l'apparition des larves ni d'effectuer des traitements difficiles à mettre en œuvre sur des arbres hautes-tiges. La

lutte directe s'avérant difficile et peu efficace sur les carpocapses d'une génération, il reste la lutte préventive pour tenter de limiter le nombre d'individus de la génération suivante.

_ En hiver, badigeonner les troncs avec du blanc afin d'emprisonner les cocons* dissimulés sous les écailles de l'écorce.

_ Poser des bandes de carton ondulé sur le tronc et les grosses branches afin que les chrysalides y tissent leur cocon*. Périodiquement les cartons seront débarrassés des cocons et remplacés. On évitera de les brûler car ils peuvent contenir des larves d'auxiliaires.

_ Pose de pièges à phéromone*. Conçus par les professionnels pour connaître la date des premiers vols, ces pièges peuvent être utilisés au verger familial pour diminuer sensiblement le nombre de carpocapses...

Ils se présentent sous la forme d'un abri dont le fond englué est muni d'une capsule de phéromone, substance secrétée par les femelles pour attirer les mâles. Ces «messieurs carpos », trompés par les phéromones de la capsule, s'approchent et restent englués sur le fond. Ces « prisonniers » ne pourront plus féconder de femelles ce qui diminuera la densité de la génération suivante _ Favoriser l'installation des prédateurs naturels du carpocapse par la pose de nichoirs à oiseaux ou de dortoirs à chauve-souris.

_ Certaines variétés de fruits sont plus sensibles que d'autres aux attaques du carpocapse. A la conception du verger, choisir si possible des variétés résistantes.

_ Pulvériser des préparations « maison » susceptibles de perturber les larves dans leur recherche d'un fruit à perforer.

Lutte contre les pucerons

Excepté les arbres hautes tiges d'un âge respectable qui peuvent supporter la présence de quelques pucerons, la plupart de nos fruitiers nécessitent une surveillance et des interventions pour supprimer ou en tout cas, limiter, le nombre de ces parasites. Les jeunes arbres nouvellement transplantés ou greffés, fragilisés par ces traumatismes, sont les cibles privilégiées des pucerons. Il est indispensable d'intervenir car. Même s'ils n'en meurent pas obligatoirement, les végétaux attaqués sont déformés, affaiblis, et exposés à d'autres attaques.

Quel que soit le moyen utilisé, le secret de la réussite d'un traitement anti-pucerons est la rapidité d'intervention. Quand les feuilles sont enroulées, de couleur jaune, poisseuse

sous l'effet du miellat, il est trop tard. Les dégâts sont irréversibles. Les femelles fondatrices issues des œufs d'hiver apparaissent dès le stade phénologique C du pommier. Difficiles à repérer sans une observation très fine, ces « pionnières » sont cependant « dénoncées » par les allées et venues des fourmis le long du tronc et des branches des arbres. En effet, outre les fondatrices qui créent les premières colonies, les fourrais, gourmandes de miellat sont capables de déplacer des pucerons pour créer d'autres groupes, plus faciles d'accès pour elles. Si les premières attaques sont éradiquées tout de suite, les générations suivantes seront réduites et les traitements plus espacés, voire supprimés. Ne pensez pas avoir résolu le problème après votre premier traitement. Les générations se succèdent tous les 10 jours et 3 ou 4 interventions seront encore nécessaires pour contenir le développement des pucerons (probablement aux stades E, H et J), sans oublier que les pluies lessivent les produits et obligent à recommencer.

Comment lutter ?

Les rayons des magasins spécialisés débordent de produits insecticides* de synthèse : à large spectre (qui sont efficaces contre plusieurs insectes) ou aphicides (plus spécialement destinés à la lutte contre les pucerons.) Ce n'est pas ce genre de produits que le croqueur « standard » vient chercher ici, je pense. Alors, sachons que ces produits existent, mais essayons de les éviter. En agriculture biologique, des matières actives sont autorisées par les cahiers de charges.

Le pyrèthre : poudre obtenue à partir des fleurs séchées de certaines variétés de chrysanthèmes cultivées essentiellement en Afrique. Cette poudre contient 6 substances insecticides nommées pyréthrinés. Ces substances ont la faculté de détruire le système nerveux des insectes, mais aussi, malheureusement celui des poissons. Les produits à base de pyréthrinés se présentent sous la forme de poudre à souffler ou de liquide à diluer avant pulvérisation. C'est un insecticide de contact*, c'est-à-dire qu'il doit se poser sur le corps de l'insecte. Il n'est pas ingéré. Pour augmenter l'efficacité de ces préparations, les fabricants mettent des additifs : mouillants, antioxydants, des synergistes comme le Pipéronal Butoxide, très contesté car suspecté d'être mutagène. Bien qu'autorisés en culture bio. Les insecticides à base de pyréthrinés doivent être utilisés avec prudence : lunettes, masque, gants et sans manger ni fumer immédiatement après utilisation.

Bacillus thuringiensis: le Bacille de Thuringe(Bt) est une bactérie qui se trouve naturellement dans notre environnement : eau, air, terre... Cette bactérie contient une

protéine qui libère une toxine dans l'intestin de l'insecte qui l'a ingérée. Celui-ci ne peut plus digérer et finit par mourir. Les insecticides* à base de Bt conviennent pour lutter contre les chenilles qui sont des insectes broyeur. Elles avalent les bactéries qui se trouvent à la surface des feuilles qu'elles consomment. Mais ils ne conviennent pas pour les insectes piqueurs-suceurs comme les pucerons, car le bacille n'est pas systémique, c'est-à-dire qu'il reste à la surface de la plante, sans pénétrer dans la sève.

Pour avoir une efficacité contre tous les insectes, les fabricants associent le bacille de Thuringe avec une autre matière active comme les pyréthrine par exemple. A appliquer le soir, car Bt se dégrade à la lumière. Le savon noir : de fabrication un peu différente que celle du savon de Marseille (appelé savon blanc), le savon noir est connu depuis des lustres pour ses vertus nettoyantes. On a découvert depuis qu'il pouvait aussi rendre bien des services au jardin et au verger. Dilué de 3 à 5 % dans de l'eau et pulvérisé sur et sous les feuilles, il est très efficace contre les pucerons. Dilué à 1 %, il peut servir de mouillant pour d'autres pulvérisations.

Bien que biologiques, les produits ci-dessus restent des moyens de donner la mort. De nos ravageurs, certes, mais certainement aussi d'autres insectes qui ne demandaient rien. En d'autres lieux, on appellerait ça des « dégâts collatéraux ». Il serait préférable de se demander pourquoi les pullulations d'insectes se produisent et d'intervenir préventivement plutôt que curativement.



Figure 66 : Pièges aux insectes

III 4 - Lutte intégrée en milieux forestiers

À titre de gestionnaire du territoire public, le Ministère doit voir à ce que des stratégies soient déployées sur le territoire aménagé afin de s'assurer du bon état de santé des arbres et de réduire les pertes éventuelles de bois.

La protection des forêts contre les insectes et les maladies s'articule autour de trois axes :

- La Prévention
- La Détection
- La Lutte

La prévention

La prévention a pour but d'augmenter la résistance des peuplements à l'égard des maladies et des épidémies et de réduire progressivement l'envergure des perturbations et leurs effets. Elle repose sur des principes écologiques, dont le respect de la dynamique naturelle des peuplements et l'adaptation des travaux aux caractéristiques des stations forestières.

Les gestionnaires forestiers peuvent avoir recours à l'expertise des spécialistes du Ministère pour analyser les données disponibles, repérer les peuplements vulnérables et signaler ceux qui doivent faire l'objet d'une protection particulière. Cet exercice leur permet de récolter en priorité les peuplements qui courent le plus de risques, comme les sapinières parvenues à maturité, et d'effectuer les travaux sylvicoles requis pour augmenter la résistance des autres peuplements à une éventuelle épidémie. De plus, s'ils doivent faire du reboisement, les gestionnaires forestiers sont en mesure de choisir des espèces bien adaptées aux sites en cause.

La détection

La détection est une étape cruciale. Plus elle est hâtive, plus le nombre de tactiques d'intervention adéquates est grand, et plus les dommages peuvent être réduits. Cette activité a pour but de déceler l'émergence de problèmes, d'évaluer leurs répercussions sur le milieu forestier, de déterminer et de mettre en place rapidement les moyens d'intervention requis afin de limiter les dommages et les pertes économiques éventuelles. La détection et le suivi des insectes et des maladies exigent de nombreux travaux d'échantillonnage qui se font à partir d'un vaste réseau de stations permanentes et temporaires d'observation réparties dans toute la province.

- Les **stations permanentes** permettent un suivi à très long terme des insectes et des maladies. Elles sont établies à partir des caractéristiques écoforestières régionales et de l'historique des épidémies d'insectes.
- Les **stations temporaires** sont implantées lors de la détection d'une infestation afin de mieux circonscrire ses limites. Elles sont actives durant toute la durée de l'infestation.
- Les **stations ponctuelles** permettent de détecter des problèmes forestiers de courte durée et elles sont créées chaque année pour compléter le réseau devant un problème particulier. Ce réseau permet de surveiller en priorité les peuplements les plus vulnérables dans les endroits où les maladies et les épidémies d'insectes sont les plus récurrentes.

Des vols de reconnaissance sont parfois nécessaires pour évaluer l'envergure et la gravité des dégâts. Enfin, grâce aux données fournies par certaines stations météorologiques, on construit des modèles mathématiques qui permettent d'évaluer, à une journée près, le stade de développement atteint par certains insectes cibles. Cette information est particulièrement importante lorsqu'on doit mettre un programme de lutte en branle.

Un inventaire extensif dans l'ensemble des aires reboisées du Québec est effectué chaque année pour détecter rapidement les ravageurs forestiers. Les méthodes d'échantillonnage visent à estimer leur abondance, à localiser l'épidémie ainsi qu'à évaluer ou à prédire les dégâts.

Le but est de détecter les problèmes entomologiques ou pathologiques assez tôt pour élaborer des plans d'intervention adéquats et les mettre en œuvre à point nommé.

La lutte

Même si le Québec privilégie une sylviculture préventive pour minimiser les pertes attribuables aux insectes et aux maladies, la lutte directe est un outil complémentaire qui s'avère parfois indispensable. Cette intervention se fait alors avec des produits éprouvés qui ont peu d'effets sur l'environnement.

Avant de déclencher la lutte, on considère tous les moyens d'intervention possibles. La décision d'intervenir est basée à la fois sur un seuil économique au-delà duquel les pertes prévues sont inacceptables et sur un seuil d'intervention, qui correspond aux concentrations d'insectes jugées suffisantes pour causer les pertes appréhendées. Le recours aux pulvérisations aériennes d'insecticides biologiques est donc généralement dicté par des considérations économiques, comme la nécessité de préserver les sources d'approvisionnement des industries forestières.

Quelques Exemples

Les Acariens

Les acariens, qui appartiennent au grand groupe des arthropodes, ne sont pas des insectes. Ils n'ont, en effet, ni antennes, ni mandibules, et leur corps, sphérique ou ovale, est non segmenté. Comme ils sont minuscules (de 0,1 mm à 2 mm), les acariens passent souvent inaperçus et ce sont généralement leurs dégâts qui attirent l'attention. Certains d'entre eux endommagent les plantes, d'autres parasitent les insectes et les mammifères, l'homme y compris, et d'autres enfin transmettent des maladies.

Deux groupes importants d'acariens s'en prennent aux arbres et aux arbustes : les tétranyques et les phytoptes.

Les tétranyques



Figure 67 : Tétranyque de l'épinette, nymphes et adultes et d'œufs.

Biologie, comportement et dégâts

Les tétranyques traversent quatre stades de développement : l'œuf devient larve, puis nymphe et, enfin, adulte. Globulaires et à peine visibles à l'œil nu, ils ont quatre paires de pattes, à l'âge adulte, et seulement trois, au stade larvaire. Ils ressemblent à de très petites araignées et ils possèdent de longues chélicères en forme de stylets. Pendant l'été, ils déposent leurs œufs sur les pousses et les aiguilles, mais à l'approche de la saison froide, ils le font plutôt à la base des aiguilles. Les œufs pondus tardivement passent l'hiver sur leurs hôtes pour éclore au début de juin. Dès qu'ils sont devenus adultes, c'est-à-dire deux ou trois semaines après l'éclosion, les tétranyques commencent à tisser inlassablement leurs toiles. Ces petits animaux peuvent se reproduire au rythme de quatre à six générations par année. À l'aide de leurs chélicères, les nymphes et les adultes

percent les cellules des feuilles et des aiguilles pour se repaître du suc qu'elles renferment.

Les aiguilles infestées prennent rapidement une coloration marbrée, jaunâtre, puis brunâtre. Si l'infestation est grave, elles peuvent tomber prématurément. Les résineux les plus affectés sont les épinettes, mais le sapin (photo 4) et certains autres conifères sont aussi vulnérables aux tétranyques. Plusieurs espèces d'acariens s'en prennent également aux feuillus.

Détection

Quand on voit de petites toiles tissées sur un feuillage devenu jaunâtre ou brunâtre et qui semble sale et terne, on peut soupçonner la présence de tétranyques. Pour le confirmer, il suffit de secouer un rameau suspect au-dessus d'une feuille de papier blanc. Si de petits points rouges tombent sur la feuille, l'arbre est infesté.

Lutte

Dans les petites plantations et sur les arbres d'ornementation, on peut lutter contre les tétranyques en arrosant copieusement le feuillage des plantes attaquées avec un fort jet d'eau. On détruit ainsi les toiles et on déloge une partie de la population. Ce traitement augmente aussi le taux d'humidité, ce qui freine le développement des acariens. Dans les cas graves, on peut être forcé d'avoir recours à un acaricide.

Les phytos

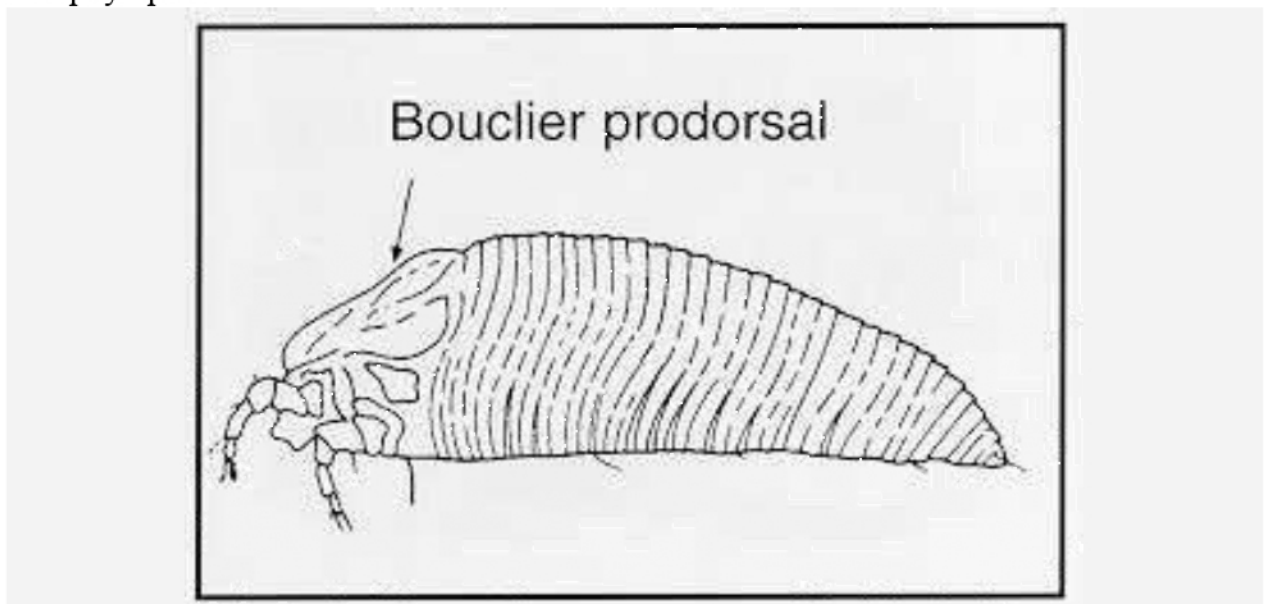


Figure 68 : Allure générale d'un phytos.

Biologie, comportement

Les phytoptes sont beaucoup plus répandus que les tétranyques. Les espèces qui font des ravages sont essentiellement gallicoles. Elles provoquent la formation de tumeurs, galles ou cloques qui déforment les tissus des plantes. La forme des tumeurs varie selon l'espèce d'acariens en cause.

Les phytoptes connaissent trois stades de développement : œufs, larve et adulte. Invisibles à l'œil nu (de 0,1 mm à 0,5 mm), les adultes ont un corps allongé, muni de deux paires de pattes.

Les phytoptes passent l'hiver au stade adulte et reprennent leurs activités au printemps. Ils s'alimentent et pondent dans les tissus de la plante, y provoquant ainsi la formation de galles dans lesquelles leurs larves se développent. Ils se reproduisent habituellement au rythme de quatre générations par année.

Contrairement aux tétranyques, les phytoptes s'attaquent surtout aux feuillus. Leurs hôtes préférés sont l'érable, le bouleau, le frêne, le tilleul, l'orme et l'aulne. Néanmoins, ils s'en prennent parfois au genévrier, un conifère.

Détection

La présence des phytoptes est révélée par les déformations ou renflements qu'ils font naître sur les feuilles, les rameaux, les bourgeons ou les fleurs de leurs hôtes.

On les détecte également par les galles ou cécidies qu'ils provoquent sur le limbe des feuilles. En fait, ils attirent souvent l'attention en provoquant l'apparition d'une multitude de petites galles microscopiques, très colorées, qui forment une sorte de tapis velouté.

Dégâts

Les dommages causés par les phytoptes sont généralement insignifiants sur les arbres déjà bien établis. Seule l'apparence de leurs hôtes est altérée.

Lutte

Comme les acariens ne causent pas de dégâts graves, on recommande de ne pas leur faire la lutte, sauf dans les cas exceptionnels, où il peut être nécessaire d'appliquer une huile dormante très tôt le printemps, avant l'ouverture des bourgeons.

III 5 - Lutte intégrée au niveau des denrées agricoles stockées

D'un point de vue économique, et sur le plan de la protection des ressources naturelles, il est beaucoup plus raisonnable de protéger les récoltes contre les pertes que d'investir pour une augmentation continue de la production agricole. Selon les enquêtes effectuées par la GTZ, 5 à 30 % des récoltes de maïs et de manioc en Afrique sont détruits par les ravageurs des stocks après 6 à 8 mois de stockage. Les pertes enregistrées dépendent du système de stockage et de la présence du Grand Capucin du Maïs (GCM), ravageur particulièrement dangereux. Selon les statistiques de la FAO, la production globale du maïs en Afrique est de 36 millions de tonnes par an. Et si l'on considère que les trois quarts de la récolte totale sont stockés au niveau des paysans, la perte minimale enregistrée s'élève à 1.35 millions de tonnes tous les ans. Une grande partie de ces pertes peut être évitée en utilisant des mesures de lutte intégrée après la récolte.

La lutte intégrée post-récolte au niveau paysan signifie la sélection de mesures appropriées en fonction du cas spécifique de chaque individu. La prévention des pertes à partir de la lutte intégrée post-récolte associe la rentabilité à la protection des ressources naturelles. Il y a diverses possibilités de réduire ou d'éviter complètement l'utilisation des produits synthétiques de protection des stocks. Il revient aux paysans et agents de vulgarisation d'analyser soigneusement les besoins avant de procéder au choix qui convient le mieux à chacun. Des critères tels que la simplicité, la disponibilité, le coût, la main-d'œuvre doivent être toujours pris en considération. Dans ce contexte, la brochure de vulgarisation a pour but d'apporter un appui à la lutte pour la réduction des pertes post-récolte et à l'amélioration de la sécurité alimentaire.

Cependant, il y a une demande pressante pour des "technologies de lutte intégrée post-récolte" toutes faites pouvant être transmises aux paysans par le canal d'une approche "descendante". De telles approches connaîtront invariablement d'échec, parce qu'elles ne prennent pas en compte les conditions socio-culturelles et économiques qui varient suivant les cas. Le présent dépliant ne peut prétendre de remplir toutes ces conditions. Il donne plutôt un aperçu global des méthodes communément utilisées et des mesures de lutte contre le GCM et autres ravageurs des stocks, y compris la prévention du développement de la moisissure. Les méthodes de lutte qui ne comportent pas l'utilisation des insecticides synthétiques sont celles particulièrement recommandées dans cette brochure.

La protection post-récolte améliorée permet aux paysans de tirer profit des fluctuations annuelles des prix sur le marché en vendant des produits de qualité à un moment où les prix sont élevés. Ce faisant, ils peuvent augmenter considérablement leurs revenus, car les fluctuations des prix sont souvent beaucoup plus importantes que la valeur monétaire des pertes post-récolte.

Le contenu du dépliant est présenté dans une matrice qui donne un accès très facile aux informations pertinentes. Les éléments isolés qui y sont inclus doivent être regroupés par les utilisateurs du dépliant en vue de concevoir des plans de protection intégrée des stocks qui répondent aux nécessités, susmentionnées.

Le dépliant s'adresse, avant tout, aux agents vulgarisateurs et les spécialistes concernés, qui sont les principaux transmetteurs des innovations en matière d'agriculture. Les méthodes et mesures citées ci-dessous peuvent concerner différents groupes cibles. Par conséquent, les groupes cibles sont indiqués dans la matrice sous les abréviations suivantes:

D Décideurs

P Paysans

GS Gestionnaires de stocks

AP Appicateurs d'insecticides pour la protection des stocks (commercial et privé)

FR Femmes Rurales

Les chiffres indiqués dans la colonne "Info" se réfèrent aux publications citées sous la rubrique Informations complémentaires" à la fin du dépliant.

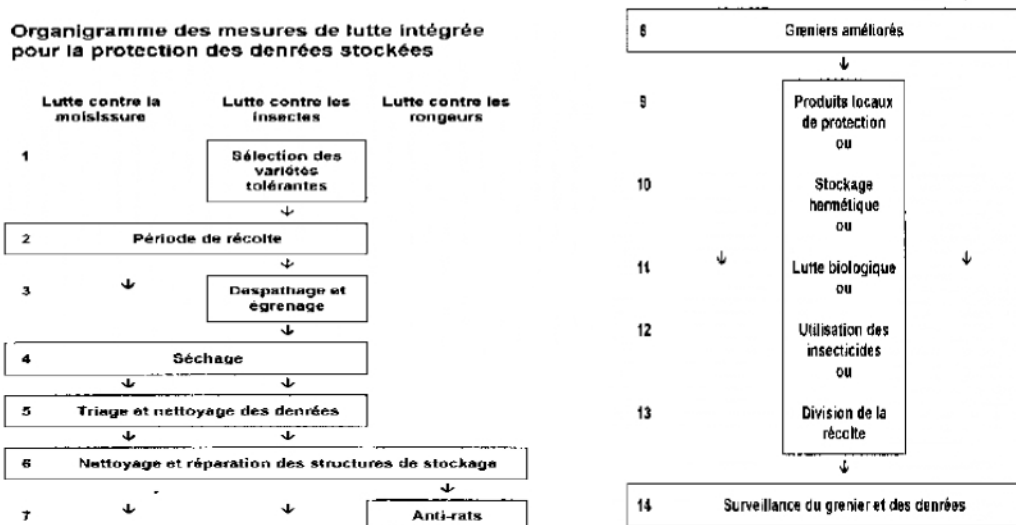


Figure 69 :Organisme des mesures de lutte intégrée pour protection des denrées stockées

Les denrées stockées (fruits secs, céréales, légumes secs, oléagineux, épices...) ou produits manufacturés sont les cibles privilégiées des ravageurs : insectes nuisibles (charançons, pyrales, teignes, vrillettes, capucins, ténébrions, triboliums, silvains, psoques...) rongeurs (rats, souris, surmulots...).

Nombreux sont les secteurs et les professionnels à être concernés : industries agroalimentaires, coopératives agricoles, négociants, organismes stockeurs, sociétés commissionnaires de transport (import, export)...

L'impact financier d'une contamination de vos marchandises, non ou mal traitées, peut-être considérable :

Destruction du stock contaminé

Contamination se révélant une fois le produit transformé

Bâtiments et matériels subissant des dégâts importants (action des rongeurs...)

C'est pourquoi l'expertise d'une entreprise « 3D » agréée vous est indispensable pour lutter contre les ravageurs des denrées et vous en protéger.

En plus des conseils préventifs que nous vous dispensons afin d'assurer un stockage optimum de vos denrées, nous élaborons des stratégies de lutte adaptées à votre situation, toujours écologiquement et économiquement responsables.

Lorsque cela est possible, nous privilégions : les méthodes de lutte biologiques (prédateurs naturels, agents pathogènes), les méthodes de lutte biotechniques (confusion sexuelle, appâtage, répulsifs). Lorsque l'infestation est importante, nous utilisons des produits de synthèse homologués : thermonébulisation d'insectides sur parois avant stockage fumigation par PH₃, certifiée et agréée auprès de la DRAAF, contre les insectes rodenticides à effet retard contre les rongeurs, afin de déjouer leur vigilance.

Glossaire de protection des cultures

Auxiliaires: Organismes vivants s'attaquant à un ou plusieurs ravageurs des cultures (sont par conséquent utiles à l'homme). Classés en trois catégories selon leurs mode d'action : les prédateurs, les parasitoïdes et les entomopathogènes. On y inclut aussi les pollinisateurs et les organismes favorables au sol (vers de terre...).

Déprédateurs : Terme général servant à désigner des animaux commettant des dégâts sur une plante ou sur des denrées, généralement dans le but de se nourrir. Ce terme est cependant à éviter car il peut être confondu avec celui de prédateur, au sens opposé. On utilisera le terme de ravageurs.

DL 50: Dose Létale : dose à partir de laquelle meurent 50% des rats ayant ingéré le produit.

Entomophages : Organismes vivants aux dépens d'insectes : c'est le cas des prédateurs et des parasitoïdes.

Entomopathogènes : Champignons, bactéries ou virus causant des maladies aux insectes.

Hyperparasites : Très petites guêpes (hyménoptère) parasitoïde d'un autre parasitoïde et donc nuisibles à l'homme.

Maladies : Affections causées sur les cultures par des organismes pathogènes comme les champignons, les bactéries, les virus, les mycoplasmes... Sont nuisibles à l'agriculture.

Monophages: Se nourrissant d'une seule espèce de plante ou d'une seule espèce animale.

Nuisibles: Organismes ayant un effet négatif du point de vue de l'homme en agriculture (synonyme : ravageur).

Oophages: Consommant (ou par extension parasitant) des oeufs.

Oligophages : Se nourrissant sur quelques espèces voisines (par exemple sur Cucurbitacées).

Parasites: Organismes se développant et se nourrissant aux dépens d'un autre être vivant, sans nécessairement le tuer (ex : gui, cuscute, champignons). Ce terme, trop souvent généralisé et imprécis, ne doit pas être employé pour désigner les maladies ou les insectes parasitoïdes.

Parasitoïdes: Petits hyménoptères (guêpes) ou diptères (mouches) dont les larves se développent aux dépens d'un seul individu ravageur (hôte) en entraînant sa mort. Sont en général monophages, parfois oligophages ou oophages ; ils sont toujours plus petits que leur hôte.

Pathogènes: Organismes vivant rendant malade une plante (phytopathogène) ou un insecte (entomopathogène).

Pesticides: Produits chimiques utilisés pour lutter contre les insectes nuisibles (insecticides) ou les acariens (acaricides), mais aussi par extension contre les maladies (fongicides) et les mauvaises herbes (herbicides).

Phytotoxicité: Réaction d'une plante à un produit toxique. Peut-être causé par un traitement pesticide ou par des sécrétions d'un ravageur (par exemple la salive des pucerons).

Polyphages : Se nourrissant d'une gamme de plantes ou d'animaux très large.

Pollinisateurs: Animaux (abeilles, insectes ailés, oiseaux...) permettant la pollinisation des fleurs et leur fécondation.

Sont obligatoires pour obtenir des fruits quand la plante est monoïque (fleurs mâles et fleurs femelles sur le même pied comme les cucurbitacées) ou dioïques (fleurs mâles et femelles sur des pieds différents comme le papayer).

Prédateurs: Animaux se nourrissant aux dépens d'autres animaux (proies) qui sont rapidement tués. Sont généralement polyphages et plus gros que leurs proies.

Ravageurs: Animaux provoquant des dégâts sur les cultures dont ils se nourrissent (ils ont un régime dit phytophage ou herbivore). Les ravageurs appartiennent à différents groupes : insectes, acariens, nématodes, rongeurs, oiseaux, mollusques... Appelés aussi nuisibles.

Systémique: Qui est véhiculé à l'intérieur d'une plante par la sève. Cela peut être le cas d'un pathogène (virus...) ou d'un produit chimique (le traitement est dit endothérapie). Ne pas confondre traitement systémique avec traitement systématique (traitement répété plusieurs fois selon un calendrier).

Références bibliographique

- 1) Aliénor Allain, Laure Vieublé, Emma Vivien, Olivier Crouzet. Biodégradation des résidus de pesticides dans les sols: quels effets des pratiques ? 8èmes Rencontres du RMT Quasaprove « Recherche appliquée, Formation & Transfert ». INRA, 2018 :29p.
- 2) Francis Fleurat-Lessard, La protection intégrée (PI) des récoltes contre les insectes - du concept à la pratique. Améliorer la maîtrise de la qualité sanitaire par la prévention. INRA. 2017 : 19p.
- 3) P. Ryckewaert, Cirad La Réunion, M. Leblay. Principes généraux de la lutte intégrée sur cultures maraîchères en Polynésie française ; Reconnaissance des ravageurs et des auxiliaires. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, 2004 :16p.
- 4) Attoumani-Ronceux A, Aubertot JN, Guichard L, Jouy L, Mischler P, Omon B, *et al.* 2010. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture. Ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement, RMT SdCi.
- 5) Baraka MR, Bahira ME, Alia MAE, Abd ER, Imam AI. 2008. Evaluation of the number of releases of the egg parasitoid, *Trichogramma evanescens* West, in suppressing the spiny bollworm, *Earias insulana* (Boisd.) infestation in El-Farafra cotton fields, New Valley Governorate, Egypt. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 18: 271–275.
- 6) Barzman M, Bàrberi P, Birch ANE, Boonekamp P, Dachbrodt-Saaydeh S, Graf B, *et al.* 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 1199–1215.
- 7) Bennett R, Morse S, Ismael Y. 2006. The economic impact of genetically modified cotton on South African smallholders: Yield, profit and health effects. *The Journal of Development Studies* 42: 662–677.
- 8) Brévault T, Bouyer J. 2014. From integrated to system-wide pest management: Challenges for sustainable agriculture. *Outlooks on Pest Management* 25: 212–213.
- 9) Brévault T, Clouvel P. 2019. Pest management: Reconciling farming practices and natural regulations. *Crop Protection* 115: 1–6.
- 10) Brévault T, Renou A, Vayssières JF, Amadji GL, Assogba-Komlan F, Diallo MD, *et al.* 2014. DIVECOSYS: Bringing together researchers to design ecologically-based pest management for small-scale farming systems in West Africa. *Crop Prot* 66: 53–60.
- 11) Brévault T, Ndiaye A, Badiane D, Bal A, Sembène M, Silvie P, *et al.* 2018. First records of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), in Senegal. *Entomologia Generalis* 37: 129–142.
- 12) Burel F, Baudry J. 1999. Écologie du paysage: Concepts, méthodes et applications. Paris : Lavoisier.
- 13) Brévault T, Couston L, Bertrand A, Thézé M, Nibouche S, Vaissayre M. 2009. Sequential pegboard to support small farmers in cotton pest control decision-making in Cameroon. *Crop Protection* 28: 968–973.
- 14) Byers JA, Naranjo SE. 2014. Detection and monitoring of pink bollworm moths and invasive insects using pheromone traps and encounter rate models. *Journal of Applied Ecology* 51: 1041–1049.
- 15) Carrière Y, Ellers-Kirk C, Sisterson M, Antilla L, Whitlow M, Dennehy TJ, *et al.* 2003. Long-term regional suppression of pink bollworm by *Bacillus thuringiensis* cotton. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100: 1519–1523.

- 16) Carrière Y, Ellsworth PC, Dutilleul P, Ellers-Kirk C, Barkley V, Antilla L. 2006. A GIS-based approach for areawide pest management: The scales of *Lygus hesperus* movements to cotton from alfalfa, weeds, and cotton. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 118: 203–210.
- 17) Cattaneo MG, Yafuso C, Schmidt C, Huang CY, Rahman M, Olson C, *et al.* 2006. Farm-scale evaluation of the impacts of transgenic cotton on biodiversity, pesticide use, and yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 7571–7576.
- 18) Cong R-G, Smith HG, Olsson O, Brady M. 2014. Managing ecosystem services for agriculture: Will landscape-scale management pay? *Ecological Economics* 99: 53–62.
- 19) Cook SM, Khan ZR, Pickett JA. 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology* 52: 375–400.
- 20) Crowder D, Jabbour L. 2014. Relationships between biodiversity and biological control in agroecosystems: Current status and future challenges. *Biological Control* 75: 8–17.
- 21) Deguine JP, Gozé E, Leclant F. 2000. The consequences of late outbreaks of the aphid *Aphis gossypii* in cotton growing in central Africa: Towards a possible method for the prevention of cotton stickiness. *International Journal of Pest Management* 46: 85–89.
- 22) Deguine JP, Ferron P, Russell D. 2008. Sustainable pest management for cotton production. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28: 113–137.
- 23) Djagni KK, Fok M. 2019. Dangers potentiels de l'utilisation des insecticides dans la culture cotonnière au Togo de 1990 à 2010. *Cahiers Agricultures* 28. DOI: 10.1051/cagri/2019023
- 24) Downes S, Kriticos D, Parry H, Paull C, Schellhorn N, Zalucki MP, *et al.* 2017. A perspective on management of *Helicoverpa armigera*: transgenic Bt cotton, IPM, and landscapes. *Pest Management Science* 73: 485–492.
- 25) FAO. 2014. Integrated pest management. <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/ipm/en/>. Site consulté le 11/10/2017.
- 26) Ferron P, Deguine JP, Ekorong J. 2006. Évolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école. *Cahiers Agricultures* 15: 128–134. Disponible sur <http://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30571>.
- 27) Gahukar RT. 2000. Use of neem products/pesticides in cotton pest management. *International Journal of Pest Management* 46: 149–160.
- 28) Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M. 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLoS ONE* 11: e0165632
- 29) Goodell PB. 2009. Fifty years of the integrated control concept: The role of landscape ecology in IPM in San Joaquin valley cotton. *Pest Management Science* 65: 1293–1297.
- 30) Gregg PC, Del Socorro AP, Hawes A. 2004. Magnet[®]: An attract-and-kill formulation for *Helicoverpa armigera* and *H. punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae) based on plant volatiles. In: *The 2004 ESA Annual Meeting and Exhibition*. Available from http://esa.confex.com/esa/2004/techprogram/paper_14005.htm.
- 31) Gregg PC, Greive KA, Del Socorro AP, Hawes AJ. 2010. Research to realisation: The challenging path for novel pest management products in Australia. *Austral Entomology* 49: 1–9.
- 32) Javaid I. 1995. Cultural control practices in cotton pest management in tropical Africa. *Journal of Sustainable Agriculture* 5: 171–185.

- 33) Lin R, Liang H, Zhang R, Tian C, Ma Y. 2003. Impact of alfalfa/cotton intercropping and management on some aphid predators in China. *Journal of Applied Entomology* 127: 33–36.
- 34) Liu B, Yang L, Yang F, Wang Q, Yang Y, Lu Y, *et al.* 2016. Landscape diversity enhances parasitism of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) eggs by *Trichogramma chilonis* in cotton. *Biological Control* 93: 15–23.
- 35) Llandres AL, Almohamad R, Brévault T, Renou A, Téréta I, Jean J, *et al.* 2018. Plant training for induced defense against insect pests: A promising tool for integrated pest management in cotton. *Pest Management Science* 74: 2004–2012.
- 36) Luo S, Naranjo SE, Wu K. 2014. Biological control of cotton pests in China. *Biological Control* 68: 6–14.
- 37) Mace M. 2018. How Arizona scientists and farmers banished the pink bollworm from the Southwest. Arizona Daily Star. Consulté le 18/01/ 2019.
- 38) Martin T, Ochou Ochou G, Djihinto A, Traore D, Togola M, Vassal JM, *et al.* 2005. Controlling an insecticide resistance bollworm in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107: 409–411.
- 39) Mensah R, Leach D, Young A, Watts N, Glennie P. 2015. Development of *Clitoria ternatea* as a biopesticide for cotton pest management: Assessment of product effect on *Helicoverpa* spp. and their natural enemies. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 154: 131–145.
- 40) Mensah RK, Khan M. 1997. Use of *Medicago sativa* interplantings/trap crops in the management of the green mirid, *Creontiades dilutus*, in commercial cotton in Australia. *International Journal of Pest Management* 43: 197–202.