



MANUEL

DE FORMATION

- PRODUCTION AGRICOLE ET TRANSFORMATION -

GESTION INTÉGRÉE DES BIOAGRESSEURS



COLEACP

Ce manuel de formation a été conçu et réalisé par les services Formation et Information & Communication du COLEACP. Cette publication a été rédigée par Bruno Schiffers en collaboration avec Gilles Delhove pour le chapitre 3 et Henri Wainwright pour le chapitre 4.

La présente publication a été élaborée par le COLEACP dans le cadre de programmes de coopération financés par l'Union européenne (Fonds Européen de développement – FED) et en particulier du programme Fit For Market (FFM) cofinancé par l'Union européenne et l'Agence Française de Développement (AFD).

Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité du COLEACP et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue officiel de l'Union européenne et de l'AFD.

Le COLEACP dispose de la propriété intellectuelle de l'ensemble du document.

Cette publication fait partie intégrante d'une collection COLEACP, composée d'outils de formation et de supports pédagogiques. Tous sont adaptés aux différents types d'apprenants et niveaux de qualification rencontrés dans les filières de production et de commercialisation agricoles.

Cette collection est disponible en ligne pour les membres du COLEACP.

L'utilisation de tout ou partie de la publication est possible dans le cadre de partenariats ciblés et selon certaines modalités. Pour cela, contacter le COLEACP à network@coleacp.org.

- PRODUCTION AGRICOLE ET TRANSFORMATION - GESTION INTÉGRÉE DES BIOAGRESSEURS

Chapitre 1 : Introduction: de la lutte chimique à la production intégrée.....1

- Lutte chimique à la croisée des chemins
- Les différents concepts de production
- Étapes vers une production intégrée

Chapitre 2 : Principes de lutte biologique et de lutte intégrée.....14

- La lutte biologique
- Principes de la lutte intégrée
- Mesures de gestion des maladies et ravageurs à intégrer
- Les produits de biocontrôle
- Méthodes de lutte alternatives aux produits chimiques
- Annexes : Définitions et préparations diverses

Chapitre 3 : Développer une stratégie de lutte intégrée.....64

- Qu'entend-on par « stratégie » en protection des cultures ?
- Les quatre composantes à considérer dans toute stratégie
- Les interactions à envisager
- La boîte à outils de la lutte intégrée
- La démarche stratégique

Chapitre 4 : Étude de cas.....103

- La lutte intégrée contre les Mouches Blanches
- Stratégies de lutte intégrée contre les Mineuses des feuilles
- Lutte intégrée contre le *Phytophthora* en cultures d'ananas
- Lutte intégrée contre la Teigne crucifère

Abréviations et acronymes les plus utilisés.....145

Références bibliographiques149

Sites Web utiles153



Chapitre 1

Introduction : de la lutte chimique à la production intégrée

Lutte chimique à la croisée des chemins	2
Les différents concepts de production	6
Etapas vers une production intégrée	10



1.1. Lutte chimique à la croisée des chemins

1.1.1. Conséquences de l'évolution des pratiques traditionnelles

En Afrique, et dans d'autres pays du Sud, beaucoup de paysans pratiquent toujours une agriculture de subsistance, et la grande majorité des producteurs de cultures fruitières et maraîchères produisent sur de très petites surfaces et souvent pendant des périodes limitées à quelques semaines ou à quelques mois sur l'année. En général ces paysans, quoiqu'ils aient hérité d'un savoir-faire ancestral, ont des **connaissances agronomiques et des moyens techniques limités**.

Comme il s'agit plutôt d'une agriculture extensive et familiale, il n'est d'ailleurs pas dans leurs habitudes d'utiliser beaucoup d'intrants dans leurs champs. Dans ce contexte, malgré des conditions climatiques souvent défavorables aux plantes cultivées, mais propices aux pullulations de parasites (chaleur, humidité), les paysans ont **élaboré des systèmes efficaces de production**. Ils ont su tirer parti de leur environnement et ils ont pu exploiter les ressources naturelles à leur disposition (plantes insecticides ou insectifuges, minéraux, cendres, fumées...) pour lutter contre les ravageurs et les maladies qui dévastaient leurs cultures et détruisaient leurs denrées stockées. La rusticité des très nombreuses variétés locales, souvent peu productives, mais bien adaptées, et une grande biodiversité naturelle du milieu associée à des techniques culturelles peu agressives (peu de labour, cultures associées, cultures itinérantes) leur ont permis de maintenir la pression des maladies et des ravageurs sous un seuil tolérable.

La situation est bien différente dans le **cas du maraîchage**, qui est une activité agricole importante en Afrique tropicale pour les communautés rurales aussi bien que pour les populations urbaines et péri-urbaines. La production de fruits et de légumes frais, à destination des marchés locaux et des marchés d'exportation, est devenue une source de revenus non négligeable pour de très nombreux petits producteurs. Pour protéger leurs récoltes, augmenter leur production, améliorer la qualité de leurs produits et accroître leurs revenus, **les producteurs ont progressivement intégré dans leurs pratiques l'emploi des intrants, engrais et pesticides, abandonné leurs variétés traditionnelles et délaissé peu à peu leurs méthodes traditionnelles de production et de protection**.

Or, le secteur d'exportation horticole des pays ACP est encore caractérisé aujourd'hui par un grand nombre de petites et moyennes exploitations. Dans cette situation, le plus souvent, il n'était **pas utile ni approprié** de substituer les méthodes traditionnelles par une lutte chimique, parce que celle-ci n'était pas toujours à la portée du paysan. En effet, le plus souvent, le paysan n'a pas la possibilité d'utiliser convenablement la lutte chimique, car il ne possède aucune information à son sujet et que généralement il n'a pas assez d'argent pour acheter les produits phytosanitaires adéquats (efficaces et autorisés sur la culture) ni même des appareils de traitement de bonne qualité.

Fréquemment, les appareils et les produits recommandés ne sont **pas commercialisés** localement ou sont **difficilement disponibles**. De plus, la présentation des produits (ex. :



absence d'étiquettes ou étiquettes dans une langue incompréhensible, emballages défectueux), la mauvaise qualité des formulations, la taille inadaptée des emballages et l'absence d'équipements de protection, d'encadrement et d'information du paysan, rendent l'emploi des pesticides aléatoire, coûteux et dangereux pour sa santé et pour l'environnement.

La majorité de ces producteurs maraîchers recourent aujourd'hui, souvent hélas de façon systématique, aux pesticides de synthèse en utilisant parfois des mélanges très complexes de différents produits, sans rien connaître de leurs propriétés. Comme les légumes sont des **cultures à cycle court, consommés à l'état frais** ou avec peu de transformation, les risques engendrés par un emploi excessif et non maîtrisé des intrants sont réels et ont fait l'objet de nombreux constats d'experts :

- présence de résidus à des concentrations préjudiciables à la santé du consommateur dans les produits récoltés ;
- pollution des eaux de surface et des eaux souterraines ;
- destruction des auxiliaires et, de manière générale, perte de biodiversité ;
- atteinte à la santé des opérateurs, et à celle de leurs familles, par une exposition répétée ;
- accidents fréquents (empoisonnements involontaires) ;
- développement de résistances chez les parasites à combattre ;
- apparition de nouveaux agresseurs jusqu'alors passés inaperçus ;
- réduction de la fertilité des sols.

À ces risques, on ajoutera la **dépendance accrue** des producteurs, face à la nécessité de se procurer des intrants, et la **perte de revenus** quand leur emploi n'est pas compensé par un accroissement de production et/ou une amélioration de la qualité sanitaire et phytosanitaire de la récolte.

S'il est vrai que la production pour l'exportation ne représente qu'une faible part de la production maraîchère des pays ACP, elle est stratégique, car pour beaucoup d'exploitations familiales il s'agit de la seule culture de rente. L'Europe constitue, de très loin, le principal débouché à l'exportation des filières ACP de fruits et légumes frais. L'importance relative de ces flux sur les économies des pays est évidemment très variable : plus d'une trentaine de pays ACP ont des flux réguliers d'exportations de fruits et légumes vers l'Europe. Pour ces pays, les filières horticoles d'exportation représentent un **enjeu économique et social important**, particulièrement du point de vue des emplois qu'elles créent et des revenus qu'elles distribuent en milieu rural, où les problèmes de pauvreté et de sous-emploi sont particulièrement sévères.

Aujourd'hui, face aux exigences croissantes de l'Europe en termes de qualité sanitaire et phytosanitaire, face à la progression des exigences commerciales de la grande distribution, les producteurs ACP doivent impérativement **corriger leurs pratiques** pour délivrer des produits conformes (ex. : respect des LMR et autres normes) et sauvegarder leurs parts de marché. En outre, il ne leur suffit plus de considérer les seuls aspects « sanitaires » de leurs méthodes de production, car le marché leur impose petit à petit des critères touchant au respect de l'environnement, à la protection de la biodiversité, à l'éthique des méthodes mises en œuvre... **La place réservée à la lutte chimique dans les itinéraires techniques de production est clairement remise en question.**

Plutôt que de considérer cette évolution comme perturbante et négative pour le secteur horticole ACP, qui fait vivre plusieurs millions de ruraux, il est préférable de profiter de

ces orientations de marché pour remettre en question la dérive des pratiques traditionnelles, d'accorder un intérêt renouvelé aux techniques de lutte ancestrales, de questionner la lutte chimique et de replacer les méthodes de production dans le cadre d'une agriculture durable. La **production intégrée** et la **production biologique** offrent de réelles opportunités de marché aux producteurs ACP.

1.1.2. La nécessaire évolution de la protection des cultures

De manière générale, dans les autres régions du monde, la protection chimique des cultures, même si elle est le plus souvent efficace, ne donne plus satisfaction, non seulement par rapport à la durabilité des agro-écosystèmes (perte de diversité biologique, dégradation de la qualité physico-chimique du milieu), mais aussi à cause de son efficacité toujours plus limitée par la manifestation de résistances des ravageurs, des modifications des spectres parasitaires et par l'apparition de graves déséquilibres dans le milieu (pollution des eaux, contamination du sol et de l'air).

Ces préoccupations sont encore renforcées par les exigences et les restrictions de plus en plus fortes concernant les autorisations de mise sur le marché des substances actives, à l'image de l'évolution récente de la Directive européenne 91/414/CEE¹ qui remet en cause la rentabilité économique du développement de nouvelles familles de substances actives. Par ailleurs, la conséquence immédiate du processus de révision des plus anciennes substances actives et de leur retrait massif est la réduction du choix du producteur, voire même l'absence de tout moyen chimique de lutte. Dans le même temps, l'adoption au 1^{er} septembre 2008 du Règlement (CE) 396/2005² harmonisant les LMR de l'UE entraîne, pour les producteurs ACP utilisant des produits non autorisés ou retirés en Europe, un risque accru de dépasser le niveau des LMR autorisées.

La protection des cultures est ainsi aujourd'hui **placée à la croisée des chemins**.

- Prônant de « bonnes pratiques phytosanitaires », comptant sur une évolution positive des modalités de la protection chimique grâce à de nouvelles molécules plus respectueuses de l'environnement et s'appuyant sur la simplicité reconnue de la mise en œuvre de la plupart des traitements chimiques, certains persistent à ne promouvoir que celle-ci, considérant comme trop aléatoire un changement des mentalités et des habitudes, une modification des pratiques ou encore jugeant excessif le coût des autres méthodes de lutte (**lutte raisonnée**).
- D'autres privilégient la voie transgénique (ex. : incorporation du gène « Bt » dans le coton ou le maïs) comme une alternative à long terme à la lutte chimique, malgré ses détracteurs actuels (**lutte génétique**).
- D'autres, enfin, soulignent l'intérêt de mesures préventives et intégrées, réduisant le risque de pullulation des populations de parasites, dans le cadre de stratégies élaborées considérant le milieu, les pratiques culturales, les contraintes socio-économiques locales, et faisant appel, en cas de besoin et d'une façon hiérarchisée,

¹ Directive du Conseil du 15 juillet 1991, concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (*JOCE*, L 230 du 19 août 1991).

² Règlement (CE) 396/2005 du Parlement Européen et du Conseil du 23 février 2005 concernant les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux d'origine végétale et animale et modifiant la directive 91/414/CEE du Conseil (*JOUE* du 16 mars 2005). Le premier établissement de ses annexes II, III et IV a été publié dans le Règlement (CE) n° 149/2008 de la Commission du 29 janvier 2008. Ces annexes sont amendées par le Règlement (CE) n° 839/2008 de la Commission du 31 juillet 2008 publié au *JOUE* du 30 août 2008 et entré en vigueur le 1^{er} septembre 2008.

à diverses techniques de gestion du risque engendré par les maladies et les ravageurs (**lutte intégrée**).

Par ailleurs, dans un marché international de plus en plus concurrentiel, les systèmes de culture intensifs très consommateurs d'intrants risquent de conduire à des impasses économiques. Leur nécessaire évolution devrait passer par un allègement significatif des quantités d'intrants pour réduire les coûts de revient. Les petits producteurs subissant l'arrêt progressif des subventions sont amenés à revenir à des systèmes de production plus traditionnels, utilisant moins de pesticides.

Ces considérations techniques, réglementaires et économiques plaident toutes en faveur d'une protection des cultures évoluant vers **une approche plus écologique**, comme la protection intégrée. Cette évolution donne ainsi une priorité au **fonctionnement équilibré et durable des agro-écosystèmes**.



1.2. Les différents concepts de production

1.2.1. L'agriculture durable

L'**agriculture durable** (ou soutenable, en traduction de l'anglais *sustainable*) est l'application à l'agriculture des principes du développement durable ou soutenable tels que reconnus par la communauté internationale à Rio de Janeiro en juin 1992. Il s'agit d'un système de production agricole qui vise à assurer une **production pérenne** de nourriture, de bois et de fibres en respectant les limites écologiques, économiques et sociales qui assurent la maintenance dans le temps de cette production.

L'agriculture durable vise une amélioration dans la « soutenabilité » du système, en créant plus de richesses pérennes et d'emplois par unité de production, sur une base plus équitable et plus éthique. Ses principes sont basés sur la reconnaissance du fait que les ressources naturelles ne sont pas infinies et qu'elles doivent être utilisées de façon judicieuse pour garantir durablement la rentabilité économique, le bien-être social, et le respect de l'équilibre écologique (les trois piliers du développement durable).

L'agriculture durable ne conduit pas à la certification. À ce jour, en matière d'approche environnementale en agriculture, seules l'agriculture raisonnée et l'agriculture biologique font l'objet d'une réelle « reconnaissance » par les autorités.

1.2.2. L'agriculture raisonnée

L'**agriculture raisonnée** est un mode de production agricole qui vise à une meilleure prise en compte de l'environnement par les exploitants. Ce concept, généralement soutenu par les fabricants de pesticides et la grande distribution, s'appuie sur un « référentiel »³ qui intègre social, écologie, mais aussi économie (n'utiliser que la dose utile d'intrant, là et quand elle est utile). Ce type de référentiel est élaboré en concertation par les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement, le monde agricole (syndicats, organismes de développement, coopération, négoce), la transformation, la distribution et, seulement dans une faible mesure, par les associations environnementales et consoméristes. Il contient des exigences qui relèvent des domaines de l'environnement, de la maîtrise des risques sanitaires, de la santé et de la sécurité au travail et du bien-être des animaux. Un contrôle des exploitations et une certification (par des Organismes certificateurs indépendants – OCI) sont appliqués aux producteurs respectant les principes de l'agriculture raisonnée.

Le référentiel de l'agriculture raisonnée vise à renforcer les impacts positifs des pratiques agricoles sur l'environnement et à en réduire les effets négatifs, sans remettre en cause la rentabilité économique des exploitations. Les « enjeux environnementaux » des modes de production sont raisonnés dans le cadre d'une approche globale de l'exploitation. Sur

³ Référentiel de l'agriculture raisonnée, ministère de l'Agriculture et de la Pêche (France), 8 janvier 2002.

un territoire donné (petite région agricole, bassin versant...), les principaux enjeux doivent avoir été identifiés comme ce qui concerne :

- l'érosion ;
- l'inondation ;
- la pollution des eaux par les nitrates ;
- la pollution des eaux par les phosphates ;
- la pollution des eaux par les produits phytosanitaires ;
- la gestion quantitative des ressources en eau ;
- les nuisances olfactives ;
- la biodiversité ;
- les paysages.

Il prévoit d'analyser la situation de l'exploitation par rapport aux enjeux locaux, d'identifier et de cibler, le cas échéant, les pratiques à faire évoluer. Ce concept n'est donc qu'un vague engagement à respecter de « bonnes pratiques », sans aucun caractère contraignant et sans remettre en cause les méthodes de l'agriculture intensive. Les opposants à ce concept estiment en effet que sur les 97 exigences listées, 43 ne sont que le simple respect des exigences réglementaires (ex. : « *N'utiliser que des produits bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché* »).

1.2.3. L'agriculture biologique

L'agriculture biologique peut être considérée comme une des approches de l'agriculture durable, la différence étant qu'une production dite « biologique » implique une inspection et une certification attribuée aux produits en conformité avec le **Règlement (CE) 834/2007**⁴, dans lequel les principes de production et les règles spécifiques du contrôle sont décrits. Le règlement s'applique aux produits agricoles végétaux non transformés, ainsi qu'aux animaux d'élevage et aux produits animaux non transformés.

La règle essentielle de l'agriculture biologique est le respect des écosystèmes naturels. Elle vise à :

- préserver les équilibres naturels du sol et des plantes ;
- favoriser le recyclage ;
- rechercher l'équilibre en matières organiques ;
- choisir les espèces animales et végétales adaptées aux conditions naturelles ;
- respecter au mieux les paysages ainsi que les zones sauvages ;
- préserver la biodiversité.

L'**agriculture biologique** est par conséquent un système de production agricole spécifique, qui exclut l'usage d'engrais et de pesticides de synthèse et d'organismes génétiquement modifiés. L'Annexe II du règlement sur l'agriculture biologique détaille précisément quels amendements du sol, engrais ou produits phytosanitaires peuvent être utilisés et leurs strictes modalités d'application. Seules quelques substances d'origine

⁴ Règlement (CE) n° 834/2007 du Conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le Règlement (CEE) n° 2092/91, *JOUE* du 20 juillet 2007.

animale ou végétale (ex. : azadirachtine du neem, la cire d'abeille, les extraits de tabac, des huiles végétales...) ainsi que certains micro-organismes (Bt, virus de la granulose...) peuvent être appliqués. Les produits phytosanitaires minéraux (cuivre, soufre, bouillie sulfo-calciq) ne peuvent être pulvérisés sur les cultures que si le producteur peut attester de la nécessité de leur usage. Quant aux quelques molécules (ex. : pyréthrin, phéromones, spinosad...) qui figurent dans l'Annexe II, elles sont réservées au piégeage et à la destruction des ravageurs.

Les agriculteurs qui pratiquent ce type d'agriculture misent, par exemple, sur la rotation des cultures, l'engrais vert, le compostage, la **lutte biologique** ou le sarclage mécanique pour maintenir la productivité des sols et le contrôle des maladies et des parasites. Il s'agit d'un système qui gère de façon globale la production, en favorisant l'agro-écosystème, la biodiversité, les activités biologiques du sol et les cycles biologiques.

Le mode de production biologique étant reconnu comme mode particulier de production et de conditionnement, les produits issus de celle-ci peuvent être étiquetés de façon particulière. Plusieurs « labels » internationaux de reconnaissance pour ce type d'agriculture ont été définis, dont le **Label AB** en France. Les cahiers des charges du Label AB ne portent pas que sur la qualité des produits, mais aussi sur le respect de l'environnement.



Logo européen de l'agriculture biologique
Juillet 2010



Label AB

1.2.4. La production intégrée

Les concepts et les stratégies développées dans le cadre de l'agriculture durable ont évolué vers le concept intégré de « **gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols** ».

Le terme de « **production intégrée** » (ou *Integrated Crop Management – ICM*) dérive directement des concepts de « **lutte intégrée** » de l'OILB (Organisation internationale de lutte biologique et intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles). Il s'agit d'une conception touchant non seulement à la protection des plantes, mais aussi à **l'ensemble des pratiques culturales**.

La production intégrée ne possède **pas de cahier des charges** officiel, à la différence de l'agriculture biologique.

La production intégrée diffère de l'agriculture raisonnée, fondée sur la seule optimisation des méthodes classiques de production. En agriculture raisonnée, les agriculteurs ne traitent que s'il le faut, au bon moment et avec une dose adaptée. En production intégrée,

l'utilisation de techniques alternatives, comme la lutte biologique ou l'utilisation de zones de compensation écologique, est recherchée, car ces méthodes peuvent être tout aussi efficaces d'un point de vue agronomique et plus respectueuses de l'environnement. La production intégrée se distingue aussi de l'agriculture biologique, car elle n'abandonne pas les méthodes chimiques lorsqu'elles ne posent pas de problèmes scientifiquement démontrés pour la sécurité alimentaire et pour l'environnement. Comme son nom l'indique, la production intégrée « intègre » tous ces éléments. On applique ce qui est le mieux pour l'environnement, le consommateur et le producteur.

La production intégrée permet aux producteurs :

- de **gérer et rentabiliser** leurs cultures par une gestion intégrée des ravageurs, en considérant l'environnement comme un allié ;
- d'inciter à une **gestion plus rigoureuse** de l'entreprise et à faire des choix plus judicieux parmi les moyens de lutte, afin de rationaliser, réduire et remplacer les pesticides et ainsi diminuer leurs risques ;
- de devenir un **élément indispensable de mise en marché** en favorisant le positionnement des produits.



1.3. Étapes vers une production intégrée

1.3.1. Développer des techniques culturales et phytosanitaires plus respectueuses de l'environnement

Différentes actions peuvent être mises en place par les producteurs pour améliorer leurs pratiques dans le sens d'une production intégrée.

1) Raisonner la fertilisation et la protection phytosanitaire, ce qui suppose :

- une bonne connaissance de la parcelle, de la variété cultivée, des besoins de la plante aux différents stades de la culture et des risques phytosanitaires encourus (compte tenu des précédents culturaux, des cultures voisines, des abords, des produits utilisés et de la région) ;
- l'existence de données de référence (besoins en eau, besoins en éléments minéraux, description de méthodes efficaces de protection phytosanitaire) ;
- des outils fiables d'aide à la décision d'intervention (irrigation, fertilisation, traitements phytosanitaires) basés sur :
 - des observations simples et régulières sur les plantes et dans la parcelle, la connaissance des conditions de développement des maladies, ravageurs et agents biologiques introduits ou naturels et l'utilisation de modèles de développement de ces maladies et parasites ;
 - des systèmes de monitoring (ex. : piégeage) et d'avertissement ;
 - des analyses rapides pour le diagnostic (kits de détection des maladies, analyses de sol, foliaires, d'eau, des solutions nutritives, du substrat...) ;
- l'utilisation d'un matériel d'application bien réglé et bien entretenu.

2) Maîtriser et réduire les intrants, les résidus, les effluents, en utilisant et en gérant au mieux :

- les possibilités offertes par la génétique (variétés et porte-greffes tolérants ou résistants) ;
- la protection de la biodiversité et l'introduction d'agents auxiliaires ;
- le dosage précis des produits phytosanitaires ou de désinfection (calcul des doses, calibrage et contrôle des appareils, formation aux techniques d'application) ;
- les apports d'irrigation et de fertilisation en fonction des besoins de la culture ;
- les possibilités de traitements localisés (utilisation d'appâts et de pièges, traitements localisés sur quelques arbres dans les vergers, granulés appliqués par poquet, semences enrobées, traitement de désherbage ou de désinfection localisés sur les bandes de semis ou de plantation, etc.) ;
- l'utilisation de techniques culturales (taille, pose de toiles étanches aux insectes, effeuillage, hersage, faux semis...) limitant adventices, ravageurs ou maladies ;
- les effluents liquides (ex. : fonds de cuve) et solides (ex. : emballages).

3) Valoriser ou traiter les résidus de culture, les écarts de tri, les déchets et effluents :

- enfouir rapidement les déchets ou restes de cultures, avant qu'ils ne deviennent des foyers de ravageurs ou maladies, ou tenter de les valoriser (ex. : compostage) ;
- réutiliser au mieux les écarts de tri (alimentation animale, biomasse, recherche de nouveaux marchés) ;
- valoriser ou éliminer de façon raisonnée les écarts non comestibles et les déchets de culture des pépinières sans polluer les sols ou nappes phréatiques (compostage, incorporation au sol) ;
- recycler les solutions nutritives utilisées en irrigation ;
- éviter l'emploi de plastique (paillages, couvertures, bidons...) en employant des matériaux naturels, plus facilement dégradables ou recyclables ;
- favoriser les emballages facilement destructibles, recyclables (bois, papiers, cartons).

4) S'orienter vers une agriculture durable :

- reconstituer un parcellaire limitant les effets néfastes des éléments (érosion, vent et pluie), en orientant les parcelles et en installant des haies, brise-vent, fossés, barrières anti-érosion, bassins de rétention, canaux, dispositifs enherbés... ;
- améliorer la structure du sol par de bonnes pratiques et des techniques aratoires appropriées : amendements favorables au rééquilibrage de la flore et de la faune des sols, chaulage, rotation, type de travail du sol... ;
- employer en priorité des moyens de lutte naturels (solarisation, apports d'antagonistes, filets, piégeage, etc.) et introduire dans la rotation des plantes pièges, des plantes antagonistes (ex. : tagètes) ou des plantes non hôtes des parasites (ex. : céréales dans les cultures maraîchères) pour éviter l'infestation du sol et la nécessité de le traiter ;
- adopter, compte tenu des contraintes économiques, des rotations, des pratiques culturales et phytosanitaires ne favorisant pas le développement, la résurgence ou la résistance des maladies, ravageurs et adventices.

1.3.2. Mettre en place une gestion intégrée des adventices, maladies et ravageurs

En production intégrée, la lutte phytosanitaire repose sur une **gestion « intégrée » des ennemis des cultures** (*Integrated Pest Management* ou IPM). La transition des producteurs, habituellement organisés pour la lutte chimique, vers cette approche agro-environnementale des méthodes de lutte doit se faire en plusieurs étapes.

Le temps consacré par le producteur à **l'analyse de ses pratiques** et à **l'évaluation de son site de production** permet un succès à long terme de cette conversion. Pour fonder ses décisions, il faudra en effet qu'il soit capable de correctement évaluer les risques phytosanitaires en fonction du stade de la culture et de la variété, les conditions environnementales de ses cultures, l'abondance des organismes nuisibles et utiles dans les parcelles et aux alentours, l'impact de ses pratiques culturales et phytosanitaires sur le développement des ennemis des cultures et celui des auxiliaires.

Le tableau suivant reprend les **grandes étapes** de la mise en place de la gestion intégrée des maladies et ravageurs dans le cadre plus général d'une production intégrée.

Pratiques agro-environnementales	Actions à mettre en place lors de la :		
	Première étape	Seconde étape	Troisième étape
Étude du site et des conditions environnementales	Identification des risques environnementaux (érosion, pollution des eaux...)	Aménagement parcellaire (disposition des parcelles, plantation de haies, mise en place de dispositifs enherbés...)	Adaptation de l'écosystème : utilisation de moyens visant à rendre l'écosystème favorable aux organismes utiles et aux cultures, mais difficile à vivre pour les ennemis des cultures
Analyse des pratiques culturales	Identification des pratiques à risque pour l'environnement	Adoption de pratiques culturales favorables pour l'environnement (sens du labour, semis direct, fractionnement des apports azotés...)	
Suivi des champs et évaluation de la situation générale	Visite des champs et diagnostic des parasites observés (1-2 fois/semaine)	Suivi permanent des champs et monitoring des ravageurs selon des techniques reconnues pour chacune des cultures	
Identification des ennemis et de leurs auxiliaires	Identification précise des ravageurs	Identification des ravageurs et de leurs auxiliaires	Identification des auxiliaires et des ravageurs primaires et secondaires
Utilisation de seuils d'intervention	Utilisation d'un pesticide ou de tout autre moyen de lutte		
	Au bon moment (pas de seuil)	Au bon moment et justifié par l'emploi de seuils d'intervention	
Intégration de diverses méthodes de lutte	Peu souvent	Souvent	Presque toujours
	Utilisation de pesticides de synthèse principalement	Utilisation de pesticides de synthèse et de moyens alternatifs	Utilisation de moyens alternatifs principalement
Gestion des pesticides	Choix approprié des pesticides appliqués. Respect des doses et du DAR. Tenue d'un registre	Rotation des familles chimiques (selon mode d'action des pesticides). Restriction d'usage	Choix de pesticides sélectifs pour les auxiliaires et respect de certaines périodes d'application
	Calibrage et réglage des appareils	Emploi de techniques d'application des pesticides visant la réduction des quantités et l'optimisation du traitement	
	Entreposage dans un endroit réservé à cette fin, fermé à clé.	Adoption de mesures d'hygiène. Maintien des stocks de pesticides au minimum	
	Application dans des conditions météorologiques favorables	Emploi de buses permettant de réduire la dérive des pesticides	
	Port des EPI appropriés (selon la toxicité et les travaux effectués)		

	Triple rinçage et élimination des contenants de pesticides de façon sécurisée et respectueuse de l'environnement
Formation	Reconnaissance des ennemis et des auxiliaires. Formations sur les BPP et les BPA. Formation sur l'hygiène personnelle.





Chapitre 2

Principes de lutte biologique et de lutte intégrée

La lutte biologique.....	15
Principes de la lutte intégrée.....	21
Mesures de gestion des maladies et ravageurs à intégrer.....	30
Les produits de biocontrôle	40
Méthodes de lutte alternatives aux produits chimiques	53
Annexes : Définitions et préparations diverses	58



2.1. La lutte biologique

2.1.1. Définition

La protection des cultures contre les organismes nuisibles a eu recours à diverses méthodes culturales et biologiques 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**.

Définition de l'OILB : « utilisation d'**organismes vivants** (à la différence du "biopesticide", 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 ».

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 parasitaires.

2.1.2. Principes et stratégies de mise en œuvre

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 régulation sont généralement devenus insuffisamment efficaces ou actifs** pour faire face à eux seuls aux situations de pullulation des ravageurs.

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**.

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 sur les derniers stades larvaires 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 à la suite d'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 (« **effet boomerang** »).

Les **stratégies d'intervention** présentent des formes diverses, mais complémentaires :

❑ **La 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 refuges 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.

❑ **L'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.

□ L'amplification du rôle des 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 :

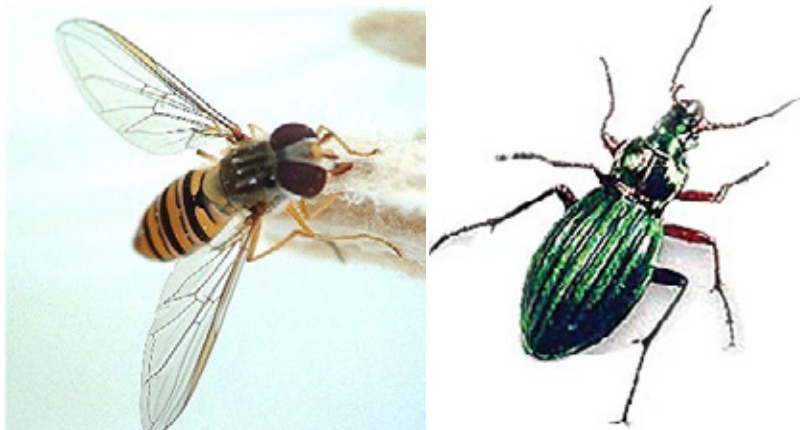
- les élevages, puis la distribution de **coccinelles** pour limiter l'extension d'une cochenille qui envahissait les citronniers ;
- les opérations de lâchers d'un hyménoptère pour combattre la mouche de l'olive ;
- les **trichogrammes** utilisés contre la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis*. L'avantage 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 parasites par hectare. Pour leur épandage en culture, les trichogrammes sont présentés sous la forme d'œufs parasités d'*Ephesttia kuehniella* (teigne de la farine), conditionnés dans de petites capsules en carton, biodégradables, paraffinées et 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.

La mise à disposition des praticiens d'organismes auxiliaires multipliables en masse leur donne la possibilité de recourir à la lutte biologique dans les cultures annuelles, milieu généralement peu favorable à l'expression des auxiliaires indigènes et à l'acclimatation des auxiliaires exotiques.

2.1.3. Quels organismes auxiliaires ?

Sous le terme d'« **auxiliaires** », on peut trouver des organismes vivants très différents en raison des rôles de diverses natures qu'ils peuvent jouer au sein d'une même niche écologique. Les 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, voire même poissons herbivores pour limiter le développement de la jacinthe d'eau qui, en Afrique, a envahi de nombreux cours d'eau. Les phytopathologistes travaillent sur des micro-organismes compétiteurs qui empêchent l'implantation et la prolifération des espèces phytopathogènes (ex. : levures colonisant la surface des pommes destinées au stockage, qui empêchent le développement du *Penicillium expansum*). Les entomologistes exploitent surtout la diversité des prédateurs et parasites (**insectes et acariens**, voir tableaux ci-dessous).




Insectes auxiliaires (parties aériennes ou au sol) : le syrphe et le carabe

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**, par exemple, même si cette règle connaît des exceptions de taille comme celle des coccinelles (prédatrices, mais la plupart des espèces ne mangent que les pucerons).

Arthropodes utilisables en lutte biologique	
Insectes prédateurs	
<p><i>Coleoptera</i></p> <p><i>Coccinellidae</i></p> <p><i>Staphylinidae</i></p> <p><i>Carabidae</i></p> <p><i>Heteroptera</i></p> <p><i>Anthocoridae</i></p> <p><i>Miridae</i></p> <p><i>Nabidae</i></p> <p><i>Nevroptera</i></p> <p><i>Chrysopidae</i></p> <p><i>Hemerobidae</i></p> <p><i>Cogniopterygidae</i></p> <p><i>Diptera</i></p> <p><i>Syrphidae</i></p> <p><i>Chamaemyiidae</i></p> <p><i>Cecidomyiidae</i></p>	<p><i>Coccinella, Adalia, Adonia, Propylea, Harmonia, Scymnus, Chilocorus, Stethorus Oligota, Tachyporus, Staphylinus Agonum, Harpalus, Bembidion, Poecilus, Platisma</i></p> <p><i>Orius, Anthocoris Deraeocoris, Phytocoris, Malacocoris, Pilophorus, Campyloma, Heterotoma, Atractotomus Himacerus, Nabis</i></p> <p><i>Chrysopa Hemerobius, Micromus Conwentzia</i></p> <p><i>Syrphus, Episyrphus, Epistrophe, Scaeva Leucopsis Aphidoletes</i></p>

Insectes parasitoïdes	
<p><i>Diptera</i> Tachinidae</p> <p><i>Hymenoptera</i> Ichneumonidae Brachonidae Aphidiidae Trichogrammatidae Encyrtidae Aphelinidae Pteromalidae Eulophidae</p>	<p><i>Pales, Agria, Phryxe</i></p> <p><i>Itoplectis, Ephialtes</i> <i>Macrocentrus, Apanteles</i> <i>Aphidius, Trioxys, Praon</i> <i>Trichogramma</i> <i>Encyrtus, Ageniaspis</i> <i>Aphelinus, Encarsia, Aphitis</i> <i>Eupteromalus, Asaphes</i> <i>Eulophus, Tetrastichus</i></p>
Acariens	
<p><i>Gamasida</i> Phytoseiidae</p> <p><i>Actinedida</i> Anystidae Stigmaeidae Trombidiidae</p>	<p><i>Typhlodromus, Amblyseius, Phytoseiulus,</i> <i>Neoseiulus</i></p> <p><i>Anystis</i> <i>Zetzellia</i> <i>Trombidium, Allothrombium</i></p>

Quelques exemples d'application de la lutte biologique	
	<p>Le parasitoïde <i>Trichogramma spp.</i></p> <p>Le parasitoïde <i>Trichogramma spp.</i> est utilisé sur 52 ha de cultures cotonnières dans la province de Gorgan au nord de l'Iran pour lutter contre les ravageurs du coton avec un résultat apparemment meilleur qu'avec les pesticides traditionnels.</p>



**L'utilisation d'un acarien prédateur
(*Amblyseius degenerans*) contre les thrips**

L'*Amblyseius degenerans* est un acarien prédateur qui pique ses proies et en suce le contenu. Il s'établit volontiers dans les fleurs en se nourrissant de pollen en l'absence de ses proies. Il est livré dans un tube contenant de la vermiculite et peut être appliqué préventivement contre les thrips dans les fleurs.



**Lutte biologique en manioc contre l'acarien
*Mononychellus tanajoa***

Lutte biologique contre l'acarien *Mononychellus tanajoa* par des acariens prédateurs (*Typhlodromus aripo*) dans 18 pays d'Afrique producteurs de manioc : diminution de 60 % des populations d'acariens ravageurs.



2.2. Principes de la lutte intégrée

2.2.1. Définitions

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 socio-économique 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. : *CropLife*), 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*).

Définition selon la réglementation européenne

La **lutte intégrée** est l'application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, biotechnologiques, chimiques, physiques, culturelles ou intéressant la sélection des végétaux, dans laquelle l'emploi des produits phytopharmaceutiques est limité au strict nécessaire pour maintenir la présence des organismes nuisibles en dessous du seuil à partir duquel apparaissent des dommages ou une perte économiquement inacceptables.

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).

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 « résidus »**.

La lutte intégrée a conduit par extension au principe de « **Production intégrée** », qui se caractérise par la mise en œuvre de pratiques agricoles menant à des aliments de qualité, en privilégiant les moyens naturels et en utilisant des mécanismes régulateurs pour remplacer les apports d'intrants polluants, et pour assurer une production agricole durable (grâce à la préservation de la fertilité des sols ainsi qu'à la conservation des qualités et de la diversité du milieu) tout en respectant les exigences économiques de rentabilité.

Le « Code de Bonnes Pratiques Agricoles » est un allié essentiel de la lutte intégrée. Selon la législation européenne, chaque État membre doit établir un code qui sera approuvé par la Commission européenne. Il contient un ensemble d'informations, de données techniques et de recommandations afin d'aider les agriculteurs à mieux préserver l'environnement.

2.2.2. Programme de mise en œuvre

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 issues d'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.

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.

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 réglementaires¹) ;
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. **combinaison des méthodes** de lutte (préventives ou curatives) dans un système intégré de défense des cultures ;
6. **évaluer les actions** mises en œuvre quant à leur adéquation, à leurs conséquences pour l'homme et le milieu, et quant à leur efficacité.

2.2.3. Les 16 « Principes de base » d'une stratégie de lutte intégrée²

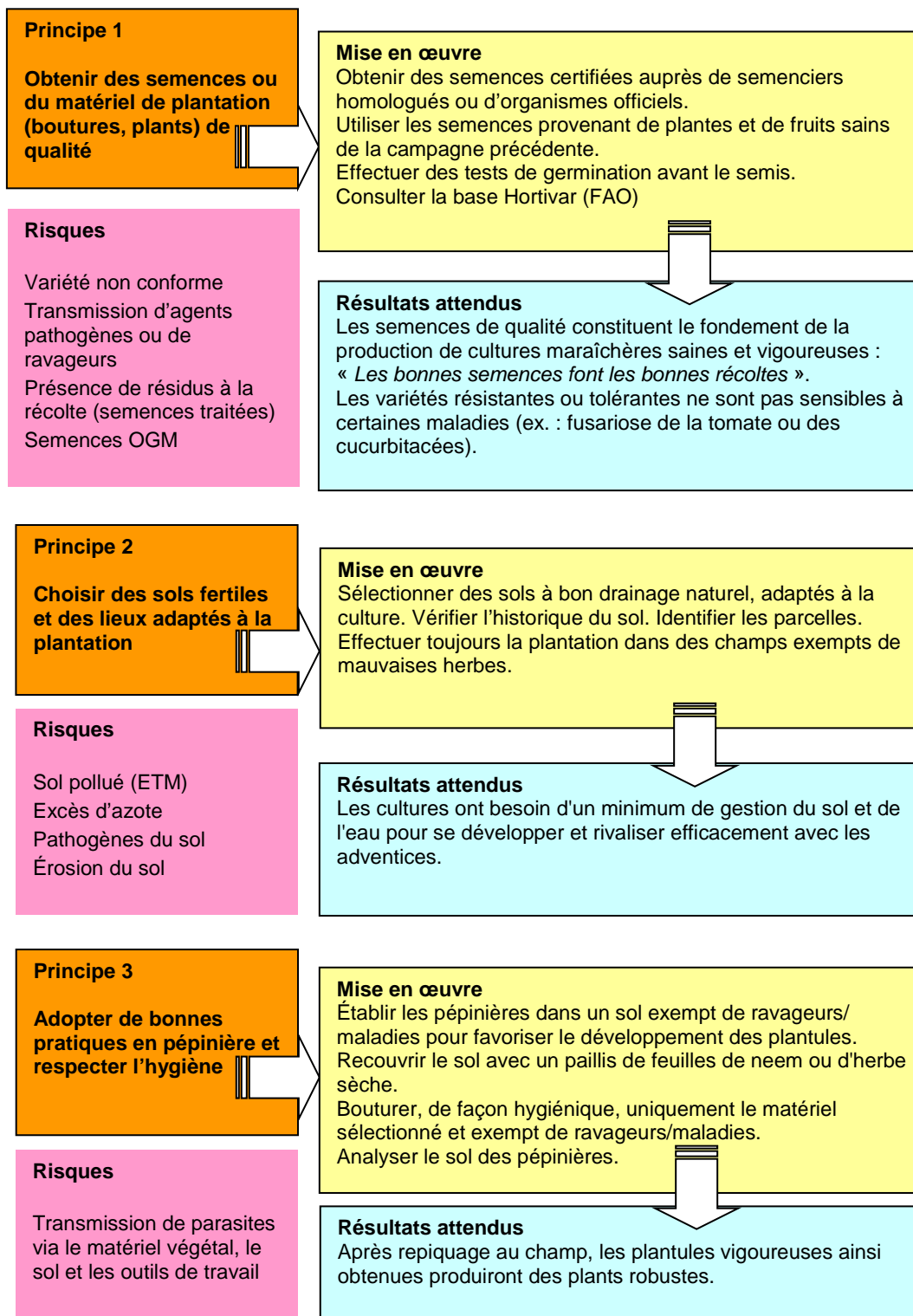
Ces principes de base ne concernent pas uniquement la gestion des adventices, des maladies et des ravageurs, mais aussi **l'ensemble des facteurs du milieu** qui influencent le développement des cultures. L'obtention de matériel de propagation sain et de cultures saines est le fondement de toute stratégie de lutte intégrée. L'adoption de ces 16 principes par le producteur lui permettra :

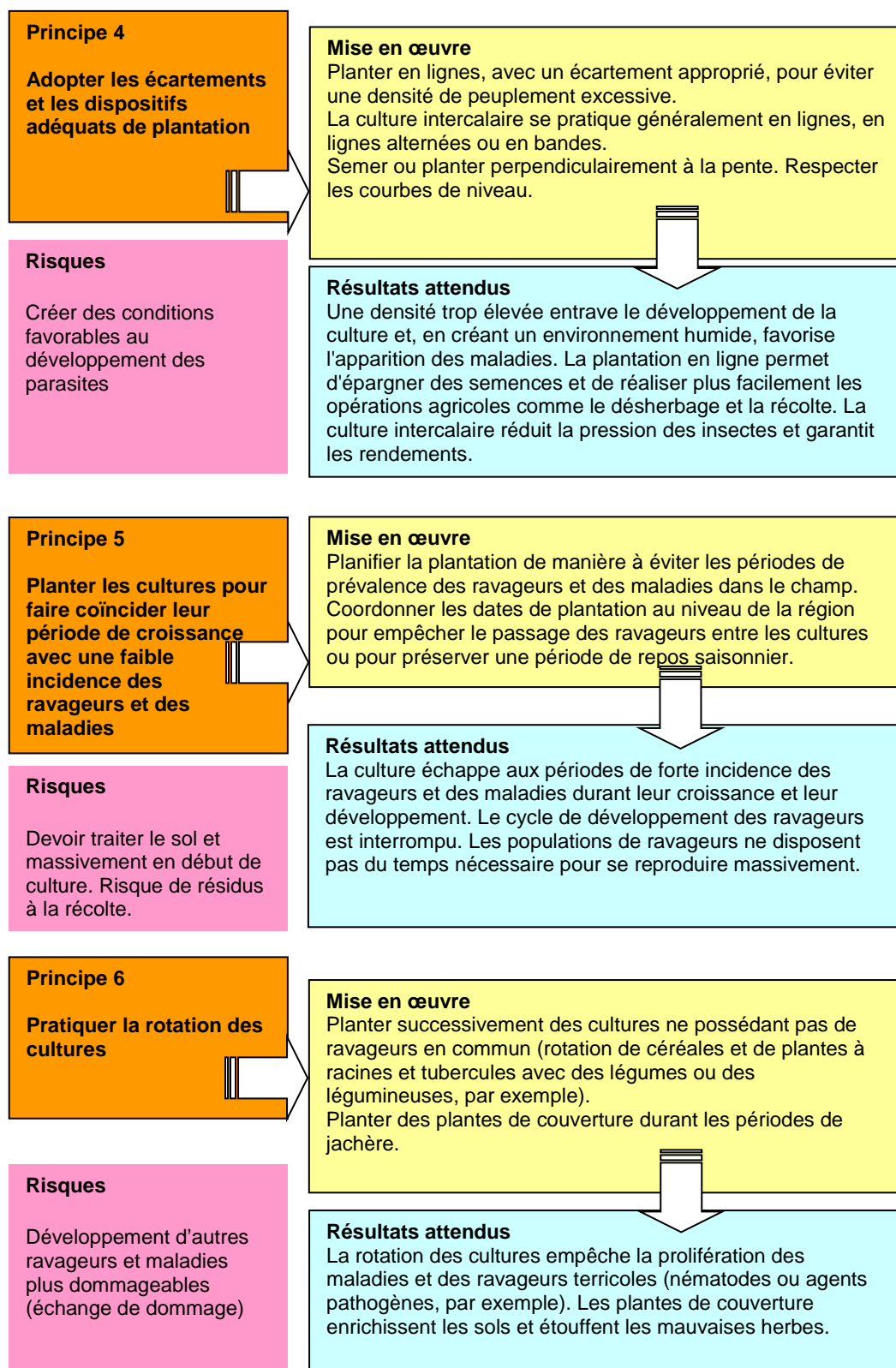
- de protéger efficacement sa culture et sa récolte ;
- de respecter plus facilement les normes de qualité sanitaire et phytosanitaire, notamment les limites maximales applicables aux résidus de pesticides (LMR) ;
- d'améliorer son revenu/ha en diminuant le recours aux intrants (engrais et pesticides).

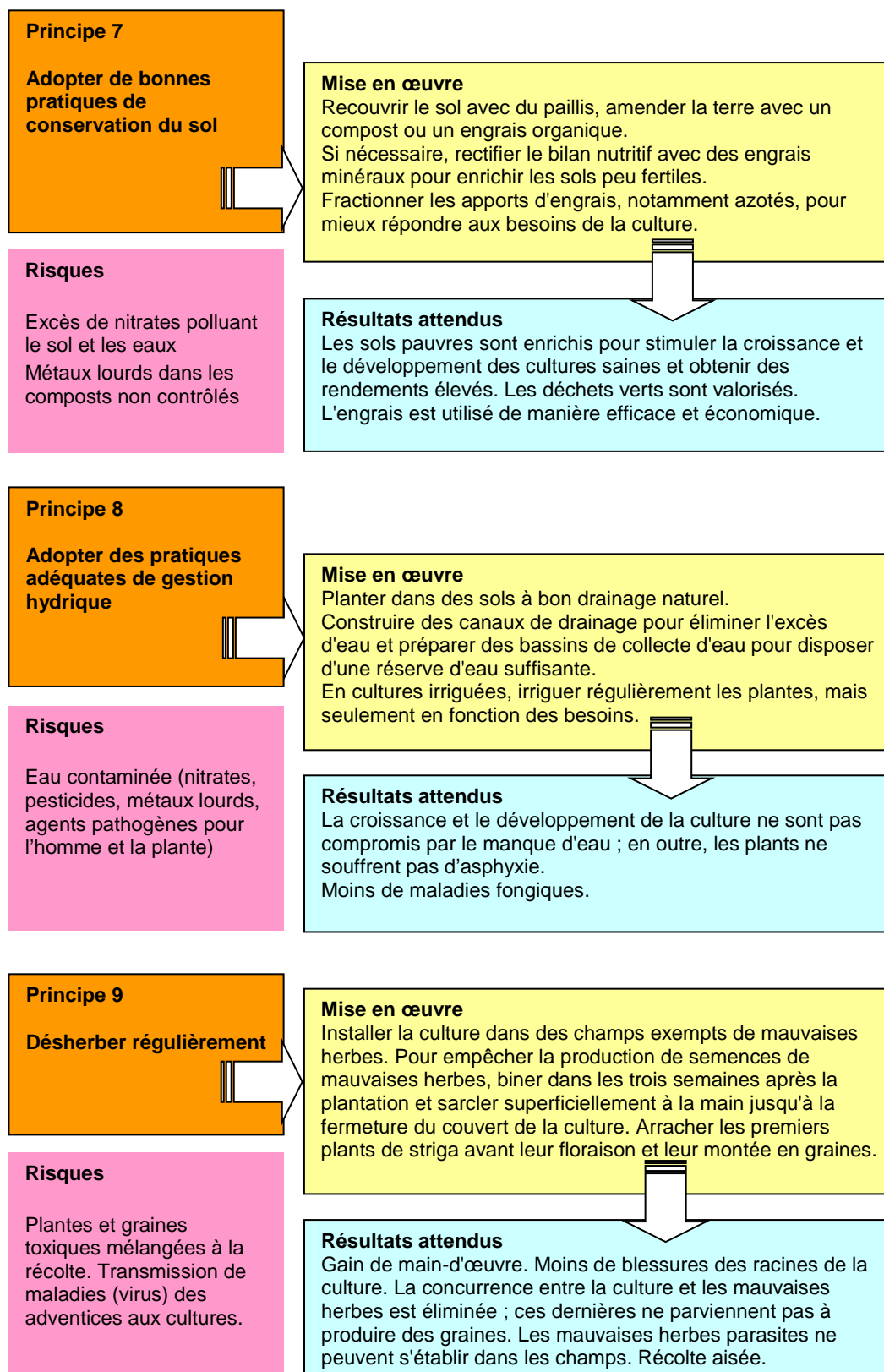
La bonne gestion sanitaire des cultures implique l'adoption des 16 principes fondamentaux qui suivent.

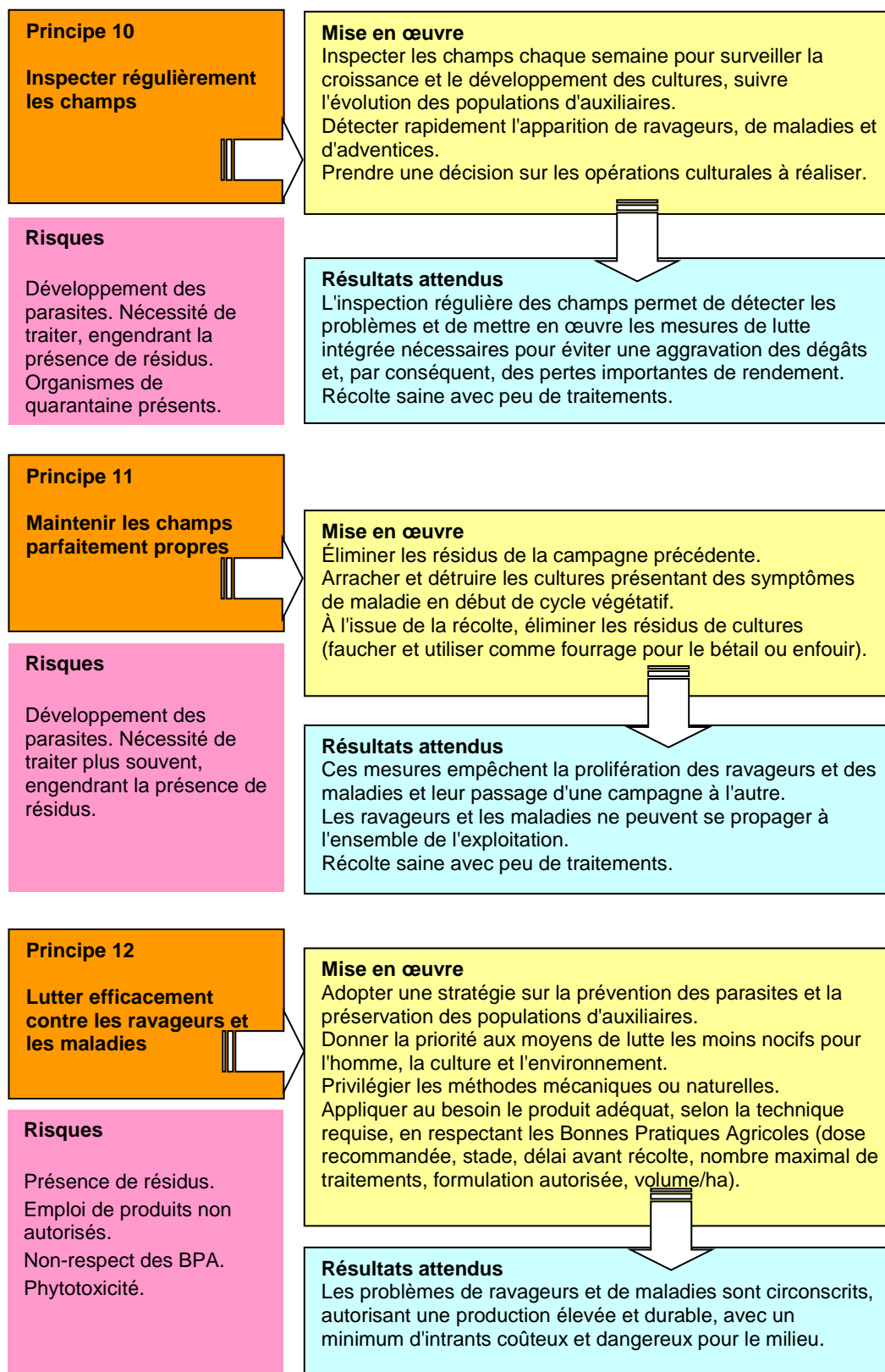
¹ Le niveau de « tolérance » d'infestation peut être **égal à zéro** quand il s'agit d'un organisme de quarantaine et que les produits récoltés doivent être exportés.

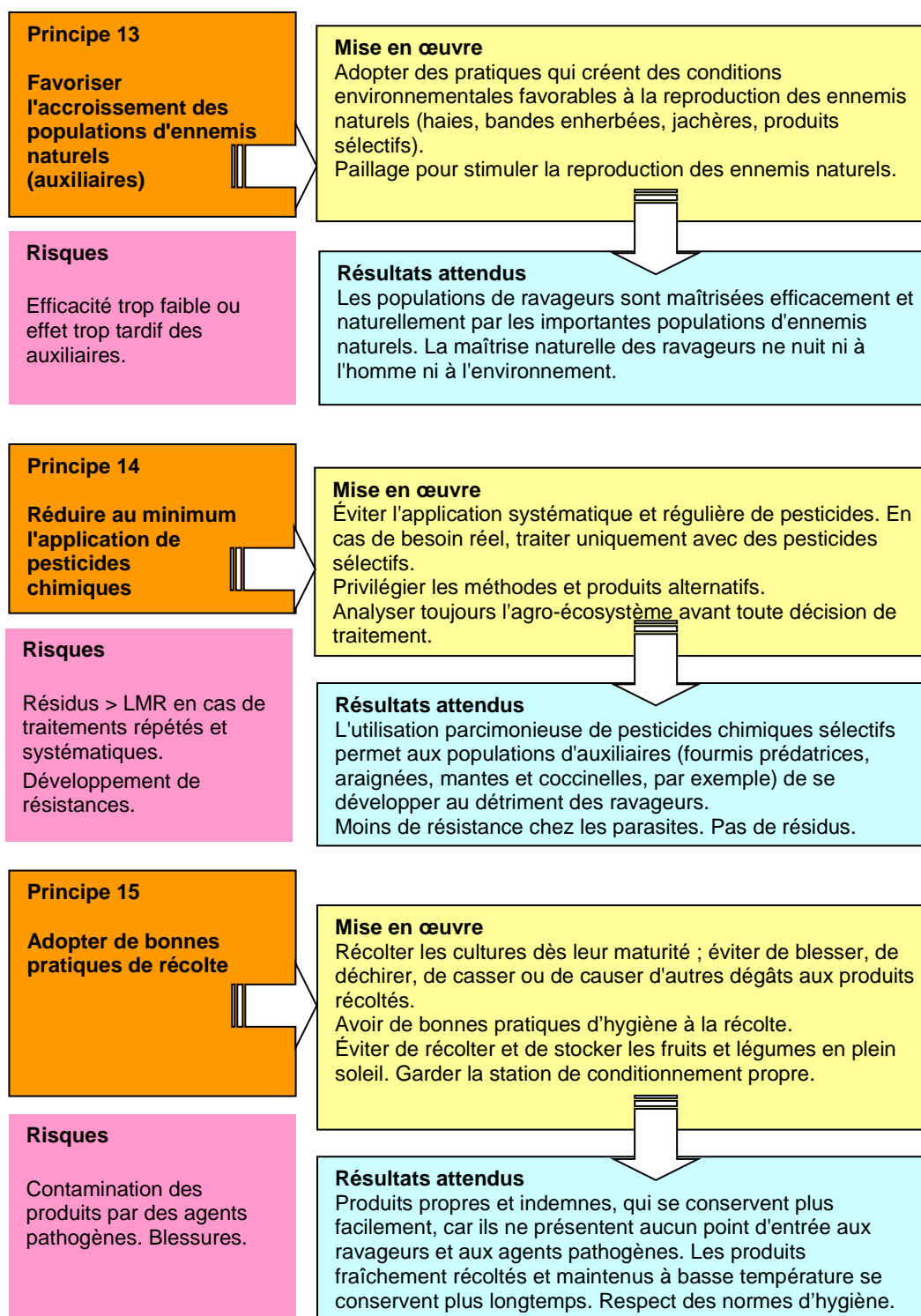
² Adapté de A. Youdeowei, *Guide 1 - Principes de la lutte intégrée : l'obtention de cultures saines*, Wageningen, CTA, 2004.

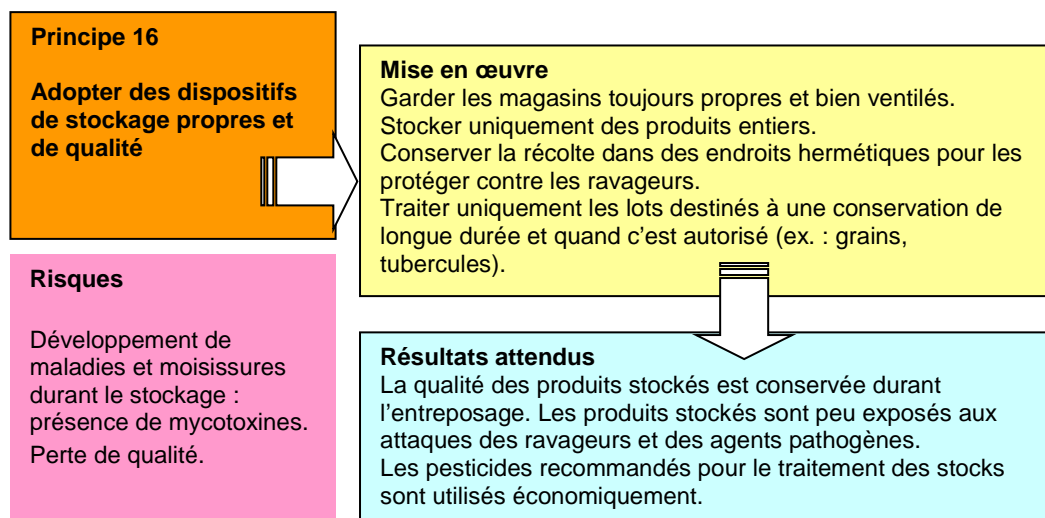












2.3. Mesures de gestion des maladies et ravageurs à intégrer

La FAO identifie clairement la lutte intégrée comme un système de gestion des populations d'organismes nuisibles, en fonction de critères économiques, par l'intégration, et non la juxtaposition, de toutes les techniques reconnues comme « facteurs de régulation » (mesures préventives d'abord, interventions ensuite).

La « protection intégrée » ne repose plus sur un concept de lutte, mais adopte celui de **gestion de populations** nuisibles et utiles. Elle suppose que des **mesures préventives** aient été prises en temps et lieux opportuns pour réduire l'importance des risques phytosanitaires encourus. Elle nécessite l'intégration de moyens cultureux, génétiques, biologiques et biotechniques. L'expérience a montré que le succès d'une telle intégration implique l'adoption d'une **position déterminée de la part du producteur** quant à la **priorité** à accorder aux moyens biologiques de lutte.

2.3.1. Mesures prophylactiques

La sélection de mesures préventives postule la connaissance préalable des phénomènes parasitaires dans leur contexte écologique.

Utiliser des semences, plants, rejets ou tubercules sains

Pour de très nombreuses cultures, les **semences** sont utilisées comme matériel de propagation. Elles peuvent être contaminées (intérieurement comme extérieurement) par des champignons, bactéries, virus ou nématodes. Ces parasites vont se développer avec la germination et la croissance des végétaux. Le producteur doit donc veiller à n'utiliser que des semences d'origine connue et certifiées (produites dans de bonnes conditions d'hygiène, avec une surveillance constante et un examen phytosanitaire avant délivrance). Les semences certifiées **produites par organisme officiel** ont aussi l'avantage de garantir le respect de la variété et de ses caractéristiques (garantie d'absence de semences de plantes OGM !), de mieux germer et d'offrir un meilleur potentiel de production. Les semences peuvent être désinfectées, par fumigation ou par enrobage. Elles sont aussi souvent traitées contre les champignons pathogènes du sol responsable de la « fonte des semis », contre certains insectes du sol (vers blancs, taupins...) ou même des parties aériennes (pucerons, cécidomyie).





Semences traitées contre le ver blanc

Pour un petit nombre de cultures, ce n'est pas la graine qui est le point de départ, mais **des parties de la plante cultivée** (multiplication végétative). Par exemple, la pomme de terre est cultivée à partir de tubercules, la banane à partir de rejets et le manioc à partir de boutures. Avec ce type de reproduction, **certaines ravageurs et maladies** peuvent se développer au cours de la première saison et se transmettre à la culture qui suit.

Par exemple, si l'on utilise pour la production ou la multiplication des pommes de terre des tubercules de plantes infectées par le *Potato Leaf Roll Virus* (PLRV), les nouveaux plants seront aussi infectés. Comme deuxième exemple, on peut citer le cas du manioc où la mosaïque africaine du manioc est transmise par les boutures ; de même, la cochenille farineuse du manioc peut passer à la nouvelle culture par des boutures infestées. Pour éviter cette transmission, il est recommandé d'utiliser toujours des boutures, plants, rejets, tubercules sains pour la reproduction.

Le producteur doit régulièrement inspecter ses plantes, spécialement dans les **pépinières**. Il peut marquer celles qui ne présentent pas de symptômes de maladies ou ne sont pas attaquées par certains insectes (par exemple, cochenilles) et qui pourront être utilisées pour la culture.

Il peut aussi en fin de saison marquer dans ses champs, avec un ruban en plastique qu'il attache à la plante ou bien encore avec un piquet, les plantes et arbres sains à utiliser pour la production de l'année suivante (sur lesquels il peut, par exemple, prélever des graines³, des boutures ou des rejets). Si toutes les plantes sont infestées, on ne peut pas les utiliser pour la reproduction. Il vaut mieux se procurer des boutures ou des tubercules sains provenant d'un autre endroit, ou mieux d'un organisme officiel de production de semences et/ou de plants certifiés.

☐ Mettre en place une rotation raisonnée des cultures

La diversification des cultures consiste à pratiquer plusieurs types de culture afin de réduire le risque de perte totale de la récolte. Elle peut très bien se combiner avec la pratique de la rotation. La **rotation des cultures** limite le développement des maladies, des ravageurs, mais également des adventices, car elle permet de briser le cycle de développement des nuisibles.

A contrario, la succession année après année d'une culture sensible sur une même parcelle favorise les parasites. Il est donc préférable de pratiquer, quand c'est possible, l'alternance des cultures par des rotations, car :

³ Sauf pour les variétés hybrides.

- les maladies et ravageurs sont plus ou moins étroitement inféodés à une culture, mais peuvent être sans effet sur des plantes de famille différente, même si l'inoculum est présent ;
- l'alternance de cycles culturels variés (préparation du sol, semis, récolte, enfouissement des résidus à des dates différentes d'une année sur l'autre) évite la sélection et la multiplication d'un type d'adventices, particulièrement les annuelles ;
- l'introduction d'engrais verts dans les rotations permet de préserver la fertilité des sols : par exemple, engrais verts d'été de sorgho en maraîchage sous abri.

Sans rotation des cultures, on peut, par exemple, rencontrer des problèmes avec les **nématodes**. Ainsi, les nématodes (*Meloidogyne* sp.) se développent bien dans le sol des cultures de tomates et restent sur les racines après la récolte. Si l'année suivante on cultive de nouveau la tomate, les nématodes, qui ont généralement un pouvoir de multiplication élevé, peuvent devenir un problème très grave. On a le même problème si, après la tomate, on cultive une plante sensible au *Meloidogyne* (par exemple, le gombo). En revanche, si on la remplace par une plante qui n'est pas attaquée par les *Meloidogyne*, les populations de nématodes vont diminuer (ex. : la culture de sorgho ou des céréales, succédant à la tomate, entraînent une réduction des populations de *Meloidogyne* dans le sol).

Il existe donc dans la rotation des « **précédents culturels** » favorables ou défavorables (la valeur du précédent n'est cependant pas considérée seulement sous l'angle phytosanitaire : l'effet sur la structure du sol, sur le prélèvement des éléments nutritifs, sur le taux de matière organique... est également à prendre en compte au moment du choix).

Ainsi, dans le **cas du haricot vert**, certains précédents sont à éviter (voir Tableau ci-dessous) comme les productions fournissant une masse importante de résidus végétaux ou le maïs si la présence de résidus de l'herbicide atrazine, toxique vis-à-vis du haricot ou encore d'une autre légumineuse comme le pois, est possible. Une rotation assez longue est recommandée, ou à défaut une jachère prolongée, pour des raisons phytosanitaires et notamment pour éviter les fontes des semis dues à *Rhizoctonia solani*

Exemple de précédents pour la culture du haricot vert		
Précédents déconseillés	Précédents non favorables	Précédents conseillés
Haricot, pois Pomme de terre Jaxatu, aubergine Melon, concombre, Courgette, pastèque Laitue Gombo	Arachide Piment, céleri, laitue Carotte Oignon, ail, échalote	Céréales dont les résidus ne sont pas enfouis (maïs, sorgho, mil) Choux, navet Bissap Betterave Manioc Patate douce Fraisier

Les « **Itinéraires techniques du COLEACP** » reprennent en tableaux pour chaque culture l'effet des précédents culturaux et conseillent le producteur quant à son choix..., mais la décision du producteur est aussi basée sur des considérations économiques !

2.3.2. Choix d'espèces ou de porte-greffe résistants

L'emploi d'espèces et/ou de **variétés résistantes** ou tolérantes : en maraîchage, il existe de plus en plus de variétés résistantes ou tolérantes aux maladies variétés de laitues résistantes au bremia, variétés de melons résistants aux pucerons, à l'oïdium, à la fusariose, etc.

Les espèces sauvages des plantes et les cultivars primitifs ont été très largement exploités pour leur **richesse en gènes de résistance**. On peut citer comme exemples : la carotte sauvage *Daucus capillifolius*, utilisée pour introduire dans les lignées cultivées la résistance à la mouche de la carotte ; ou encore, la résistance au nématode à galles *Meloidogyne arenaria* chez la tomate (*Lycopersicon esculatum*) introduite à partir de l'espèce sauvage *L. hirsutum*. **Ceci explique l'importance capitale de préserver la biodiversité et les espèces sauvages**, véritables « banques de gènes » à protéger !

Les résistances de type « monogéniques » (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. Par ailleurs, il a pu être démontré que le niveau de résistance est parfois lié à la pression parasitaire (ex. : mouche de la carotte, mouche du chou...), les sélectionneurs ne disposant pas dans la plupart des cas de résistance totale, mais de résistance partielle. Cela est d'autant plus vrai que les mécanismes en cause dans l'acquisition des résistances sont divers (ex. : pour l'oignon, la résistance au *Thrips tabaci* est acquise par une modification du port des feuilles).

L'utilisation de variétés ayant une **résistance partielle** aux insectes ravageurs obligera donc les producteurs à mettre en place une stratégie de protection qui tient compte des zones à plus forts risques et de la biologie du ravageur.

Le greffage permet de lutter contre des parasites du sol en greffant une variété cultivée sensible sur une **variété porte-greffe résistante** : greffage des aubergines sur tomate, des courgettes sur courge contre les champignons du sol, porte-greffe résistants contre les nématodes des tomates, concombres, pastèques ou aubergines ; etc. Pratiquée sur plusieurs espèces de cucurbitacées et de solanacées, cette technique permet de disposer de racines présentant un bon niveau de résistance contre certaines maladies et/ou parasites du sol. Après un certain abandon, le greffage connaît un regain d'intérêt, en particulier pour le melon, la tomate et l'aubergine.

Les caractéristiques des cultivars et des porte-greffes utilisables dans les pays ACP sont reprises sur le **site Hortivar de la FAO** (consulter le site Web du Projet Hortivar www.fao.org/hortivar) et **dans les catalogues** commerciaux des variétés.

Hortivar est une base de données de la FAO sur les **performances et la résistance des variétés horticoles** en relation avec les conditions agro-écologiques, les pratiques culturales, l'occurrence des parasites et des maladies et les calendriers de production. Hortivar couvre six catégories horticoles : fruits, légumes, racines et tubercules, plantes ornementales, champignons, herbes et condiments.

Cette mesure est toutefois **limitée en pratique par le souhait des importateurs** et des distributeurs de recevoir un type bien déterminé de fruit ou de légume, voire recevoir une variété précise, du produit, ou encore par **la nécessité d'avoir un produit qui supporte bien le transport** (ex. : cas des cultures de melon). Le producteur n'a donc souvent qu'un choix théorique entre les variétés et il est obligé de cultiver certaines variétés pour avoir accès aux marchés.

2.3.3. Adoption de techniques culturales favorables

De bonnes pratiques culturales permettent d'éviter le développement de maladies et de ravageurs ou d'adventices. Le **mode de conduite** (labours, sarclage, buttage, palissage, effeuillage localisé, densité adaptée, aération des serres...), en favorisant l'élimination des adventices, des résidus de culture et/ou l'aération des plantes, permet de réduire les attaques de certains ravageurs et de certaines maladies fongiques, bactériennes ou virales. La taille, le déchaumage, l'élimination des résidus de la culture précédente... permettent la réduction des inoculum et réduisent ainsi le niveau des attaques.

On peut recommander aux producteurs d'**intégrer dans leur itinéraire technique les pratiques suivantes.**

Pratiquer le labour

Un avantage du labour est son **effet direct sur nombre de ravageurs** qui sont présents dans le champ. Le labour peut en effet déterrer beaucoup de chrysalides et d'œufs de sautériaux qui se trouvent dans le sol, les exposant ainsi à la chaleur du soleil et aux prédateurs (oiseaux insectivores, fourmis, carabides, etc.). On peut réduire ainsi les populations des ravageurs qui peuvent infester la nouvelle culture. De plus, ce labour supprime bon nombre de mauvaises herbes, ce qui est bénéfique aux jeunes plantules lors de leur développement, car elles ne souffrent pas de concurrence des adventices pour l'eau, la lumière et les substances nutritives du sol.

Dans une terre meuble, les plantes peuvent s'enraciner plus facilement et plus profondément. Il s'ensuit que les plantes se développent plus rapidement et deviennent plus vigoureuses, ce qui les rend moins sensibles aux ravageurs et aux maladies.

Il convient par contre d'**adapter le labour en fonction de la sensibilité des terres à l'érosion** éolienne ou hydrique (structure du sol, teneur en M.O., répartition et intensité des pluies...).

Adapter la date de semis

Le **choix de la date du semis** est une pratique culturale souvent recommandée pour éviter les attaques de certains ravageurs. Les plantes sont plus sensibles aux attaques d'insectes quand elles sont encore petites. Au début de la saison de culture, les populations de beaucoup d'insectes sont encore très basses.



Le **semis précoce** offre l'avantage que les plantes sont déjà plus grandes et fortes au moment où les populations d'insectes commencent à augmenter, ce qui contribue à limiter leurs dégâts (ex. : la mouche des pousses qui attaque les jeunes plants de sorgho particulièrement sensibles pendant les quatre semaines qui suivent la levée ; jeunes plants d'arachide plus sensibles aux pucerons que les plantes plus âgées ; lutte contre l'ergot du mil, car le semis précoce aide à réduire l'infection initiale). Si l'on pratique le semis à sec (pour être très précoce), il est nécessaire de traiter les semences pour protéger les graines enfouies dans le sol contre les termites et les fourmis.

En revanche, on recommande parfois un **semis tardif** pour éviter ou limiter le développement de moisissures sur les graines (maturation des grains après l'arrêt des pluies). En cas de semis tardif, il est conseillé de ne pas laisser le sol nu pour freiner l'érosion.

Adapter la densité de la végétation

Avec un semis dense, les plantes couvrent le sol rapidement, si leur vigueur germinative est bonne. Cela peut prévenir le développement des mauvaises herbes. Certaines plantes, si le semis est dense, sont moins attaquées par les pucerons. Par contre, un semis dense peut entraîner une **augmentation de l'humidité** dans la masse de la végétation. Cela peut favoriser le développement de certaines maladies fongiques. Par exemple, l'antracnose et le mildiou se développent plus facilement si l'humidité est élevée. Un effeuillage précoce réduit de 60 % les attaques de botrytis sur raisin. En maraîchage sous abri, le choix de densités de salades un peu plus faibles et l'aération des serres diminuent le risque de bremia. Par contre, une végétation dense favorise aussi le développement des **champignons entomophages** qui peuvent tuer beaucoup de ravageurs.

Généralement, on recommande de **semer ou de planter en lignes**. Avec un semis en lignes, on peut facilement uniformiser la distance entre les plantes. De plus, ce mode de semis facilite les sarclages et les autres travaux dans le champ (inspection, récolte, traitements, etc.).

Pratiquer le sarclage

Le sarclage est un moyen efficace de **lutter contre les adventices**. Le moment du sarclage est très important. Le premier sarclage est plus facile et plus efficace s'il est pratiqué peu de temps après la levée. On doit répéter le sarclage au moment où les adventices commencent à reprendre. En outre, le sarclage ameublisse le sol, facilite l'infiltration de l'eau et l'enracinement des plantes cultivées.

Pratiquer la culture associée

La pratique des **cultures associées** consiste à cultiver deux ou plusieurs cultures au même moment dans le même champ. C'est une pratique très souvent utilisée par les paysans en Afrique. La diversité des formes d'associations a donné naissance à des appellations différentes telles que : « culture mixte », « culture intercalaire », « culture associée », « culture sous couvert » et à des objectifs pouvant être très variés : réduction de la pression du parasitisme, diminution de la compétition des adventices, maintien de la structure du sol, réduction de l'érosion, etc.

La **réduction des risques** est un avantage des cultures associées, car beaucoup de ravageurs et de maladies se multiplient plus rapidement dans une monoculture que dans des cultures associées. Dans une monoculture, la dispersion des insectes est plus facile et plus rapide. Dans des cultures associées, les insectes ont besoin de beaucoup plus de temps pour rechercher les plantes hôtes ; c'est le cas, par exemple, des foreurs de tiges. On a constaté que dans une culture associée de maïs avec du niébé, les attaques des foreurs de tiges sont moins graves. De nombreuses études ont montré l'intérêt des cultures associées pour réduire le niveau des populations de mouches et de pucerons cendrés, *Brevicoryne brassicae*, sur cultures de choux, ou le niveau des attaques de la rouille du poireau. L'efficacité de cette méthode est cependant loin d'être systématique : l'association de cultures peut même parfois provoquer une augmentation de l'effet des ravageurs.

Un autre avantage des cultures associées est que **le sol est utilisé plus efficacement**. En effet, en général, un mélange de différentes cultures donne une meilleure couverture du sol, ce qui diminue son envahissement par les mauvaises herbes. Dans le cas de l'association d'une céréale avec une légumineuse, la légumineuse contribue à la fertilisation de la céréale (apport d'azote). En outre, les cultures qui sont associées peuvent utiliser préférentiellement des couches différentes du sol, ou avoir des exigences nutritives différentes. En général, on peut dire que le rendement par hectare est plus élevé dans le cas de cultures associées que dans celui de cultures pratiquées séparément.

Dans le cas des cultures plus intensives, comme la production pour l'exportation, la culture associée présente toutefois plusieurs inconvénients : récolte plus compliquée, risque de pollution des produits récoltés par des végétaux étrangers, entrave aux travaux mécaniques ou aux traitements chimiques... Elle est donc peu pratiquée dans ce cadre.

Éviter les excès de fertilisants

Rechercher une vigueur adaptée, en évitant les excès de fertilisation (spécialement les **apports d'azote**), limitera la sensibilité des plantes aux maladies. *A contrario*, il est connu que les carences en certains (oligo-) éléments sensibilisent les plantes.

Détruire les plantes malades ou infestées

C'est une méthode particulièrement indiquée dans le cas où l'on observe une maladie pouvant se disperser rapidement dans un champ (nématodes à galles, acariens, plantes virosées). Par exemple, pour lutter contre le mildiou du mil, il est recommandé de détruire toutes les plantes qui montrent des symptômes de la maladie pendant les 30 premiers jours après la levée, car elles ne donneront pas de récolte, mais elles sont une source d'infection pour les plantes saines. En cas d'infestation par des acariens en bordure de champ, il est souvent plus économique de détruire la partie infestée de la parcelle que de traiter, surtout si la récolte est proche ou en cours (risque de résidus dépassant la LMR). On recommande la destruction par **enfouissement profond**, ou mieux par **incinération**.

Détruire les résidus des cultures précédentes

Les **résidus des plantes (tiges, racines) ou même les fruits** qui restent dans les champs et les vergers après la récolte contiennent souvent des ravageurs ou des maladies, constituant ainsi une **source d'infestation** pour la prochaine culture. En effet, beaucoup de ces parasites peuvent survivre pendant la saison sèche et infester la



prochaine culture. C'est pour cette raison que l'on recommande souvent la destruction des résidus de récolte.

Par exemple, les **nématodes à galles** présents sur les racines, ou les **foreurs de tiges** qui survivent dans les résidus de récolte. Pour réduire autant que possible le nombre d'insectes survivants, il existe différentes possibilités :

- brûler les tiges et les chaumes ;
- enfouir profondément les tiges et les chaumes ;
- faire un compost avec les résidus de récolte ;
- nourrir les animaux avec les tiges et les chaumes.

Certains paysans ne veulent pas détruire les vieilles tiges, car ils souhaitent les utiliser comme matériaux de construction ou pour en faire des clôtures. Dans ce cas, il est recommandé de sécher les tiges en les plaçant à plat sur le sol, en couche mince, et en les laissant au soleil pendant quelques semaines. La chaleur du soleil et du sol permet de tuer une grande partie des insectes à l'intérieur des tiges.

Dans les **vergers de manguiers**, ne pas ramasser et détruire les fruits infestés par les larves de la mouche des mangues qui tombent et qui restent au sol favorise le développement du ravageur : les larves quittent le fruit, et les pupes se forment dans les premiers cm du sol. Il est donc recommandé de :

- ramasser chaque jour **les fruits** tombés au sol ;
- évacuer rapidement du verger ces fruits et les détruire ;
- les enterrer dans une fosse de 40 à 60 cm de profondeur, en couvrant chaque semaine de terre ou de chaux vive ;
- les collecter dans un sac ou sous une bâche en plastique étanche, et les exposer au soleil ;
- les noyer dans un fût rempli d'eau ou les incinérer, dans une fosse ou un fût.

☐ Pailler dans et entre les lignes de cultures

Le **paillage** (ou *mulching*) est une pratique qui consiste à couvrir le sol, au pied des plantes cultivées, avec de la paille, du fumier bien décomposé ou une autre matière organique (par exemple coques d'arachides provenant du décorticage). Cela permet de réduire fortement la croissance des mauvaises herbes et améliore la couche superficielle du sol.



Le paillage (avec de la paille) des cultures de poireaux est une pratique courante en Belgique pour limiter leur contamination par le mildiou. Le paillage (avec un polyéthylène noir de 35 µm) assure un bon contrôle de *Rhizoctonia solani*. L'utilisation du paillage peut diminuer les populations des mouches blanches et ainsi retarder (mais pas éviter) les viroses qu'elles transmettent. On recommande également le paillage pour réduire les populations de thrips.

De plus, le paillage permet une économie d'eau, ce qui est un atout important dans les cultures maraîchères irriguées manuellement, et il protège le sol de l'érosion. On peut le recommander en général pour les cultures maraîchères (tomate, gombo concombre, laitue, etc.) et les arbres fruitiers.

2.3.4. Aménagements de barrières

Il peut être recommandé de laisser une **bande labourée** autour des champs **sans culture**, ni mauvaises herbes. Elle constituera une **barrière pour les insectes** qui migrent des friches vers les champs. Une bande labourée peut ainsi protéger la culture contre les **chenilles** légionnaires qui migrent à partir d'autres cultures. Cependant, cette pratique demande beaucoup de travail (labour et sarclages) au producteur sur une superficie qui ne produira pas de récolte. Pour cette raison, la plupart n'acceptent pas facilement cette pratique. Il faut la recommander plutôt au moment où une invasion devient vraisemblable (par exemple, quand les parcelles voisines de la culture sont fortement infestées).



Pour réduire l'invasion des bandes larvaires de **sautériaux** et faire barrage contre ces ravageurs, on peut creuser des tranchées entre les sautériaux et le champ. Si les larves sont très jeunes, et donc peu mobiles, elles tomberont dans ces tranchées en s'approchant du champ. Il ne restera alors qu'à enterrer les larves piégées dans ces fossés, ou à les détruire par le feu. Cette technique est appliquée au Tchad.

2.3.5. La préservation de la faune utile

La préservation des haies et des talus et le maintien de l'enherbement spontané dans les fourrières de bord de champ favorisent la présence à proximité de la parcelle d'une faune utile (insectes, oiseaux, reptiles). Le choix d'un couvert approprié du sol permet aussi de favoriser la présence de certains auxiliaires.

2.3.6. Application localisée de produits phytosanitaires

□ Appâts empoisonnés

Pour la lutte contre certains insectes, on recommande l'utilisation des appâts, c'est-à-dire d'un mélange d'une substance qui attire les insectes et d'un insecticide qui les tue. Souvent, on utilise des appâts constitués à base de son et de sucre (ou bien de mélasse)

mélangé avec entre 0,5 et 1,5 % m.a. d'insecticide. On répartit ensuite dans le champ la mixture obtenue par petits tas, à proximité des plantes hôtes menacées. Les insectes qui sont attirés par l'appât meurent empoisonnés. On recommande l'utilisation des appâts contre des insectes tels que les grillons, les courtilières, les iules, les vers gris et les sautériaux.

La société Dow Agrosiences produit le SUCCESS APPAT®, une formulation SC (suspension concentrée) à base de 0,24 g/L de **spinosad**, un insecticide autorisé en production biologique dans l'Union européenne, **et d'un appât alimentaire incorporé** qui peut être employé en traitements localisés dans les vergers de manguiers⁴.

L'impact sur les auxiliaires des cultures est très faible avec ce type de traitement et les risques pour l'applicateur sont moindres.

❑ Pièges attractifs (avec phéromones)



Le piège contient des phéromones, c'est-à-dire des hormones sexuelles reconstituées, qui attirent les mâles ou les femelles de l'espèce à combattre, et uniquement cette seule espèce. Ainsi, le piège ne détruit pas les divers insectes utiles qui sont dans le périmètre.

La phéromone est contenue dans une petite capsule qui diffusera dans l'atmosphère.



La capsule se pose sur un fond (carton) englué, à l'intérieur d'un piège delta. Elle devra être renouvelée toutes les 4 semaines ainsi que le fond (carton) englué. Les mâles, attirés par la phéromone resteront englués sur le fond du piège. Le nombre de mâles diminuera grandement et réduira de manière significative la reproduction et le développement de l'espèce.

Dans le cas de la mouche de la mangue, on peut diminuer les populations de mouches mâles de *Bactrocera invadens* dans les vergers de mangue par des captures à l'aide de pièges à « **paraphéromones** »⁵. Utilisés à grande échelle et en grand nombre, ils peuvent aussi freiner le développement des populations en début de saison. La technique consiste à placer en début de saison des plaquettes, imprégnées d'un attractif spécifique et traitées par un insecticide de contact. Les pièges doivent être en place dans le verger au moins un mois avant la période d'attractivité des fruits. Il est également conseillé de placer ces pièges dans les vergers d'autres fruitiers sensibles (ex. : verger d'agrumes).

⁴ Voir la **Brochure COLEACP/CTA**, *Comment lutter contre la mouche des mangues*, Collection Guides pratiques du CTA, n° 14 (disponible sur le site Web du COLEACP).

⁵ *Ibid.*

2.4. Les produits de biocontrôle

2.4.1. Quelles sont les réponses attendues des biopesticides ?

Pour réduire l'application des produits phytopharmaceutiques (les « pesticides »), et notamment les herbicides largement utilisés jusque ces dernières années dans toutes les communes pour le désherbage des espaces publics (comme les allées de parc, les cimetières, les plaines de jeux...), de nouvelles substances actives sont soumises à autorisation et de nouveaux produits, issus du milieu et basés sur des mécanismes naturels de contrôle, apparaissent progressivement sur le marché.

L'attente, aussi bien des chercheurs que des autorités de régulation, de l'industrie et du public, des produits de bio-contrôle se rejoignent : obtenir une protection ou un désherbage efficace des cultures sans les inconvénients liés à l'emploi de la majorité des produits de synthèse actuellement utilisés, raison pour laquelle on parle souvent de « produits alternatifs ».

En effet, si l'efficacité des pesticides de synthèse n'est pas plus à démontrer que leur facilité d'emploi, leur usage intensif et récurrent sur les cultures, en espaces verts ou chez les particuliers, a entraîné de nombreux effets non désirés et des coûts cachés pour la santé, l'épuration des eaux ou encore la perte de valeur des services écosystémiques offerts par les auxiliaires et les pollinisateurs. Toutes les parties prenantes de la protection des cultures, notamment les agriculteurs et les firmes, mettent aujourd'hui beaucoup d'espoir dans les biopesticides. D'autant que, s'il s'agit bien de nouvelles solutions techniques, leur mise en œuvre ne remet fondamentalement en question ni les stratégies d'intervention, ni les schémas de lutte contre les bioagresseurs. Il est plus question de substitution des produits chimiques par des produits issus du milieu naturel que de modifier en profondeur les pratiques culturales, comme le proposent par ailleurs l'agriculture biologique ou l'agroécologie.

Les apports espérés du développement des produits de bio-contrôle sont nombreux : réduire le risque pour l'opérateur qui appliquera des produits phytopharmaceutiques moins toxiques, proposer aux agriculteurs – comme aux particuliers – des solutions techniques qui seront aussi efficaces, mais plus sélectives : des insectes auxiliaires ou des pollinisateurs pour un meilleur respect de la biodiversité, protéger les ressources naturelles et notamment les eaux, offrir une alternative aux produits chimiques pour éviter la résistance des bioagresseurs, disposer de produits utilisables en agriculture biologique, éviter la présence de résidus de produits toxiques sur les denrées, ou encore apporter une réponse adaptée à des usages en zones non agricoles.

Toutefois, ce qui est « naturel » n'est pas nécessairement synonyme de « sans danger pour l'homme ou son environnement ». Beaucoup de substances naturelles ou d'organismes (toxines, alcaloïdes, virus, bactéries...) peuvent avoir de réels effets néfastes pour l'homme et les animaux exposés. Il est donc légitime de s'interroger, d'abord sur la nature de ces produits de bio-contrôle, ensuite sur les risques qui pourraient être liés à leur utilisation en protection des cultures.



2.4.2. Faut-il parler de produits de bio-contrôle ou de biopesticides ?

On appelle indifféremment « produits de bio-contrôle » ou « biopesticides » les produits commerciaux qui font appel à des mécanismes naturels pour la lutte contre les ennemis des cultures (insectes ou acariens nuisibles, adventices, champignons ou bactéries pathogènes, limaces, nématodes phytophages...). Il ne s'agit donc pas de « produits bio » ou de produits automatiquement utilisables en agriculture biologique (ces derniers font l'objet d'une liste positive précise⁶).

La recherche dans ce domaine étant très active, le nombre de ces produits ne cesse de croître et de se diversifier ces dernières années, rendant ardue la tâche du législateur quand il s'essaie à la classification de ces produits, ce qui est nécessaire pour déterminer la législation qui s'applique à ces produits. Comment classer, par exemple, des morceaux de parois de levure comme la *Cerevisia* ? Selon la définition donnée par les règlements, ce ne sont ni des substances, ni des micro-organismes (puisque'ils ne sont pas complets), ni des extraits.

Si on se livre à cet exercice, nous pouvons néanmoins classer ces produits de bio-contrôle en cinq catégories :

1. **Les macro-organismes**
2. **Les produits à base de micro-organismes**
3. **Les médiateurs chimiques**
4. **Les substances naturelles**
5. **Les éliciteurs**

Nous développerons plus loin chacune de ces cinq catégories de produits de bio-contrôle. On fera cependant tout de suite une différence entre les macro-organismes et les quatre autres catégories de produits que l'on pourra plus spécialement qualifier de « biopesticides » (même si la législation européenne ne donne aucune définition du terme biopesticide). Les biopesticides constituent un sous-groupe de produits dérivés de matériaux naturels au sein des produits phytopharmaceutiques.

Cette distinction se base sur la réglementation européenne qui encadre la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (en gros, les « pesticides à usage agricole »). En effet, jusqu'à présent, les macro-organismes ne sont pas concernés par le Règlement (CE) 1107/2009⁷, contrairement à tous les produits à base des quatre autres catégories qui doivent être considérés comme des « produits phytopharmaceutiques » et qui, par conséquent, seront évalués selon les mêmes procédures, avec les mêmes méthodes et sur base des mêmes critères, que tous les pesticides de synthèse.

⁶ Il s'agit de l'Annexe II du Règlement (CE) 889/2008 portant modalités d'application du Règlement (CE) 834/2007 relatif à la production biologique. À noter que, si diverses substances actives classées parmi les biopesticides s'y retrouvent, des conditions plus restrictives pour une utilisation de celles-ci dans le cadre de la production biologique sont également détaillées dans un tableau de l'Annexe II (disponible sur fytoweb.be/fr).

⁷ Règlement (CE) 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les Directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil. *JOUE*, L 309/1 du 24 novembre 2009. Ce règlement renvoie plutôt les agents de bio-contrôle (art. 3/8) aux « méthodes non chimiques » c'est-à-dire « les méthodes de substitution aux pesticides chimiques pour la protection phytosanitaire et la lutte contre les ennemis des cultures, fondées sur la lutte biologique » (ils appartiennent donc aux méthodes recommandées pour la lutte intégrée au sens de la Directive 2009/128/CE).

On le voit donc tout de suite : tous les produits phytopharmaceutiques (dont les biopesticides) qu'ils soient « naturels » ou « de synthèse » seront considérés et évalués de la même manière, dès qu'ils revendiquent une efficacité en protection des cultures (au sens large). Ce qui importe pour le législateur est la revendication d'un effet biologique (ex. : insecticide, acaricide, fongicide, herbicide, régulateur, répulsif, attractant, etc.). Dans son article 2, le Règlement (CE) 1107/2009 précise bien qu'il s'applique « aux substances (définies comme les éléments chimiques et leurs composés tels qu'ils se présentent à l'état naturel ou tels qu'ils sont produits par l'industrie), y compris les micro-organismes, exerçant une action générale ou spécifique sur les organismes nuisibles ou sur les végétaux, parties de végétaux ou produits végétaux », toutes dénommées « substances actives ».

Il est important de comprendre que seuls les produits qui ont été au préalable autorisés peuvent être employés comme produits de protection des cultures. Ce sont en effet les seuls produits, pesticides comme biopesticides, dont la toxicité et les risques ont été évalués scientifiquement. Cela ne signifie pas que ces produits soient sans risque. Mais s'ils ont reçu une autorisation d'usage, cela signifie donc que le risque a été jugé acceptable pour la santé et l'environnement dans les conditions requises pour leur emploi. Par ailleurs, ce sont aussi des produits dont on a pu démontrer officiellement l'efficacité en tant que produit de protection des plantes. Il est donc hasardeux de s'aventurer à utiliser d'autres « produits naturels » dont on ne peut ni garantir l'effet ni l'absence de toxicité !

2.4.3. Quels sont ces produits utilisés pour le bio-contrôle ?

□ Les macro-organismes

Nous l'avons dit, au regard de la législation, les macro-organismes sont un cas particulier parmi les produits de bio-contrôle. Ces organismes, naturellement présents dans le milieu, sont reproduits et dispersés tels quels (sans modification). Ils peuvent être des insectes prédateurs (comme les coccinelles) ou parasitoïdes (comme certains micro-hyménoptères), des acariens prédateurs, des nématodes entomophages ou même des vertébrés comme certains poissons utilisés pour limiter la croissance des algues ou de plantes aquatiques envahissantes.

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'ensuit la mort de l'insecte. Bien que les nématodes soient de bons agents en lutte biologique, leur utilisation en zone sèche est limitée par les facteurs abiotiques, particulièrement les UV.

Pour cette catégorie, on parlera plutôt d'« agents de bio-contrôle » (en anglais les *Biocontrol Agents* ou BCA). Les conséquences d'introductions malheureuses d'agents de bio-contrôle sur un territoire donné sont aujourd'hui bien connues et documentées (citons le cas de la coccinelle asiatique *Harmonia axyridis*, une alliée devenue envahissante). Le lâcher d'un macro-organisme exotique n'est plus regardé avec un œil aussi favorable que par le passé. Le recours à des organismes exogènes est devenu rare, car leur entrée sur le territoire d'un État membre de l'UE et leur introduction dans l'environnement doivent faire l'objet d'un examen préalable.

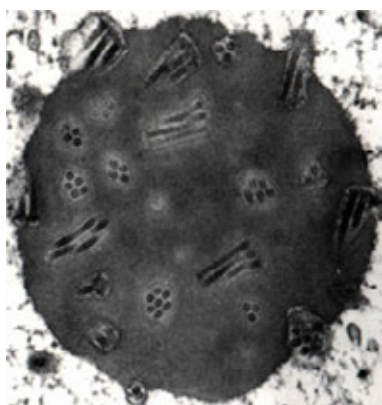
Toutefois, pour les macro-organismes, l'évaluation et la décision de leur introduction restent du ressort de l'État membre. Et, à moins de travailler dans un milieu parfaitement confiné et contrôlé, une analyse de risque phytosanitaire (PRA⁸), comprenant une étude de l'impact potentiel sur la biodiversité du milieu, sera exigée avant toute autorisation d'usage.

❑ Les micro-organismes

Les micro-organismes qui sont utilisés dans les produits phytopharmaceutiques sont tous isolés du milieu naturel (à partir d'insectes infectés ou du sol, par exemple) et produits par diverses techniques aujourd'hui parfaitement maîtrisées pour la multiplication des microbes à l'échelle industrielle (le plus souvent en fermenteurs). Ils sont présentés sous diverses formes (suspensions, granulés ou poudres à utiliser avec ou sans dispersion dans l'eau du pulvérisateur).

Ce sont les produits réalisés à base soit de **virus** (ex. : un Betabaculovirus responsable de la granuloze du carpocapse des pommes, *Cydia pomonella*), de bactéries (ex. : *Bacillus thuringiensis* ou Bt), de **champignons** (ex. : *Paecilomyces fumosoroseus*, *Trichoderma*, *Beauveria bassiana*...) ou encore d'**agents de mycorhize** (ex. : la bactérie aérobie du sol, *Rhizobium etli*).

➤ Les 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 granuloze** (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.

La mort de l'insecte n'intervient pas immédiatement. La chenille s'infecte pendant son stade baladeur, période au cours de laquelle elle effectue des morsures exploratrices. Dans le corps des chenilles, les granulés sont dissous et libérés. Ils sont véhiculés dans tout l'organisme et intègrent le noyau de nouvelle cellule. Dans les premiers temps, le comportement de la chenille n'est pas modifié, puis on observe un arrêt de l'alimentation et la chenille perd sa mobilité. Au stade final, la chenille devient déliquescente. Les applications doivent coïncider avec l'éclosion des jeunes larves. Il est donc conseillé de contrôler les vols à l'aide de

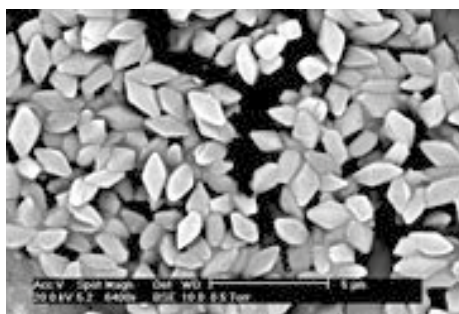
⁸ PRA ou Pest Risk Analysis. Il s'agit d'une démarche qui a été codifiée dans une norme de la FAO/CIPV.

pièges sexuels et de suivre les avertissements phytosanitaires. Seules les formes larvaires des insectes sont en effet sensibles aux viroses ; les adultes peuvent par contre être des vecteurs passifs ou transmettre la maladie à leur descendance.

Les caractéristiques principales des bio-insecticides viraux sont la spécificité, la haute virulence, la rapidité d'action et le niveau raisonnable de persistance dans l'environnement. La rémanence des virus est cependant affectée par les radiations UV. Dans un certain nombre de cas, le délai entre l'ingestion et la mort est considéré comme bien trop long et des dégâts importants peuvent être occasionnés.

On peut citer comme exemple la « carpovirusine », un insecticide biologique contre le carpocapse du pommier et du poirier (*Cydia pomonella*, une tordeuse). On peut aussi combattre les chenilles vertes de la fausse arpenreuse du chou (*Trichoplusia ni*), avec une bouillie préparée à partir de chenilles infectées par ces maladies virales que l'on trouve dans le champ. On peut reconnaître facilement au champ ces chenilles infectées, car elles deviennent d'abord blanchâtres et inactives après être infectées. Elles tendent à migrer vers le haut dans la plante. Ensuite, on les trouve suspendues à la face inférieure des feuilles. Finalement, elles deviennent noires et sont alors remplies d'un liquide qui suinte⁹.

➤ Les produits à base de *Bacillus thuringiensis*



Il existe des insecticides à base de spores et toxines de *Bacillus thuringiensis* (en abrégé en Bt), un bacille sporulant. On retrouve le Bt dans pratiquement tous les sols, l'eau, l'air et le feuillage des végétaux.). 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.

Certaines de ces souches sont spécifiques aux lépidoptères (*Kurstaki*), d'autres aux diptères (*Israelensis*) et d'autres aux coléoptères (*Tenebrionis*). Pour être efficace, mentionnons que la bactérie ou la toxine doit être ingérée par l'insecte.

Lié à sa spécificité d'action, l'usage intensif de *B. thuringiensis* peut aboutir à la résistance du ravageur. De tels cas ont déjà été décrits pour la teigne des crucifères (*Plutella xylostella*). D'autre part, comme pour les insecticides de

⁹ Voir en Annexe le procédé de préparation des suspensions de *Baculovirus*.

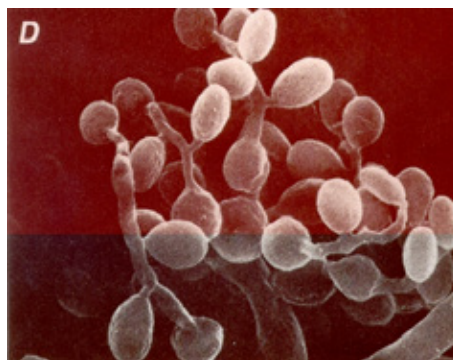
contact, l'utilisation de *B. thuringiensis* pour la culture de tomate suppose une observation des noctuelles par piégeage. En effet, une fois les chenilles à l'intérieur des fruits, l'efficacité de *B. thuringiensis* est très réduite.

➤ **Les champignons entomopathogènes**

Les **champignons entomopathogènes** présentent la particularité d'infecter les insectes par la voie tégumentaire. Les hyphes infectieux pénètrent et vont coloniser les tissus en provoquant la mort de l'hôte. Le cadavre se transforme en « momie » avec, si les conditions sont favorables, une sporulation à la surface du corps de l'insecte. Une seule momie assure ainsi localement la production d'un foyer infectieux. Les champignons entomopathogènes se répartissent entre divers ordres et genres. Citons, parmi les plus connus, les entomophthorales (champignons zygomycètes inféodés aux homoptères *Aphididae* et *Cicadidae*) et les deutéromycètes (*Beauveria*, *Hirsutella*, *Metarhizium*, *Nomuraea*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Tolypocladium*...).

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.

On signalera aussi quelques champignons nématophages, comme *Arthrobotrys* (deuteromycète), qui capturent les nématodes phytophages grâce à des organes spécialisés en forme de boucles, anneaux, boutons enduits de lectines engluantes, puis les parasitent, ou encore du genre *Hirsutella* à conidies collantes, *Paecilomyces* et *Verticillium*.



Spore infectieuse de *Beauveria bassiana*

Les champignons du sol du genre ***Trichoderma*** sont des auxiliaires potentiels (des « **antagonistes** ») contre de nombreux champignons phytoparasites : *Trichoderma virens* est, par exemple, agréé aux États-Unis pour lutter contre *Rhizotocnia solani* et *Pythium ultimum* en cultures maraîchères. Des bactéries rhizosphériques de différents genres (*Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Serratia*...) assurent la protection des racines, alors que *Pasteuria penetrans* s'avère efficace contre les attaques de nématodes phytophages. Certaines souches de *Fusarium oxysporum* sont antagonistes des souches parasites de la même espèce (« **sols suppressifs** »). Des levures sont utilisées pour protéger les pommes durant leur stockage en frigos.

Enfin, parmi les champignons utiles pour l'agriculteur, il faut citer les **endomycorhizes** qui jouent un rôle important dans la nutrition minérale des plantes ainsi que pour la protection contre certains pathogènes des racines. Par exemple, en conditions contrôlées, les tomates colonisées par *Glomus mosseae* ont un bon niveau de protection vis-à-vis de *Phytophthora parasitica*.

Les champignons antagonistes, entomopathogènes et les endomycorhizes sont soumis à l'action des **pratiques culturales** dont certaines sont négatives pour leur développement : les fertilisations phosphatées élevées et l'application de fongicides entraînent un faible taux de mycorhization. Dans le cadre d'une production intégrée, il est indispensable de prendre en compte les relations entre les micro-organismes du sol, la culture et la matière organique !

❑ Les médiateurs chimiques

Certains composés organiques volatils (COV) présents ou libérés dans le milieu naturel jouent le rôle de « messagers chimiques ». On connaît les phéromones (des substances chimiques comparables aux hormones, émises par la plupart des animaux et certains végétaux, et qui agissent comme des messagers entre les individus d'une même espèce), les kairomones (qui permettent, par exemple, à des prédateurs ou parasites de détecter leur proie ou hôte à grande distance), les produits répulsifs (ex. : pulpe d'ail...) ou les attractants (ex. : phosphate de di-ammonium ou ITAB attractant utilisé pour la mouche de l'olive).

L'usage le plus connu de ces composés est celui des phéromones sexuelles qui ont été étudiées, isolées, identifiées pour plusieurs espèces, puis synthétisées pour attirer des insectes mâles ou femelles dans des pièges. Cette technique est appréciée pour la surveillance des silos de grains ou des vergers, ou encore permet la lutte contre certains papillons par confusion sexuelle.

❑ Les substances naturelles

Par définition, toute substance présente « en l'état » dans la nature pourrait être classée dans cette catégorie. Cependant, selon la législation, il peut s'agir aussi bien de substances issues d'un matériau source naturel que de substances obtenues par synthèse chimique, mais qui sont, dans leur structure moléculaire, strictement identiques aux substances que l'on trouve dans la nature (on les désigne d'ailleurs comme « produits identiques »). Sont incluses dans cette catégorie toutes les substances issues d'êtres vivants, indépendamment de leur appartenance au règne végétal ou animal (procaryotes, eucaryotes unicellulaires et champignons). Paradoxalement donc, une toxine produite par des bactéries OGM en fermenteur peut être classée comme « substance naturelle » !

La nature et la composition de ces « substances naturelles » sont très variées, car on en trouve d'origine végétale, animale, microbienne ou même minérale. Plusieurs de ces substances sont classées parmi les onze « substances de base » (encore une catégorie !) qui ont été reconnues à ce jour pour leur efficacité, fût-elle partielle, et en conséquent autorisées à l'emploi en toute légalité pourvu qu'on en respecte les conditions d'usage. Les substances de base sont des produits qui sont déjà commercialisés pour d'autres fins, par exemple en alimentation, mais qui peuvent également servir pour la protection des cultures. Citons : le vinaigre, le saccharose, le



fructose, la prêle, l'écorce de saule, le chlorhydrate de chitosane (ou chitosan), le phosphate diammonique, les lécithines, le lactosérum (ou petit-lait), l'hydroxyde de calcium et l'hydrogénocarbonate de sodium (ou bicarbonate de soude).

Si la substance naturelle ou de base ne figure pas dans la liste positive, cela signifie que ses effets sur l'environnement ou sur l'utilisateur ne sont pas connus. Et même s'il s'agit de produits « naturels », cela ne veut pas dire qu'ils en sont pour autant inoffensifs. Évidemment, la dose et le mode d'application jouent également un rôle, c'est pourquoi ces informations figurent aussi dans la liste positive. Lorsque ces substances sont utilisées d'une manière différente, par exemple, à une dose plus élevée, elles peuvent représenter un danger pour la santé ou pour l'environnement. Dresser ici la liste de toutes leurs propriétés est impossible, mais le fait que ces substances agissent sur des organismes vivants doit inciter à la prudence lors de leur emploi.

➤ **Les substances naturelles végétales**

Les substances naturelles végétales peuvent être de plusieurs types :

- des substances extraites de plantes et purifiées (ex. : pyréthrine, nicotine, sucre...) ;
- des extraits aqueux non purifiés (ex. : décoctions de prêle des champs (*Equisetum arvense*), tisanes, infusions de saule, d'ail, de piment, etc.) ou des extraits dans un solvant (ex. : azadirachtine extraite par le méthanol) ;
- des huiles végétales (ex. : huile de neem, huile de colza...) ;
- des huiles essentielles (ex. : agrumes et beaucoup d'autres plantes) ;
- des poudres de plantes ou des parties de plantes (ex. : écorce de saule, feuilles broyées, bulbes).

Il existe un grand nombre de plantes qui ont des propriétés pesticides. Les **flores locales**, cultivées ou spontanées, offrent beaucoup de possibilités pour la lutte phytosanitaire.

Un exemple bien connu est celui du **neem** (*Azadirachta indica* ou margousier d'Inde), un arbre présent un peu partout en Afrique. Toutes les parties de cet arbre, mais surtout les graines, contiennent une substance active (azadirachtine) que l'on peut utiliser comme insecticide, et qui est efficace contre un grand nombre d'insectes tels que la noctuelle de la tomate (*Helicoverpa armigera*), la teigne des choux (*Plutella xylostella*), la coccinelle des cucurbitacées (*Henosepilachna elaterii*), les thrips et les pucerons.

Les autres produits végétaux possédant des propriétés insecticides sont le pyrèthre, la roténone (extraite du Derris), le piment, l'ail, le curcuma ou le **tabac** dont les extraits sont surtout efficaces contre les pucerons et les thrips (voir en Annexe).

Spectre d'action de quelques produits végétaux						
Végétaux	Thrips	Chenilles	Pucerons	Noctuelles	Aleurodes	Acariens
Ail	▪		▪		▪	▪
Annonnes		▪	▪			

Curcuma		▪				▪
Derris	▪	▪	▪	▪		
Farine			▪			▪
Neem	▪	▪	▪	▪		▪
Néré	▪		▪	▪	▪	
Piment			▪			
Pyrèthre	▪	▪		▪	▪	▪
Tabac	▪	▪	▪	▪	▪	

Les **feuilles** de certaines plantes (ex. : neem) et les **huiles végétales**, présentent une certaine efficacité pour lutter contre les insectes présents dans les **produits stockés**. Utilisées adéquatement, elles ont un effet protecteur. Les rameaux frais de l'arbuste *Boscia* (*Capparidaceae*) sont utilisés pour couvrir les stocks de mil ou de sorgho dans les greniers traditionnels au Tchad, au Sénégal...



Graines de neem (*Margousier d'Inde*) Feuilles et fruits de *Boscia* sp.

Les huiles végétales testées et utilisées avec succès sur les denrées stockées sont les huiles d'arachide, de noix de coco, de carthame, de moutarde, de ricin, de coton, de soja, de neem et de maïs. L'huile de tournesol n'est pas toujours efficace. L'enrobage huileux gêne la reproduction des insectes adultes qui ne peuvent plus pondre leurs œufs dans la graine. Les larves à l'extérieur ne peuvent pas entrer dans la graine à cause de la couche d'huile visqueuse. L'huile peut aussi tuer les œufs d'insectes. Si l'œuf est déjà présent à la surface ou à l'intérieur de la graine, la couche d'huile empêche les échanges gazeux : la larve à l'intérieur de l'œuf ou de la graine meurt par manque d'air. Après le traitement, le produit peut être mis en sac. La durée de l'effet protecteur dépend du type d'huile utilisé et des conditions, mais est de 3 mois au moins, souvent jusqu'à 6 mois. L'huile pouvant avoir un effet négatif sur le pouvoir de germination des graines traitées, il est conseillé de ne pas traiter les graines réservées comme semences.

En outre, beaucoup d'autres plantes ont des **effets insectifuges** (basilic, carotte, citronnelle, écorce de citrus, eucalyptus, oignon, tagète et même les feuilles de tomate), **fongicides** (ail, amarante, manioc amer, oignon, papayer, piment rouge,

ricin...), **nématicides** (crotalaire, lilas de Perse, ricin, tagète...). Leur efficacité dépend de l'organe de la plante utilisé (graines, écorce, feuilles, tiges, bulbes...) et du moment de prélèvement de celui-ci.

Les « **préparations fermières** » (voir exemples en Annexes) se font par : macération dans l'eau froide (purins végétaux), infusion dans l'eau chaude, extraction en pressant fortement ou en pilonnant les matières végétales pour en extraire le jus ou l'huile... Les tourteaux sont également employés (ex. : tourteaux de neem incorporés au sol pour lutter contre les nématodes ; tourteaux de ricin) humides ou secs. Ils servent à la préparation des appâts pour combattre les insectes, les rongeurs et les oiseaux.

➤ **Les substances naturelles d'origine animale**

Les substances naturelles d'origine animale sont :

- des substances solides (ex. : chitosan, suif...)
- des substances liquides (ex. : lactosérum ou petit-lait, qui a des propriétés fongicides contre l'oïdium) ;
- des substances volatiles (phéromones, kairomones).

➤ **Les substances naturelles issues de micro-organismes**

Les substances naturelles issues de microorganismes peuvent être :

- des substances purifiées non transformées (ex. : spinosad) ;
- des substances purifiées et transformées (ex. : spinetoram) ;
- des toxines de microbes (ex. : toxine de *Bacillus thuringiensis*, Bt) ;
- des morceaux de parois de souches de microorganismes (ex. : morceaux de parois *Saccharomyces cerevisiae*:LAS117 ou cerevisane).

➤ **Les substances naturelles minérales**

Les substances naturelles minérales peuvent être :

- des poudres (à poudrer ou à disperser dans l'eau) (ex. : soufre) ;
- des suspensions (à pulvériser) (ex. : argiles comme le kaolin, le talc...) ;
- des produits solubles (à verser ou à pulvériser) (ex. : bicarbonate de soude, qui est fongicide contre la tavelure ou l'oïdium ; hydroxyde de calcium, un fongicide efficace contre les chancres des pommiers et poiriers).

On peut saupoudrer les plantes avec de la cendre de bois pour lutter contre certains insectes dans les cultures maraîchères comme le gombo, le poivron, le piment et certaines cucurbitacées. La cendre de bois est particulièrement efficace pour combattre les pucerons. Elle apporte aussi des substances minérales nutritives à la culture. Le moment de l'épandage des cendres dépend du degré d'humidité des feuilles : elles ne doivent être ni trop sèches (la cendre n'adhérerait pas) ni trop humides (la cendre pourrait s'accumuler dans les gouttelettes d'eau et provoquer des lésions sur les feuilles). Pour éviter ces inconvénients, on fait l'épandage tôt le matin ou le soir, au coucher du soleil.

La cendre de bois, et certains minéraux, comme le sable fin, la poudre de latérite, la chaux, sont utilisés également pour la protection des denrées stockées. Ces

minéraux remplissent l'espace entre les graines, empêchant ainsi le mouvement et la propagation des insectes dans le produit stocké.

❑ Les éliciteurs (ou inducteurs de défense)

Il s'agit de substances qui, par mimétisme de molécules appartenant aux pathogènes (champignons ou bactéries), induisent chez les plantes la stimulation de défenses naturelles des plantes et la production de substances défensives (dont les phytoalexines les protéines PR, etc.). Ces produits de bio-contrôle (désignés comme SDP ou stimulateurs de défense des plantes) peuvent provenir d'organismes vivants, tels la chitine issue de la paroi des champignons ou de carapaces de crustacés, ou les oligogalacturonides dérivés de la pectine des parois des cellules végétales.

La laminarine est extraite du varech (un mélange d'algues brunes, rouges ou vertes laissé par le retrait des marées). Le saccharose (une des substances de base autorisée) est considéré comme un éliciteur ayant un effet insecticide via la stimulation des mécanismes naturels de défense des plantes. À ce titre, il peut être utilisé sur pommiers et sur maïs.

Les éliciteurs peuvent être produits par synthèse et induisent une réaction de défense de la plante. Le FYTOSAVE® de Fyfofend est un composé à base de chitosan et de pectine (le COS-OGA). Le BION 50 WG® de Syngenta contient l'acibenzolar-S-méthyl, un composé qui possède des propriétés fongicides et qui, comme analogue de l'acide salicylique, démarre le processus de défense des cellules de la plante.

2.4.4. Les désherbants naturels ou « bioherbicides »

Il est bien plus intéressant de gérer la flore spontanée par des pratiques culturales ou l'aménagement des espaces sauvages et publics que de chercher à les éliminer. Toutefois, la recherche de solutions alternatives pour le désherbage a dépassé le cadre de l'expérimentation. Diverses techniques ont démontré leur efficacité : utilisation de la chaleur (mousse et eau chaude, brûleurs thermiques, chaleur solaire et même micro-ondes), paillage plastique, géotextiles, désherbage électrique, brossage...

Du chemin reste néanmoins à faire pour vulgariser ces techniques et trouver les stratégies les plus performantes pour leur mise en œuvre. Pour intervenir ponctuellement et en complément d'une gestion rationnelle des mauvaises herbes, la possibilité de recourir à des produits de bio-contrôle reste une question à résoudre pour la recherche.

Deux voies sont possibles : la lutte biologique ou la formulation de désherbants naturels (les bioherbicides).

Le désherbage « biologique », qui est la technique de lutte biologique dans laquelle on active l'effet de ravageurs ou de maladies des mauvaises herbes, est particulièrement difficile à mettre en œuvre. Aucun résultat probant n'a été obtenu jusqu'à présent en explorant cette voie. Si l'emploi de certains animaux (moutons, poulets) pour le désherbage des vergers ou de parcs reste une solution alternative appréciée, sa mise en œuvre, bien souvent compliquée (quand il s'agit de gérer des animaux dans un espace public), en limite l'intérêt.

Les « bioherbicides » sont aujourd'hui définis comme « des produits d'origine naturelle ayant un pouvoir désherbant ». Ces produits représentaient moins de 10 % des biopesticides mis sur le marché, essentiellement en Ukraine, au Canada et aux États-

Unis, mais l'agrément de certaines substances naturelles qui s'avèrent efficaces changera certainement la donne dans les prochaines années. En raison de leur emploi à large échelle, nous nous intéresserons à **deux catégories de produits de bio-contrôle utilisables pour le désherbage** : les produits à base de micro-organismes et les substances naturelles.

❑ Les bioherbicides à base de micro-organismes

Déjà dans les années 1980, les premiers bioherbicides à base de micro-organismes ont vu le jour, mais ils n'ont jamais percé sur le marché. Les bioherbicides de ce type tentent de provoquer des dommages sur les adventices, en infectant et en envahissant les tissus de ces plantes jusqu'à les nécroser en libérant des enzymes actifs (pectinases, cellulases, lignases) ou des toxines qui interfèrent avec le métabolisme des plantes.

Ces produits commerciaux (dont beaucoup ont disparu faute de succès !) contiennent, par exemple :

- des champignons pathogènes pour les plantes (*Colletotrichum gleosporioides* (BioMal[®], Collego[®], Mycotech[®], Chontrol[®]), Phoma (Phoma[®]), *Chondrostereum purpureum*, *Phytophthora palmivora* (Devine[®]), *Puccinia* (Woad Warrior[®]), *Sclerotinia minor* (Sarritor[®]), *Alternaria*...);
- des souches de certaines bactéries pathogènes comme *Xanthomonas campestris* : Camperico[®]).

❑ Les bioherbicides à base de substances naturelles

Diverses substances naturelles ont démontré un effet herbicide. Les unes proviennent de la fermentation de certains microorganismes. C'est le cas du vinaigre (l'acide acétique, une substance de base), issu de levures, contenu dans le produit NATUREN FERTILIGENE[®]. L'efficacité du vinaigre est réduite, car il agit uniquement en brûlant les feuilles sans détruire les racines. Les plantes annuelles sont donc tuées, mais les vivaces par contre repoussent deux à trois semaines plus tard. Il faut environ six passages par an pour obtenir un résultat suffisant. Le coût risque donc dissuader les utilisateurs de ce produit.

Un autre exemple plus prometteur est la thaxtomine A, une phytotoxine produite par *Streptomyces acidiscabies*, une bactérie responsable de la gale commune de la pomme de terre. La thaxtomine est un herbicide naturel et biodégradable, malheureusement encore trop coûteux à produire pour être pleinement exploité. Néanmoins, au Canada, une substance active de qualité technique (MBI-005 TGA) et une préparation commerciale (MBI-005 EP[®]) dont la substance active est un mélange de la souche RL-110T (tuée et non viable) de *Streptomyces acidiscabies* et de thaxtomine A ont été autorisées et enregistrées pour la répression du pissenlit dans le gazon en plaques (pâturin des prés et féтуque).

D'autres substances naturelles sont extraites de plantes. C'est le cas de l'acide pélargonique (également appelé acide nonanoïque) un bioherbicide de contact non sélectif dont l'efficacité atteint 85 à 90 % du produit de référence (le glyphosate). Il est à la fois désherbant, dessicant et défanant. À l'origine issu du pélargonium odorant, il est maintenant extrait en grande quantité de l'huile de colza et même de tournesol. En Belgique, l'acide pélargonique se trouve dans plusieurs préparations commerciales accessibles aux particuliers, associé au glyphosate (par exemple, ROUNDUP FAST[®] ou ROUNDUP SPRAY[®]). Paradoxalement ce sont donc des produits de Monsanto qui contiennent l'acide pélargonique ! En France, Syngenta commercialise le KATOUN[®],

Jade le BELOUKHA® et Clairland ou Compo l'HERBISTOP®. Tous ces produits ont obtenu des autorisations de vente en Europe (sur vigne et pour le défanage de la pomme de terre).

Également disponible, le désherbant de Neudorff FR, le FINALSAN ULTIMA JARDIN® à base d'acide pélargonique et d'hydrazide maléique (dosé très faiblement). Pour agir jusqu'aux racines, deux applications de cette substance à une semaine d'intervalle sont généralement nécessaires pour venir à bout de la plupart des vivaces, y compris le chardon ou le liseron. L'hydrazide maléique (utilisé en agriculture comme régulateur de croissance, et en particulier comme inhibiteur de germination pour la pomme de terre), qui n'est pas une substance naturelle, n'est pas considéré comme toxique pour l'homme et l'environnement, contrairement au glyphosate.

2.4.5. Conclusion au sujet des biopesticides

Le développement et l'usage des agents et produits de bio-contrôle sont en plein essor, car ces produits « alternatifs » répondent à une demande croissante pour des solutions qui respectent mieux la santé des utilisateurs et le milieu. La variété de ces nouveaux produits et de leurs modes de production est impressionnante, et on ne peut que s'en réjouir. Comme ils sont issus du milieu naturel et que leur activité s'explique par des mécanismes naturels, leur effet est potentiellement moindre sur l'homme ou sur la faune et la flore.

Néanmoins, comme tout organisme ou toute substance que l'on introduit volontairement dans l'environnement, et indirectement dans la chaîne alimentaire, il convient d'en évaluer les risques avec des méthodologies éprouvées et rigoureuses, quel qu'en soit le prix à payer. En effet, la procédure d'enregistrement constitue un frein économique, obligeant beaucoup de laboratoires à céder l'exploitation de leurs brevets aux grandes sociétés agrochimiques, ces dernières étant les seules à avoir la capacité de financer les études requises pour les dossiers d'évaluation.

Seuls les substances actives et les produits phytopharmaceutiques qui ont été évalués par l'EFSA (l'Autorité européenne de sécurité des aliments) et les États membres peuvent prétendre à revendiquer un risque acceptable dans des conditions normales d'emploi. Toute autre substance, même naturelle, qui n'aurait pas fait l'objet d'un tel examen doit, en conséquence, être considérée avec prudence et suspicion.

Ajoutons ceci : que ce soit pour les « pesticides » ou les « biopesticides » l'évaluation des risques présente néanmoins les mêmes limites, qui tiennent aux protocoles d'essai, aux incertitudes liées aux méthodes et aux limites des modèles employés. La maîtrise totale du risque est une illusion. Dans le cas de certains produits de bio-contrôle, l'évaluateur de risque sera encore plus circonspect, car il est souvent délicat de transférer telles quelles les méthodes d'évaluation utilisées pour les produits chimiques aux microorganismes. Comment, par exemple, évaluer valablement l'impact d'un micro-organisme utilisé comme agent de bio-contrôle sur la microflore du sol dont il a été isolé ? Force est de reconnaître que c'est plus compliqué et nécessite une tout autre approche que celle employée pour les produits chimiques.



2.5. Méthodes de lutte alternatives aux produits chimiques

2.5.1. L'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.

Citons comme exemple la petite chenille légionnaire (*Spodoptera exigua*) dont les chrysalides se trouvent dans le sol. Un autre exemple important concerne les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.). Dans un sol inondé, les populations de nématodes décroissent pour atteindre un niveau très bas, si la période d'inondation est suffisamment longue. Une période d'au moins un mois est recommandée.

Il est souvent possible pour le paysan d'inonder ses champs dans les bas-fonds inondables ou sur les sols en bordure des fleuves et rivières, où l'on pratique des cultures maraîchères. Si l'on cultive la tomate sur une parcelle préalablement inondée, on rencontre peu de problèmes de nématodes *Meloidogyne*.

2.5.2. L'utilisation de cultures pièges

Les cultures pièges sont des végétaux qui attirent certains ravageurs (comme les nématodes à kystes), mais qui les empêchent de compléter leur cycle évolutif. Certaines plantes (utilisées comme « engrais verts ») provoquent, par leurs exsudats racinaires, l'éclosion des kystes de nématodes (genres *Globodera* et *Heterodera*) qui contiennent des œufs. Les larves vont infester le système racinaire de ces plantes, mais, soit elles sont incapables d'y survivre et finissent par mourir, soit le producteur arrache ou détruit (avec un herbicide total et/ou par enfouissement) la culture suffisamment précocement. Grâce à l'éclosion d'une partie des kystes (de 30 à 70 % des kystes présents dans le sol) et à l'absence de multiplication, le nombre de nématodes/g de sol va diminuer. Cette technique peut être recommandée en cas de **fortes infestations** du sol.

Des cultures pièges de pois d'Angole, tournesol, maïs ou crotalaire peuvent, par exemple, être disposées autour des plants de **tomate** pour tenir la noctuelle (*Helicoverpa armigera*) à l'écart de la culture. À noter que certaines plantes sont antagonistes des nématodes, comme les tagètes, par exemple.

2.5.3. Utilisation des agro-textiles



Les « agro-textiles » (tissés, non tissés ou tricotés) sont destinés à faire une barrière physique empêchant les insectes de manger, piquer ou sucer les végétaux afin d'éviter les dégâts directs ou indirects (transmission de virus, souillures avec les excréments, etc.). Le choix de la dimension de la maille est fonction de l'insecte à combattre.

On recherchera des mailles de l'ordre de 300 μm pour les thrips et de 500 μm pour les pucerons. L'étanchéité de la protection mécanique doit être la plus parfaite possible et les plantes ne doivent pas toucher les voiles. Les résultats sont décevants avec les insectes dont les pupes (ex. : mouches de la carotte ou du chou) ou les nymphes (ex. : noctuelles) séjournent dans le sol des parcelles. Ils sont souvent employés pour la **protection des pépinières** contre les pucerons, mouches blanches..., vecteurs de virus, contre les thrips ou les altises.

Ces « voiles » destinés à la protection physique devraient présenter une faible incidence sur l'élévation des températures, l'hygrométrie, et la ventilation. Toutefois, compte tenu des modifications climatiques apportées par les agro-textiles, qui freinent les échanges d'air et diminuent la luminosité, leur utilisation est souvent limitée en régions chaudes.

2.5.4. La solarisation des sols

Cette technique de désinfection solaire est obtenue en recouvrant le sol d'une bâche plastique. La nécessité d'un arrosage amenant l'humidité du sol à la capacité au champ a largement été démontrée. L'intensité lumineuse doit permettre d'obtenir une élévation rapide de la température dans les 3 premiers jours qui suivent la pose de la bâche plastique et nécessite l'usage d'un film plastique adapté et résistant aux UV.

L'intérêt de la solarisation a principalement été montré pour les champignons pathogènes du sol et pour le désherbage ; moins pour les ravageurs, mis à part les nématodes.





Petites parcelles en solarisation

La solarisation semble agir plus sur l'équilibre relatif entre les différents organismes présents dans le sol, en particulier antagonistes/pathogènes que par une action comparable aux traitements chimiques qui créent un « vide biologique ». Elle peut, dans un certain nombre de cas, aider à l'implantation d'antagonistes dans le milieu.

2.5.5. La désinfection des sols par la vapeur

L'injection de vapeur d'eau après préparation du sol élève la température de celui-ci à un niveau létal pour de nombreux organismes cibles (maladies, ravageurs, semences d'adventices). La vapeur d'eau va donc désinfecter les sols, protéger les cultures principalement contre les champignons du sol et détruire les graines d'adventices. L'importance de la désinfection est proportionnelle à l'épaisseur de sol traitée donc au temps de traitement. Le coût de traitement reste élevé, mais la technique n'engendre aucun problème de résidus.



Appareil de traitement à la vapeur (« cloches » à vapeur)

On considère qu'une température de 75 °C est nécessaire pour détruire les graines de mauvaises herbes et les principaux champignons. L'application de vapeur d'eau au sol peut être faite soit avec des bâches plastiques, soit avec des « cloches », qui sont des plaques métalliques équipées d'injecteurs de vapeur d'eau. Les cloches métalliques sont laissées en place 5 à 10 minutes pour atteindre 80 à 90 °C à une profondeur de 8 à 10 cm, ce qui est largement suffisant pour avoir un bon désherbage, mais qui peut être insuffisant pour lutter contre des champignons du sol (recontamination à partir des couches profondes).

Les effets secondaires d'une telle désinfection sont connus : remontée du pH et de la salinité. Avec la décomposition de la matière organique, on constate une augmentation de l'azote ammoniacal (NH_4^+) et nitrique (NO_3^-), voire du dioxyde d'azote (NO_2). Ces facteurs doivent être pris en compte pour le raisonnement de la fertilisation. De plus, il peut y avoir des excès de manganèse soluble dans le cas d'une désinfection en profondeur.

2.5.6. Le ramassage à la main

Le ramassage à la main est une méthode de lutte parfois recommandée pour détruire de grands insectes bien visibles. C'est une méthode surtout **utilisable sur de petites parcelles**, par exemple, dans les cultures maraîchères des petits producteurs. C'est une méthode régulièrement employée en Chine.

Comme exemple d'insectes faciles à ramasser à la main, on peut citer les grands coléoptères, très visibles à cause de leur taille et de leur coloration, les chenilles, les grandes punaises et les sautériaux. Les chenilles de *Spodoptera littoralis* sont faciles à détruire peu après leur éclosion, car elles restent groupées sur la feuille qui les a vues naître. On peut éliminer les feuilles qui portent leurs pontes.

2.5.7. L'écartement des ravageurs

La mise en place dans les parcelles d'épouvantails, de drapeaux ou de bandes de plastique brillantes entre les plantes chasse les oiseaux granivores. Avec le vent ils produisent des mouvements ou des sons qui les effraient. Certains utilisent aussi la fumée, mais elle contient des substances provenant de la combustion qui sont toxiques et peuvent contaminer les produits (ex. : benzopyrènes).

2.5.8. Le désherbage thermique

Il s'agit de la destruction des adventices par un choc thermique provoqué par le passage d'une source de chaleur (généralement une flamme nue, parfois de l'eau très chaude) : les parties atteintes sont détruites après la dégradation de la cuticule cireuse et la coagulation des protéines dues au choc thermique. Seules les parties aériennes sont concernées. Le désherbage thermique entraîne une destruction de 80 à 90 % des adventices annuelles (particulièrement les dicotylédones) quand il est appliqué juste après leur levée. Par contre, un traitement tardif sur des annuelles ou une application sur des vivaces a un impact beaucoup moins marqué.



Exemple de désherbage thermique

Annexes : Définitions et préparations diverses

A.1. Définitions utiles

Lutte raisonnée – *lutte dirigée* : 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 (OILB/SROP, 1973).

Lutte intégrée – *integrated control* ou *integrated pest control* : système de gestion des populations de ravageurs qui, dans le contexte de l'environnement associé et des dynamiques des populations des espèces nuisibles, met en oeuvre toutes les techniques appropriées, d'une manière aussi compatible que possible, pour les maintenir à des niveaux inférieurs à ceux causant des dommages d'importance économique. Dans son sens restreint, elle s'applique à la gestion d'une seule espèce de ravageur dans des cultures données ou dans des lieux particuliers. Dans son sens élargi, elle s'applique à la gestion harmonieuse de toutes les populations d'organismes nuisibles dans leur environnement agricole ou forestier. Ce n'est pas une simple juxtaposition ou superposition de deux techniques de lutte (telles que la lutte chimique et la lutte biologique) mais l'intégration de toutes les techniques de gestion adaptées aux facteurs naturels de régulation et de limitation de l'environnement (FAO, 1967).

Protection intégrée – *integrated plant protection, integrated pest management (IPM), integrated crop protection* : système de 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 oeuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance (OILB/SROP, 1973).

Production agricole intégrée – *integrated agricultural production* : système de production mettant en oeuvre un ensemble de techniques culturales satisfaisant à la fois les exigences écologiques, économiques et toxicologiques, en vue d'obtenir une récolte qualitativement optimale (OILB/SROP, 1980).

Production intégrée (exploitation agricole intégrée) – *integrated production (integrated farming)* : système agricole de production d'aliments et d'autres produits de haute qualité qui utilise des ressources et des mécanismes de régulation naturels pour remplacer des apports dommageables à l'environnement et qui assure à long terme une agriculture viable (OILB/SROP, 1993).

La compétition : désigne une situation dans laquelle une ressource est en quantité insuffisante pour répondre aux besoins de deux individus de la même espèce (compétition intraspécifique), ou aux besoins de deux populations d'espèces différentes (compétition interspécifique). Le phénomène de compétition, induit entre espèces exploitant le même type de ressource dans un environnement stable, conduit à l'élimination de l'une d'elles à plus ou moins brève échéance (principe d'exclusion réciproque ou encore d'exclusion compétitive). Elle peut se manifester à la suite de l'introduction volontaire d'un auxiliaire.

La prédation : est définie comme une activité de capture de proies par les animaux de régime carnivore ; ce phénomène ne conduit pas à l'élimination des populations de proies, à la différence de la compétition, un équilibre s'établissant en fonction de l'aptitude du prédateur à capturer sa proie et inversement en fonction de la capacité de la proie à échapper à la capture. Cependant, le taux de prédation peut atteindre des niveaux fort élevés lorsque la proie ne peut fuir le prédateur : c'est bien sûr le cas de nombreux insectes tels que les pucerons, qui compensent ce handicap par un potentiel biotique très élevé. Il est fréquent d'observer que les prédateurs se concentrent dans les parcelles où les proies sont les plus abondantes.

Le parasitisme : se caractérise comme l'association entre deux espèces dont l'une, dénommée l'hôte, héberge la seconde qui vit à ses dépens au plan trophique. Cette relation est le plus souvent stricte, un parasite étant inféodé à une seule, voire à quelques espèces hôtes bien déterminées, alors que la prédation, décrite ci-dessus, est une relation plus large, souvent peu spécifique. Les cycles de développement des parasites peuvent être fort complexes, certains devant suivre un passage obligé entre deux, voire trois hôtes successifs ; de plus, une phase libre peut succéder à une phase parasitaire au sein d'un même cycle. Les aléas d'un tel système de développement sont généralement compensés par un fort potentiel reproducteur, voire par une aptitude à la multiplication asexuée. L'usage récent privilégie la dénomination de **parasitoïdes** quand l'hôte ne survit pas à l'action parasitaire.

La résistance : peut se définir comme la capacité d'une variété à produire une récolte plus abondante, de bonne qualité, que les variétés ordinaires pour une même densité de ravageurs. La résistance à une maladie ou un ravageur peut être totale ou partielle.

La tolérance : indique la capacité d'une variété à se développer et à se reproduire en dépit de l'existence d'une population de ravageurs identique à celle qui endommage une variété sensible. L'utilisation de variétés résistantes et tolérantes favorise également la survie des espèces utiles ; cette méthode s'inscrit donc naturellement dans le cadre de la lutte intégrée.

A.2. Préparations à base de Baculovirus

Il faut tout d'abord récolter environ 20 chenilles de la fausse arpeuteuse du chou (*Trichoplusia ni*) infectées, et bien les écraser avec un peu d'eau. On passe le broyat ainsi obtenu à l'aide d'un tissu propre. Enfin, on dilue le broyat jusqu'à obtenir un volume de bouillie suffisant pour traiter environ un demi-hectare. Après 3 à 4 jours, les chenilles sont malades et meurent. Il est important que l'on fasse cette application le plus tôt possible, lorsque les chenilles sont encore jeunes, afin d'éviter qu'elles ne fassent des dégâts sérieux. On a obtenu de bons résultats avec les chenilles de la fausse arpeuteuse du chou et de la noctuelle de la tomate (*Helicoverpa armigera*).

Une autre méthode pour répandre la maladie virale parmi les chenilles est d'utiliser la forme dormante, qui est très résistante aux facteurs de l'environnement. On peut l'obtenir par la fermentation du broyat de chenilles malades mentionné ci-dessus. On dilue ce broyat dans un pot avec de l'eau et on laisse fermenter le mélange pendant quelques jours dans le pot ouvert à la température ambiante. Les formes dormantes du virus forment un sédiment blanchâtre. On peut jeter l'eau qui est au-dessus du sédiment. On peut garder les formes dormantes jusqu'à 15 ans dans un congélateur.

A.3. Préparations à base de Neem

Résumé du procédé d'utilisation du neem :

- ramasser les fruits ou les graines du neem sous les arbres ;
- les laisser bien sécher à l'ombre pendant quelques jours ;
- piler soigneusement les graines pour obtenir une poudre fine ;



Ramasser et piler les graines de neem (Photos S. Dihoue)

- mélanger la poudre avec de l'eau (environ 800 g/15 l d'eau) dans un récipient et faire macérer 12 heures ;
- filtrer la bouillie à l'aide d'un tamis dont les mailles sont inférieures à 0,25 mm² ;
- ajouter un peu de savon (par exemple, savon dit « de Marseille ») ;
- asperger ou pulvériser sur les plantes ;



Préparation et mélange de la pâte de neem à l'eau (Photos S. Dihoue)

- le produit actif se trouve principalement dans l'amande. C'est pour cela que si l'on utilise la poudre obtenue à partir des fruits entiers séchés, l'on a besoin d'une quantité double de celle obtenue à partir des graines seules.



Préparation de 10 litres de solution du neem :

- On peut utiliser de petites boîtes de concentré de tomate pour mesurer la poudre. Une boîte remplie à ras contient 50 grammes de poudre environ.
- Si l'on utilise la poudre obtenue à partir de graines, on a besoin de 10 boîtes rases pour 10 litres d'eau. Dans le cas de la poudre obtenue à partir de fruits entiers il faut 20 boîtes rases de poudre pour 10 litres d'eau.
- On enveloppe la poudre dans une toile fine, ou on la place dans un sac de tissu fin.
- On la plonge dans un seau contenant 10 litres d'eau et on la laisse macérer durant une nuit entière (environ 12 heures). On essore de temps en temps la toile et son contenu.
- Le lendemain on dissout dans un peu d'eau 1 cuillerée environ de savon râpé. Puis l'on mélange la solution obtenue avec les 10 litres de décoction de neem.

Application :

On applique environ 500 litres/ha de bouillie (mélange neem et eau) en utilisant un pulvérisateur à dos. Si l'on ne dispose pas de pulvérisateur, on peut asperger le produit avec un arrosoir, ou avec un balai de tiges, feuillues et souples, que l'on trempe dans le seau. On dirige l'application sur les insectes visibles et sur les parties des plantes que l'on veut protéger. Dans le cas de pucerons et d'autres insectes suceurs, on veille à bien traiter la face inférieure des feuilles.

Dans les cultures de maïs et sorgho, on peut appliquer un mélange de poudre de neem et de sciure de bois (ou de son) directement dans les cornets de la plante. Le mélange est constitué de 50 % de poudre de neem et de 50 % de sciure de bois. On applique une dose de 0,5 gramme de poudre de neem environ par cornet, soit 1 gramme de mélange par plante (une pincée). L'application commence environ 10 jours après la levée et se répète tous les 7 à 10 jours (méthode préventive). La pluie fera descendre le produit vers le bas du cornet, là où se trouvent les chenilles. Parfois, il n'est pas nécessaire de traiter toutes les plantes dans le champ. On peut limiter l'application à des zones où les plantes montrent des dégâts des foreurs de tiges (méthode curative).

A.4. Préparations à base de savon

Une méthode très simple de lutte contre les pucerons et les thrips consiste à pulvériser une solution savonneuse. Dans 5 litres d'eau, on mélange 30 grammes de savon (par exemple, savon de Marseille) ou 30 ml de savon liquide. Il est recommandé de tester la solution sur quelques plantes témoins pour être sûr de ne pas endommager les plantes. Après 2 jours, on peut inspecter les plantes pour s'assurer que cette solution n'a pas brûlé les feuilles.

A.5. Préparations à base de tabac

Le tabac contient de la nicotine, qui est un poison organique très toxique. Ses feuilles et ses tiges sont utilisés pour préparer des bouillies que l'on pulvérise pour lutter contre nombre d'insectes (pucerons, chenilles, altises, thrips, mineuses de feuilles) et d'acariens.

Préparation d'une bouillie insecticide à partir de tabac :

➤ **Méthode 1 :**

Écraser ou piler 1 kg de tiges et feuilles de tabac, puis mélanger le broyat obtenu à 15 litres d'eau, avec un peu de savon. Laisser reposer le mélange 1 jour, puis le filtrer soigneusement afin d'éliminer les particules végétales. Traiter avec la solution obtenue en utilisant un pulvérisateur équipé d'une buse pour pulvérisations fines.

➤ **Méthode 2 :**

Mélanger 250 grammes de tabac (par exemple, provenant de la collecte de mégots de cigarettes) à 4 litres d'eau. Ajouter 30 grammes de savon (par exemple, savon de Marseille).

Laisser bouillir faiblement le mélange pendant 30 minutes, puis le filtrer soigneusement. Ajouter 16 litres d'eau propre au filtrat et traiter avec la solution ainsi obtenue à l'aide d'un pulvérisateur équipé d'une buse pour pulvérisations fines.

A.6. Réalisation d'un test sommaire de germination

La réalisation d'un test de germination préalablement au semis est un moyen efficace pour s'assurer de la capacité des semences à produire des plants vigoureux. Réalisez ce test sommaire de germination ; il est particulièrement recommandé pour les semences de légumes, de céréales et de légumineuses :

- prélevez 100 semences provenant d'un lot destiné à la plantation ;
- placez-les sur un chiffon ou un papier absorbant humide dans un bocal en verre ou un autre récipient propre ;
- conservez le chiffon ou le papier absorbant légèrement humide ;
- examinez les semences tous les jours, durant une semaine, pour s'assurer de leur germination et de l'émergence des racines et des pousses ; comptez le nombre de semences qui ont germé sur les 100 semences de départ et retirez-les du bocal ; le nombre de semences germées indiquera la proportion de semences saines dans le lot d'origine ;
- si le nombre de semences germées est insuffisant, débarrassez-vous du lot ou augmentez la densité de semis.



2.1. La lutte biologique

2.1.1. Définition

La protection des cultures contre les organismes nuisibles a eu recours à diverses méthodes culturales et biologiques 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**.

Définition de l'OILB : « utilisation d'**organismes vivants** (à la différence du "biopesticide", 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 ».

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 parasitaires.

2.1.2. Principes et stratégies de mise en œuvre

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 régulation sont généralement devenus insuffisamment efficaces ou actifs** pour faire face à eux seuls aux situations de pullulation des ravageurs.

Chapitre 3

Développer une stratégie de lutte intégrée

Qu'entend-on par « stratégie » en protection des cultures ?	65
Les quatre composantes à considérer dans toute stratégie	68
Les interactions à envisager	80
La boîte à outils de la lutte intégrée	94
La démarche stratégique	98



3.1. Qu'entend-on par « stratégie » en protection des cultures ?

On peut parler de « stratégie » lorsqu'on met volontairement en œuvre **un ensemble de méthodes et d'actions coordonnées en vue d'atteindre un but précis**. Il s'agit donc de mesures de prévention et d'intervention cohérentes, intervenant à tous les stades de la culture (avant, pendant et après la récolte), selon une logique séquentielle (ex. : avant et au semis ; pendant le stade végétatif ; à la floraison ; à la fructification ; à la récolte ; en post-récolte), pour atteindre un ou plusieurs **objectifs**.

Il est donc crucial pour le producteur de **clarifier ses objectifs** avant de songer à élaborer une stratégie de protection de ses cultures. Or, on le sait, dans ce domaine, les objectifs sont souvent **nombreux et parfois contradictoires**.

On peut citer entre autres :

- maximiser le rendement (le plus souvent « optimiser » le rendement) ;
- maîtriser ses coûts de production ;
- préserver la qualité commerciale des produits ;
- respecter les normes sur les résidus ;
- réduire l'impact sur l'environnement (sol, eau, air, la biodiversité, la biomasse) ;
- éviter la destruction des pollinisateurs et des auxiliaires ;
- éviter l'apparition de résistances chez les bioagresseurs ;
- respecter les réglementations (notamment les produits autorisés et les « Bonnes Pratiques Phytosanitaires ») ainsi que les cahiers de charge des clients (ex. : GLOBALG.A.P., Tesco NC, Charte Perfect, Terra Nostra... ;
- etc.

Au niveau opérationnel, la stratégie se traduira en un « **itinéraire technique de protection** » (aussi appelé « **Itinéraire IPM** », l'IPM étant l'*Integrated Pest Management* ou Lutte intégrée en français) que l'on peut considérer comme un « **plan d'action** ». Toute bonne stratégie comportera également des « **plans d'action alternatifs** », c'est-à-dire des options en matière de lutte, utilisables en cas d'événements fortuits changeant fortement la situation (ex. : événements météorologiques exceptionnels imprévisibles, invasion inhabituelle d'un organisme nuisible, contournement de la résistance variétale par un bioagresseur, etc.). La « protection intégrée » ne peut cependant pas se résumer à un itinéraire technique. Il s'agit de concevoir son système en adoptant **une vision à long terme**.

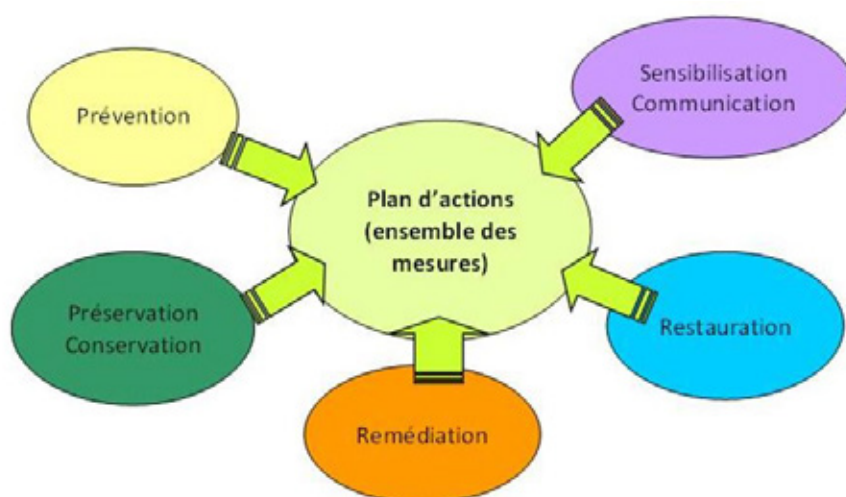
Ainsi, face à la pression exercée par les adventices et les bioagresseurs de toutes natures, élaborer une « **stratégie de lutte intégrée** » c'est **étudier l'ensemble des méthodes de prévention ou de lutte** qui maximiseront les chances d'atteindre les objectifs visés (ex. : protection de la récolte en réduisant les risques pour la qualité et la sécurité sanitaire des denrées). Le plan d'action découle d'un **raisonnement stratégique complexe**, car il doit faire la part entre la volonté d'atteindre les objectifs visés et les contraintes auxquelles doit faire face le producteur (ex. : le contexte économique, les caractéristiques du milieu, les compétences de l'agriculteur, la disponibilité des variétés

résistantes ou des produits phytosanitaires souhaités, etc.). Chaque producteur doit trouver lui-même les meilleures combinaisons de pratiques et/ou de méthodes de lutte pour élaborer un plan d'action qui soit **pertinent pour son exploitation** : préserver ses atouts, travailler les points faibles les uns après les autres pour maîtriser les incidences de chaque choix, sortir des références traditionnelles et apprendre à conduire une culture **en pensant d'abord à l'agro-écosystème dans son ensemble**.

Le « plan d'action » comprendra notamment :

- des pratiques agronomiques respectueuses de l'environnement ;
- des mesures de prévention (ex. : prophylaxie, semences ou plants certifiés, variétés tolérantes ou résistantes) ;
- des actions de préservation (ex. : fertilité des sols), et de conservation (ex. : haies qui abritent des insectes auxiliaires ou des oiseaux) ;
- des mesures de sensibilisation (formation, communication vers les petits producteurs) ;
- des mesures de restauration (ex. : améliorer le taux de matière organique et la biomasse du sol) ;
- des actions de remédiation (ex. : lâchers d'auxiliaires, hôtel à insectes, augmentoriums, insectariums, cultures associées...).

Cela revient à adopter en lutte intégrée les principes de l'agro-écologie : non plus faire *contre* la nature (« lutter contre des ennemis »), mais faire *avec* la nature (« réactiver à son profit les processus écologiques et bénéficier des services écosystémiques pour protéger ses cultures »).



Toutefois, un bon raisonnement stratégique doit intégrer les **ressources disponibles** dans l'analyse du problème et la formulation du plan d'action, car le fait de disposer ou non de certaines ressources ou de ressources suffisantes peut conditionner fortement, d'une part la définition des objectifs, d'autre part la capacité même de concevoir un plan d'action cohérent.

La « bonne » stratégie ne peut donc évacuer *a priori* la question des ressources : elle peut conduire en effet à renoncer à des objectifs pressentis comme « irréalistes » ou du

moins à les reformuler. Pour Robert Kaplan, si 90 % des démarches stratégiques passent à côté de leurs objectifs, ce n'est par manque de formulation claire, mais bien en raison des difficultés de mise en œuvre généralement par une surestimation des capacités du producteur et/ou de l'entreprise. Les ressources allouées peuvent être humaines, (bio-) technologiques, industrielles, commerciales ou financières. Cependant, les ressources financières possèdent une caractéristique qui leur est propre : elles permettent l'acquisition des autres ressources. Il est donc évident que la capacité de financement et d'endettement d'une entreprise lui permet d'avoir une plus grande latitude dans l'élaboration de sa stratégie. Une réflexion pertinente sur les ressources permet aussi de **valoriser celles qui existent localement, souvent sous-estimées** (ex. : extrait de plantes locales à propriété insecticide, ou les savoirs et les pratiques ancestrales), et de voir comment en tirer parti, notamment pour minimiser les coûts de production et économiser les ressources.

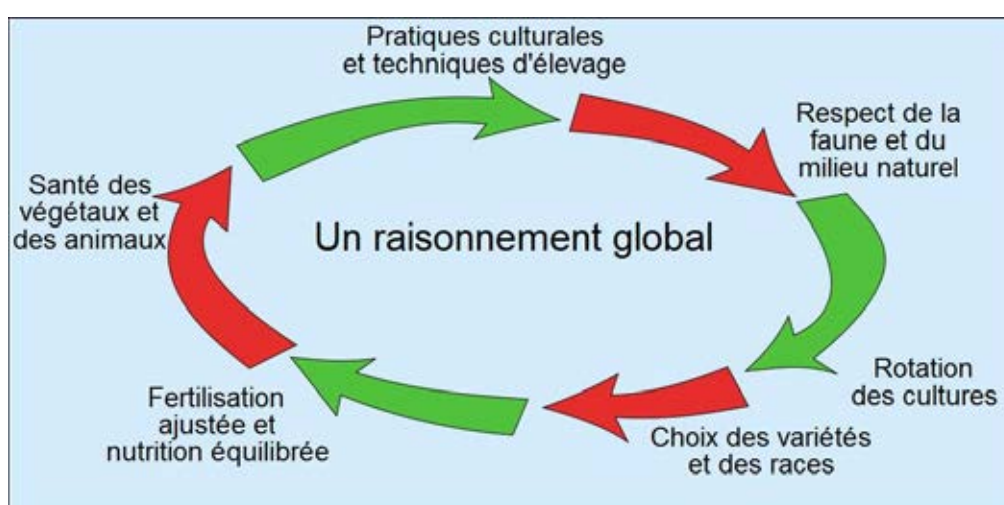
L'analyse du contexte de l'entreprise (prise de responsabilité, perception et conscience face aux risques...) ne peut pas se limiter aux aspects strictement économiques de la stratégie, mais doit au contraire **intégrer les enjeux de santé, les aspects environnementaux et sociaux** dans une vision globale de type **développement durable**. Les actions et opérations du « plan d'action » nécessitent non seulement une allocation de ressources, mais aussi **un engagement de la part de l'entreprise sur le long terme** notamment si un renforcement de capacité est indispensable (ex. : formation du manager, des cadres intermédiaires et des ouvriers ou des petits producteurs qui fournissent l'entreprise). Cette vision à long terme est indispensable pour agir sur le comportement et changer en profondeur les pratiques.

La démarche stratégique peut être sommairement définie comme « l'art et la manière » de préciser la moins mauvaise route à suivre, à moyenne ou longue échéance, en tenant compte de l'environnement externe (risques et opportunités) et des capacités et possibilités disponibles en interne. Une bonne stratégie est durablement rentable et motivante, ce qui garantit sa pérennité.



3.2. Les quatre composantes à considérer dans toute stratégie

Pour atteindre un **bon état sanitaire des végétaux cultivés** (et accessoirement des animaux), il faut se baser sur un « **raisonnement global** », comme montré dans la figure suivante : de bonnes pratiques culturales (la base de tout), le respect de la faune auxiliaire et des équilibres biologiques dans le milieu, une rotation adaptée qui permet de limiter la pression des bioagresseurs, le choix de variétés rustiques et résistantes, une fertilisation équilibrée qui ne fragilise pas la plante.



Lorsqu'on envisage d'élaborer une stratégie de lutte intégrée, **quatre composantes** doivent être considérées :

- **le bioagresseur** (l'ennemi de la culture, celui qui engendre des dégâts jugés économiquement inacceptables pour le producteur : champignon, bactérie, virus, insecte, acarien, nématode, adventice concurrente ou parasite...)
- **la plante** (l'espèce cultivée, dont on espère une production en qualité et quantité) ;
- **les conditions du milieu** (l'état physique du milieu, le climat, la biodiversité...)
- **les pratiques culturales** (le mode de culture adopté et les opérations effectuées).

Chaque composante est particulière et **aucune n'est plus importante que l'autre** à considérer.

Pourtant, force est de constater que, le plus souvent, en matière de lutte contre les maladies et ravageurs, l'essentiel de l'attention est accordé à l'étude du bioagresseur, de son cycle biologique et de ses effets sur la culture, et **trop peu sur les autres facteurs**. Cette attitude est le plus souvent le fruit de décennies d'un recours systématique et intensif aux pesticides (fongicides, insecticides et herbicides) qui, par leur simplicité

d'emploi (il suffit de suivre les instructions portées sur l'étiquette) et leur efficacité (fût-elle temporaire ou partielle à cause de la résistance à ces produits qui apparaît tôt ou tard), ont pu affranchir le chercheur et l'agriculteur de s'interroger sur le contexte général dans lequel ils intervenaient. Dès que l'efficacité diminue ou quand les substances actives sont retirées du marché, ces derniers se trouvent par conséquent pris au dépourvu pour comprendre comment analyser le problème phytosanitaire et envisager une autre stratégie de maîtrise des dégâts.

Pour chacune de ces quatre composantes, il faudra donc, d'une part s'intéresser à ses caractéristiques propres, et singulièrement à celles qui ont un effet déterminant dans le cadre de la protection de la culture, mais d'autre part **aux interactions entre toutes ces composantes**.

3.2.1. En ce qui concerne le bioagresseur

Pour élaborer une stratégie de lutte intégrée, plusieurs caractéristiques du bioagresseur doivent être connus, comme :

- sa nature (identification précise, éventuellement jusqu'au pathotype, à la souche ou à la sous-espèce) ;
- son cycle biologique (avec ou sans phases asexuée et sexuée ; unicycle ou multicycles) ;
- la durée de son cycle en fonction des conditions climatiques et/ou des ressources disponibles ;
- ses formes (ex. : forme parfaite ou imparfaite des champignons ; hétérotrophe ou autotrophe ; stade larvaire ou adulte chez les insectes ; stade juvénile ou mature chez les nématodes ; etc.) ;
- son ou ses stades infestants/dommageables ;
- les conséquences de ses attaques en lien avec le stade de son hôte ;
- ses hôtes principaux (et éventuellement alternatifs) ;
- sa sensibilité ou au contraire ses résistances aux produits phytopharmaceutiques ;
- sa capacité à contourner la résistance des variétés ;
- etc.

Comme on le voit, l'ensemble de ces informations est souvent plus du ressort d'un spécialiste de l'entomologie, de la nématologie ou de la phytopathologie que d'un petit producteur, car la connaissance approfondie des caractéristiques biologiques de base est requise. C'est tout l'intérêt de produire des « itinéraires IPM » qui pourront être vulgarisés et recommandés aux producteurs.

On pense souvent que les bioagresseurs sont des facteurs externes, introduits dans la production agricole. Or, dans la plupart des cas, ils sont présents naturellement dans l'écosystème agricole. Les bioagresseurs et les espèces qui les accompagnent – prédateurs, parasites, pollinisateurs, concurrents et décomposeurs – sont des composantes de la biodiversité agricole associée aux cultures, qui remplissent tout un éventail de fonctions écosystémiques. D'habitude, les recrudescences ou les infestations de bioagresseurs apparaissent lorsque s'interrompent les processus naturels qui les régulent. Les pesticides éliminent les ravageurs, mais aussi leurs ennemis naturels, ce qui peut entraîner une recrudescence des attaques avec des dommages aux cultures plus grands qu'avant le traitement chimique (« effet *boomerang* »).

Deux exemples illustrent ce propos :

- Les attaques importantes de **mineuses des feuilles** (*Liriomyza* sp.) sont souvent dues à l'élimination de ses ennemis naturels par l'usage excessif d'insecticides qui de plus n'ont aucun effet sur les larves mineuses qui sont à l'abri dans les feuilles. Par conséquent, les populations de mineuses débarrassées de leurs ennemis naturels explosent. Contre ce ravageur il est alors souvent nécessaire d'avoir recours à des insecticides spécifiques qui atteignent les larves dans les feuilles.
- Les **tétranyques** (acariens) sont souvent mal contrôlés par des insecticides ayant en même temps une action acaricide (exemple du diméthoate) et de plus ces produits sont généralement néfastes aux auxiliaires. En traitant de manière inconsidérée avec ce genre de produits, on obtient souvent l'effet inverse de celui attendu et les populations de tétranyques, libérées de leurs ennemis naturels, explosent alors. Il est préférable d'utiliser contre les tétranyques des acaricides spécifiques et ayant peu ou pas d'impact sur les auxiliaires.



Forte attaque de tétranyques sur plant de tomate (photo G. Delhove)

Il faut garder un certain équilibre, souvent compliqué à atteindre, entre les bioagresseurs et leurs ennemis naturels. Il faut en effet se souvenir que l'éradication complète du bioagresseur dans la parcelle réduira la ressource disponible pour le maintien de ses ennemis naturels, qui constituent un élément fondamental concourant à la résilience du système. L'objectif est donc de « gérer la lutte contre les insectes nuisibles jusqu'au point où la prédation naturelle fonctionne de manière équilibrée et les pertes de culture dues aux ravageurs sont maintenues à un niveau minimum acceptable » (FAO).

3.2.2. En ce qui concerne la plante cultivée

Cet aspect est logiquement mieux appréhendé par le producteur qui a souvent une longue expérience de ses cultures.

Les principales caractéristiques à considérer sont :

- le type de culture (à savoir l'espèce cultivée, mais aussi s'il s'agit d'une culture annuelle ou pérenne) ;
- la variété (avec ses exigences et sa sensibilité) ;
- le cycle cultural (ainsi que la longueur du cycle) ;
- les stades sensibles de la culture ;
- la capacité de la plante à récupérer en cas d'attaque.

Pour l'**aspect variétal**, si l'on prend le cas de la tomate, il existe de nombreuses variations dans la croissance de la plante, la précocité, la forme et la couleur des fruits. Les principaux groupes comprennent les variétés précoces ou tardives, les fruits côtelés ou lisses, les fruits ronds ou allongés, ou encore les variétés à vocation industrielle ou pour le marché du frais. Une première différence importante apparaît dans le type de croissance (indéterminée ou déterminée). Une autre différence importante est la présence de **caractères de résistance ou de tolérance** aux maladies et aux insectes.

Voyons quelques aspects importants à considérer.

1. **Les variétés indéterminées et déterminées** : la croissance des variétés indéterminées se prolonge après chaque nouveau bouquet. Dans le cas des variétés déterminées, il n'y a qu'une ou deux feuilles entre les inflorescences et la tige s'arrête avec une inflorescence terminale. Les variétés à port dense, notamment les variétés de type déterminé, seront plus sensibles aux maladies qui ont besoin d'une forte humidité atmosphérique pour se développer (bactérioses du feuillage, mildiou...), car la plante sera peu ventilée.



Plant de tomate à croissance déterminée (photo G. Delhove)

2. **La résistance variétale** : il existe des gènes de résistance à des maladies ou à des ravageurs. Les variétés locales peuvent déjà avoir ces caractères de résistance. Il faut pouvoir les repérer et favoriser ces variétés dans les zones de cultures où ces maladies sont présentes. Les variétés importées ayant des résistances connues ne

sont pas nécessairement capables d'exprimer cette résistance dans les conditions locales. Ces résistances doivent être préalablement contrôlées. Les résistances aux maladies et aux insectes sont multiples, non seulement selon les espèces de ravageurs concernés, mais aussi en fonction des races présentes du pathogène. Une connaissance préalable du type de ravageur présent est indispensable pour éviter des investissements inutiles dans des semences plus chères de variétés résistantes. En effet, une résistance peut s'exprimer dans un environnement précis et être limitée ou nulle dans un autre milieu. Il est donc nécessaire de vérifier si la résistance à une maladie de la variété proposée a bien été contrôlée dans l'environnement local. Les résistances sont indiquées selon un code qui correspond à la maladie et aussi parfois à la race de l'agent phytopathogène. Les emballages de semences portent ce code sur leur étiquette à côté du nom de la variété. Il peut y avoir plusieurs résistances incorporées dans une même variété.



Résistance aux maladies

3. **La tolérance variétale** : elle n'empêche pas la maladie d'apparaître, ou tout au moins certains symptômes, mais sans compromettre la rentabilité de la culture. Elle peut avoir une valeur tout aussi intéressante que la résistance complète, car elle ne favorisera notamment pas la sélection de souches du pathogène capables de surmonter cette tolérance. Il y a pratiquement un équilibre établi entre la plante et son parasite. Comme pour la résistance, une température élevée du sol peut rompre (annuler) la tolérance de la plante.

Certains bioagresseurs peuvent être présents sur une culture donnée **à tous les stades de développement de la culture** tandis que d'autres ne s'attaquent qu'à un ou plusieurs stades de la culture. Mais la présence sur la plante ne signifie pas nécessairement perte de rendement et de qualité de la récolte. Un bioagresseur donné provoquera des pertes plus ou moins importantes **en fonction du stade de la culture auquel il apparaît**. Par exemple, des mouches mineuses apparaissant en période de récolte sur tomate n'auront pratiquement pas d'impact sur la récolte, car elles mettront du temps à développer des populations importantes pouvant affecter la photosynthèse. Par contre, si ce ravageur apparaît aux premiers stades de la culture, l'impact sur la croissance des plantes peut devenir très vite important si le niveau d'attaque augmente sensiblement.

3.2.3. En ce qui concerne les conditions du milieu

Plusieurs éléments liés au milieu, c'est-à-dire à l'environnement au sens large, interfèrent grandement sur les relations entre les plantes cultivées et les bioagresseurs, et en tout premier lieu, les paramètres climatiques (y compris éventuellement le microclimat qui s'installe dans une culture du fait de sa conduite ou de sa mise sous abri) tels que la température, l'humidité relative, l'ensoleillement, la photopériode, l'écart entre températures du jour et de la nuit, etc.

Par exemple, la culture de tomates sous abri contre la pluie permet de limiter l'incidence de maladies telles que le mildiou, la bactériose ou l'alternariose, mais l'absence d'eau sur les feuilles favorise l'installation de l'oïdium ainsi que la prolifération de certains insectes piqueurs/suceurs, comme les pucerons ou les mouches blanches qui ne sont plus dérangés par la pluie. Des ravageurs comme les acariens tétranyques et l'*Aculops lycopersici* (acariose bronzée sur tomate) sont favorisés par un temps chaud et sec. Par contre, un acarien comme *Polyphagotarsonemus latus* (acariose déformante) préfère des conditions chaudes (sans excès), mais humides et un temps couvert.



Abri de fabrication locale pour cultures maraîchères (Photo G. Delhove)



*Cladosporiose sur feuille de tomate
(photo G. Delhove)*



*Alternariose sur feuille de tomate
(photo G. Delhove)*



*Mildiou sur feuille de tomate (Photo G.
Delhove)*

La vitesse et la direction du vent dominant, la richesse en biodiversité du milieu environnant, le sol... sont aussi des paramètres qui doivent être intégrés dans l'analyse des interactions.

Le milieu doit aussi être favorable au maintien des populations d'espèces antagonistes qui subsisteront dans des « zones refuges » pour les auxiliaires des cultures en absence de la culture. L'installation de haies, de bandes fleuries, de brise-



vent, de zones non traitées... vise à favoriser les équilibres écologiques en privilégiant des parcelles de petite à moyenne taille et des zones refuges. Les agriculteurs ont tout intérêt à mieux connaître le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes, ainsi que le rôle des organismes nuisibles, en tant que partie intégrante de la biodiversité agricole.



Haie de henné au Burkina Faso (Photo G. Delhove)

À titre d'exemple, on peut citer :

- implantation d'une bande de sorgho pour favoriser les auxiliaires des ravageurs du gombo en Martinique et notamment des pucerons (lutte biologique par conservation) ;
- couverture végétale des vergers de manguiers à La Réunion (accueil de prédateurs généralistes) ;
- introduction de plants isolés d'aneth et de coriandre sur l'exploitation agricole (accueil de micro-hyménoptères parasitoïdes, syrphes, chrysopes et coccinelles) ;



Plants de coriandre
(Photo G. Delhove)

- implantation de parterres d'asclépias (*Asclepia curassavica*) (accueil de pucerons jaunes *Aphis nerii* qui sont des proies de coccinelles, de syrphes et guêpes parasitoïdes) ;
- installation de massifs ou plants isolés d'œillets d'Inde et de tagètes (*Tagetes* spp.) (accueil de punaises prédatrices *Orius*) ;
- installation de plantes comme le gliricidia (*Gliricidia sepium*), le pois d'Angole (*Cajanus cajan*), le basilic (*Ocimum basilicum*), le tournesol (*Helianthus annuus*), les crotalaires (*Crotalaria* sp.)... pour leurs apports de proies secondaires, de pollen et de nectar, etc.

Le **sol est le milieu environnant les racines** des plantes et il doit idéalement avoir une bonne structure, une bonne porosité, une bonne profondeur, une bonne capacité de rétention en eau et contenir des éléments nutritifs assimilables par la plante. Les plantes se développeront moins bien et seront moins robustes si toutes ces caractéristiques ne sont pas bonnes. Au niveau du sol, **il faudra assurer une grande biodiversité d'organismes** qui pourront rendre une plus grande variété de services écosystémiques par des fonctions différentes : décomposer la matière organique, recycler les nutriments (minéralisation), stabiliser la structure du sol, participer à la formation de la matière organique, réguler l'eau, contrôler les maladies, les ravageurs et les mauvaises herbes, etc.

3.2.4. En ce qui concerne les pratiques culturales

Les pratiques culturales sont de nature à favoriser ou non le développement des adventices et des bioagresseurs, et bien entendu, en tout premier lieu, les pratiques phytosanitaires et les intrants (engrais et pesticides) utilisés. L'azote en excès tend à rendre la culture plus sensible aux attaques de certaines maladies. Mais bien d'autres pratiques, mises en œuvre par le producteur, sensibilisent ou non la culture. Citons, par exemple : l'absence de rotation des cultures ou des rotations trop courtes, ou encore un choix inapproprié de précédent cultural, le labour ou le non-labour, la destruction des résidus de la culture précédente, l'emploi de la technique du « faux semis » pour faire



germer les graines d'adventices ramenées en surface, ou la taille et les opérations d'effeuillage qui réduisent l'humidité ambiante...

Certaines **pratiques culturales sont importantes à considérer de manière globale**, car elles sont valables pour toutes les cultures et permettent d'éviter beaucoup de bioagresseurs.

- **Éviter l'excès d'humidité** : un sol lourd et mal structuré favorise un excès d'humidité provoquant, l'asphyxie des racines, le développement de maladies et réduisant la résistance des plantes. Par contre, il diminue le développement des nématodes en rendant difficile leur déplacement.
- **Éliminer les plants attaqués sans attendre la fin de la culture** : les plantes attaquées par certains bioagresseurs doivent être éliminées très précocement (dès l'observation des symptômes) sous peine de voir le bioagresseur se propager très rapidement dans la culture, vers des champs voisins, ou contaminer le sol de la parcelle. Les plantes arrachées doivent être détruites (brûlées, enterrées en dehors de la parcelle ou compostées de manière correcte). Pour d'autres ennemis, l'arrachage se fera uniquement si les plants sont fortement atteints. À ce moment, la plante ne sera de toute façon plus très productive et constituera une source d'infestation pour le reste du champ ou des champs voisins. Dans certains cas au lieu d'éliminer la plante entière on peut se limiter à enlever et détruire certains organes comme les fruits attaqués (par exemple, les fruits attaqués par des mouches des fruits).
- **Pratiquer la rotation des cultures** : par exemple, pour la tomate, on évitera des précédents appartenant à la famille des solanacées (aubergine, piment, pomme de terre...) ou pouvant héberger des ennemis communs (haricot, carotte, cucurbitacées...). Des cultures comme l'oignon, l'ail, le chou et les céréales sont de bons précédents pour la tomate.
- **Éviter le voisinage de plantes sensibles** : elles peuvent porter des ravageurs qui pourront se déplacer sur l'espèce que l'on veut cultiver. Il faudra en tenir compte lors du choix de l'espèce à cultiver ou les arracher si possible. Par exemple, on évitera de cultiver une espèce sensible aux acariens rouges à proximité d'une culture portant déjà des populations importantes de ce ravageur.
- **Éviter les brise-vent excessifs** : si la perméabilité des brise-vent est inférieure à 50 %, cela crée un microclimat favorable à de nombreux ennemis et surtout des maladies fongiques (humidité plus persistante sur les plantes).

Le **mode d'irrigation a aussi son importance**. Par exemple, pour la tomate, le fait de ne pas mouiller les feuilles (en effectuant une irrigation gravitaire ou au goutte à goutte) limite les risques de développement de maladies ayant besoin d'eau sur les feuilles pour se développer (*Xanthomonas*, *Alternaria*...). Par contre, cela met d'autres ennemis dans des conditions idéales de développement (*Leveillula taurica* ou autres oïdiums, *Tetranychus*, *Bemisia*, etc.). L'irrigation gravitaire a également le désavantage de transmettre par les canaux d'irrigation des ennemis tels que *Fusarium* et *Meloidogyne*.



Plant de carotte atteint par l'oidium en irrigation goutte à goutte (Photo G. Delhove)

Plusieurs pratiques culturales permettent de favoriser la protection des sols en limitant l'impact négatif des interventions humaines néfastes sur la structure naturelle des sols et celui des pluies, du soleil et du vent :

- limitation ou élimination des travaux de labour pour ne pas perturber la vie des sols ;
- maintien d'une couverture végétale permanente ;
- production et restitution au sol d'une forte biomasse par des plantes multifonctionnelles en association et/ou succession ;
- utilisation de mesures antiérosives mécaniques ou végétales ;
- etc.

Globalement donc, le **mode de production** influence grandement la biodiversité du milieu et, par conséquent, la résilience globale du système cultural. Il existe un lien fort entre « sol – pratiques culturales – biodiversité – sensibilité de la culture aux attaques ». Aussi, la **prévention**, qui occupe une place importante dans les stratégies de lutte intégrée, inclut non seulement la prophylaxie, mais **elle doit aussi être envisagée de manière beaucoup plus large** : avec des systèmes de culture intrinsèquement moins vulnérables aux bioagresseurs et moins favorables à leur prolifération (ex. : pratiquer l'agro-écologie), un recours limité à la lutte chimique est plus facilement envisageable, car les conditions propices à l'efficacité des solutions alternatives sont réunies (en agriculture biologique, à haute intensité écologique, on se passera même complètement sans trop de difficultés des produits chimiques pour la protection des cultures¹). La prévention reposera donc sur un ensemble de règles de base :

- utiliser des semences certifiées (triées et désinfectées) ;
- choisir des variétés résistantes ou tolérantes aux maladies ;

¹ Certains produits chimiques restent autorisés, à des conditions très strictes, en agriculture biologique même si la règle est normalement de n'en utiliser aucun. Une liste des substances autorisées et de leur emploi est disponible en fonction de la réglementation applicable localement et éventuellement des cahiers des charges à respecter. Le producteur devra donc s'y référer.

- conduire sa parcelle de manière à réduire les attaques des bioagresseurs (éviter les précédents à risque, semer plus tard, de façon moins dense, ne pas trop fertiliser, éliminer les résidus de culture...);
- diversifier et alterner les espèces et variétés cultivées (ex. : en introduisant des cultures associées) pour limiter les adventices et empêcher l'apparition de bioagresseurs résistants.

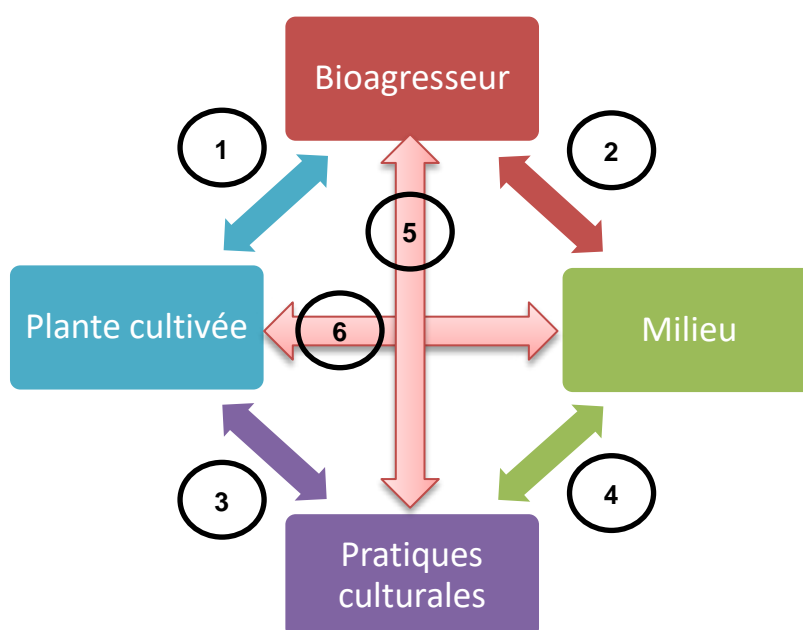
Comme le souligne la FAO, « **la première ligne de défense est un écosystème agricole sain** ».



3.3. Les interactions à envisager

Les interactions entre ces 4 composantes sont complexes. Pour illustrer le lien qui peut exister entre ces composantes, on peut se référer à l'image de la toile d'araignée : en tirant sur un fil, on peut déséquilibrer ou déplacer l'ensemble.

Comme dans la figure suivante, nous distinguerons six interactions possibles qui seront analysées ci-après.



3.3.1. Les interactions entre le bioagresseur et la plante cultivée



La plante cultivée peut être un hôte plus ou moins « efficace » pour le bioagresseur. Ce dernier est attiré sur la plante hôte par des messages chimiques (composés organiques volatils, ou VOC). Selon les stades de la plante, l'émission de VOC varie en composition et en intensité.

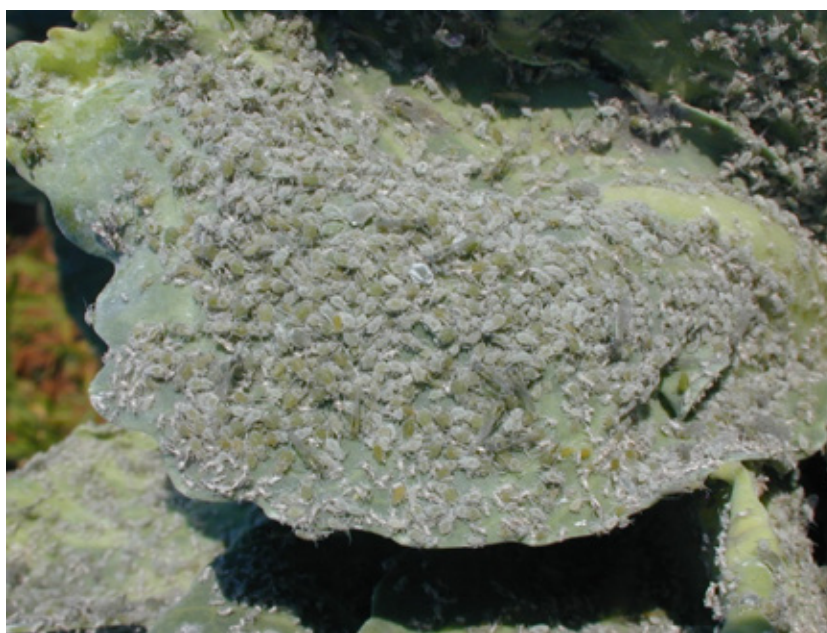
À titre d'exemple, on peut citer les études qui ont été menées sur les relations entre le bruchus (*Bruchus rufimanus*, un coléoptère) et la féverole (une plante de la famille des *Fabaceae* à laquelle ce coléoptère est spécifiquement inféodé) : les bruches apparaissent beaucoup plus attirés par les plantes de féverole au moment de la floraison, époque qui coïncide à la période de maturité sexuelle des bruches femelles. Celles-ci sont irrésistiblement attirées par les plantes pour aller y pondre

leurs œufs. Les chercheurs ont pu déterminer les composés volatils émis par les plantes, puis les synthétiser pour les utiliser dans des pièges (bandes collantes avec un diffuseur d'odeurs). Les femelles viennent par centaines s'engluer dans les bandes pièges ce qui réduit considérablement les pontes sur la culture.

Lorsque les substances chimiques de la plante **attirent les auxiliaires** entomophages, l'émission de ces substances est considérée comme faisant partie du système de défense végétal contre les phytophages. Par exemple, les plantes de manioc attaquées par la cochenille *Phenacoccus manihoti* sont la source principale de composés volatils présentant un caractère attractif pour l'endoparasitoïde *Apoanagyrus lopezi*.

Pour réduire l'alimentation des insectes phytophages, la plante ne doit pas nécessairement produire une substance hautement toxique pour l'insecte. En effet, les **substances répulsives** sont généralement détectées par les ravageurs phytophages avant même la prise de nourriture. Un des cas les plus étudiés est celui des isothiocyanates de Brassicaceae. Le caractère répulsif de l'allylisothiocyanate pour les Lépidoptères généralistes et pour les insectes non inféodés aux Brassicaceae a été démontré. Cependant, la présence de molécules secondaires répulsives ne signifie pas nécessairement une inhibition complète de la nutrition du ravageur.

Les plantes sécrètent aussi des **stimulants de nutrition**. Par exemple, le puceron du chou (*Brevicoryne brassicae*) se nourrit de plantes hôtes contenant des glucosinolates qui induisent leur nutrition. Il faut noter que les jeunes organes de la plante, sites de synthèse les plus actifs au niveau des substances secondaires, sont les cibles privilégiées de l'attaque de cette espèce phytophage spécialiste.



Brevicoryne brassicae sur feuille de chou (Photo G. Delhove)

La **localisation des plantes hôtes** par les bioagresseurs peut se faire de différentes manières. Par exemple, les formes ailées des pucerons évitent certaines plantes lors de l'arrivée dans un biotope. Ces réponses comportementales sont régies par des stimuli olfactifs bien que certains signaux visuels soient également impliqués. Chez *Myzus*

persicae, les couleurs verte et jaune ont été corrélées à la localisation de plante hôte adéquate.

Le méthyl-eugénol est une substance que l'on trouve dans les plantes. Plus de 450 plantes appartenant à 80 familles contiennent du méthyl-eugénol à des doses variables, mais ce sont les plantes à épice (par exemple, le clou de girofle, et des basilics : *Ocinum basilicum* et *Ocinimum sanctum*) et les plantes médicinales qui généralement en contiennent le plus ; cependant pour une même espèce les concentrations varient en fonction des variétés. Le méthyl-eugénol dans les plantes peut avoir différentes fonctions parmi lesquelles on peut citer un effet répulsif et/ou anti-appétant sur les insectes ravageurs ainsi qu'une de défense contre les maladies, fongiques, bactériennes et virales. Le méthyl-eugénol s'est pourtant révélé être un attractif puissant des mâles adultes de certains téphritidés ; il est donc utilisé aussi bien pour la surveillance des populations que pour la lutte en le plaçant dans des pièges ou autres dispositifs. Le méthyl-eugénol serait un précurseur de la phéromone sexuelle chez la mouche des fruits, *Bactrocera dorsalis*.

La stratégie de lutte appelée *push-pull* tente de mettre à profit certaines interactions plante/biogresseur. Elle consiste à rendre la culture répulsive pour les ravageurs (*push*) tout en les attirant (*pull*) sur des zones où ils peuvent être gérés (destruction physique ou chimique), piégés ou simplement détournés de la culture au stade sensible. Cette combinaison semble généralement plus efficace que les deux éléments séparés. La répulsivité peut provenir : de l'aspect de la culture (couleur, taille, forme), de la présence de plantes intercalaires répulsives, ou de la pulvérisation de répulsifs (répulsifs synthétiques, composés volatils issus de plantes non hôtes du ravageur, phéromones, etc.). La zone attractive peut être constituée de pièges visuels, de plantes attractives éventuellement traitées à l'aide de phéromones ou d'autres substances naturelles ou de synthèse. À noter que, dans le cas des applications connues de la technique, certaines plantes répulsives ont un effet attractif sur les auxiliaires dont on cherche à favoriser l'action dans les parcelles et/ou sur les plantes pièges, en bordure.

Pour la lutte contre la teigne des crucifères il est possible d'associer aux choux pommés des plantes qui possèdent un effet piège (moutarde chinoise, pak choï...) et d'autres ayant un effet répulsif (oignon, ail, basilic...) qui peuvent perturber les femelles de *P. xylostella* à la recherche de sites de ponte et réduire ainsi les attaques.

La mouche du melon, *Bactrocera cucurbitae*, est un ravageur d'importance économique à l'île de La Réunion et constitue le principal problème sur cultures de cucurbitacées. Si la lutte chimique permet en général de limiter les dégâts de cette mouche, elle a l'inconvénient d'être coûteuse et peu sélective vis-à-vis de l'entomofaune. Des plantes pièges ont été identifiées, il s'agit de deux cucurbitacées sauvages, la margose sauvage (*Momordica charantia*) et la calebasse lierre (*Coccinia grandis*). Les relations existantes entre le développement de *B.cucurbitae* et ces plantes ont été mises en évidence, mais aussi la réponse des femelles matures vis-à-vis de celles-ci. Les fruits de *Coccinia*, au stade mûr, sont aussi attractifs que la courgette et ont l'avantage d'être défavorables au développement des prépupaux de *B.cucurbitae* par rapport à la margose, fortement multiplicatrice. D'autre part, les feuilles et tiges de margose déclenchent une forte attractivité vis-à-vis des femelles. Ces premiers résultats fournissent des éléments quant à la possible utilisation de cucurbitacées sauvages en tant que plante piège dans les parcelles de courgette.

Pour rappel, les extraits ou les huiles essentielles de plantes peuvent être utilisés pour lutter contre les bioagresseurs. Une des plantes les plus connues est le neem qui

contient l'azadirachtine et d'autres substances. D'autres sont réputées pour leurs propriétés répulsives, comme le lemongrass (*Cymbopogon citratus*), la citronnelle (*C. winterianus*), la cannelle (*Cinnamomum zeylanicum*), le cumin (*Cuminum cyminum*) et le thym (*Thymus vulgaris*). Des études ont confirmé les propriétés répulsives des extraits de certaines de ces plantes sur la mouche blanche *Bemisia tabaci*, un ravageur majeur de la tomate et vecteur de viroses. Identifiées et caractérisées, ces substances pourraient à terme enrichir l'arsenal de protection agro-écologique des cultures et participer ainsi à l'abandon des pesticides chimiques. Un produit contenant de l'huile de thym et de l'huile de tagètes est, par exemple, autorisé par le Comité sahélien des pesticides pour lutter contre les mouches blanches sur tomate.

D'autres plantes, aux effets répulsifs ou insecticides, sont aussi souvent utilisées pour en faire des extraits à pulvériser sur les cultures : il peut s'agir de plantes cultivées, par exemple, bulbes d'oignons, gousses d'ail, fruits de piment, feuilles de papayer ; ou de plantes sauvages, par exemple : *Bidens pilosa*, *Cassia alata*, *Annona reticulata*, *Lantana camara*, *Mellitia versicolor*, *Morinda morindoides*, *Tagetes* sp., *Tithonia rotundifolia*. Lorsque l'on crée des haies dans une exploitation, ou lorsque l'on plante des zones de terrain qui ne sont pas exploitables pour les cultures il est utile de penser à planter ce genre de plantes comme source végétale pour faire des extraits à pulvériser et/ou pour produire une biomasse pouvant être utilisée notamment en compostage ou pour la technique du BRF (Bois raméal fragmenté), sorte de *mulch* fait à partir d'essences ligneuses qui permet d'améliorer la fertilité des sols ; d'autre part, certaines de ces plantes (par exemple, *Lantana camara* et *Tithonia*) peuvent être utiles lorsqu'elles fleurissent pour favoriser le maintien de certains auxiliaires comme les syrphes qui s'attaquent aux pucerons.



Plant de *Lantana camara* (Photo G. Delhove)



Fleur de Tithonia butinée par un syrphe (Photo G. Delhove)



Larve de syrphe se nourrissant de pucerons (Photo G. Delhove)

Les plantes sont confrontées en permanence à une myriade de pathogènes (champignons, bactéries et virus) et d'organismes phytophages dont des insectes, et pourtant, dans la majorité des cas, elles se développent sans problème. Les plantes ont en effet un système immunitaire inné basé sur la détection des pathogènes et sur des réponses de défense, tout comme chez les animaux. Quand un pathogène entre en contact avec un végétal, une course de vitesse démarre entre l'envahisseur et le végétal qui doit se défendre au plus vite. Le résultat de cette « guerre moléculaire » détermine si le pathogène peut progresser et infecter toute la plante ou si l'infection est stoppée.

Il est possible de déclencher chez la plante des réponses de défense précoces avec des substances qui sont appelées alors des éliciteurs. Les éliciteurs sont reconnus par des récepteurs du végétal et déclenchent une cascade de réactions de défense. Ainsi, les plantes traitées préventivement avec un éliciteur mobilisent par avance des moyens de défense qui permettent une réponse plus efficace et plus rapide quand le pathogène se présente. Une société a développé en Belgique un complexe d'oligosaccharides naturels (le COS-OGA). Quand il est pulvérisé sur une plante, celle-ci le détecte et l'interprète comme un signal de détresse dû à une menace imminente laissant présager une issue fatale. La plante y répond immédiatement en mobilisant ses propres défenses. Un usage correct de cet éliciteur en termes de concentration, de formulation et de séquence d'application induit donc un état d'immunité (de prémunition) qui aide la plante à réagir efficacement contre une attaque par un pathogène et notamment des champignons. Ce



complexe a été développé en un produit commercial déjà autorisé dans plusieurs pays en cultures légumières sous serre contre l'oïdium et en vigne pour lutter contre le mildiou et l'oïdium. L'utilisation de ce genre de produits permettrait de réduire de 30 à 50 % l'utilisation des fongicides chimiques.

3.3.2. Les interactions entre le bioagresseur et le milieu

Les conditions du milieu qui vont **influer sur le développement du bioagresseur** sont principalement celles liées au climat, aux circonstances météorologiques de l'année et aux ressources disponibles pour ce dernier dans la culture et à proximité (sur des hôtes alternatifs). La biodiversité et l'équilibre entre le bioagresseur et ses parasites ou ses prédateurs sont des facteurs qui jouent sur la régulation de sa population. Le producteur peut donc choisir, par exemple, de retarder ou d'avancer son semis (technique du décalage de végétation), modifier le microclimat (par la taille dans un verger, ou en réduisant la densité de plantation, ou par association de cultures). Il peut, grâce à des zones refuges non traitées, des bandes enherbées, la plantation de haies, la création de bandes fleuries qui vont fournir du pollen, favoriser la pullulation des espèces antagonistes des ravageurs. Le producteur peut supprimer les hôtes relais des maladies.

Le producteur devra adapter ses pratiques en fonction du climat rencontré pendant le cycle de culture. Par exemple, en culture de tomate en saison humide, il faudra éviter une forte densité de plantation qui peut favoriser le développement de *Xanthomonas*, *Alternaria*, *Cladosporium* et *Phytophthora infestans*, par une dissémination par contact des plantes entre elles et par le maintien d'une forte humidité faute d'aération. De même, il faudra éviter qu'une partie de la plantation soit à l'ombre des brise-vent ou arbres pour permettre un séchage plus rapide des feuilles après une pluie. Aussi, **la taille et l'effeuillage permettent de diminuer l'incidence de certaines maladies foliaires sur tomate.** Ces opérations ont pour but d'enlever à la fois les vieilles feuilles à la base des plants ainsi que les ramifications secondaires (gourmands) indésirables en culture tuteurée. Le but est d'avoir une culture non touffue, bien aérée, où toutes les feuilles et fruits reçoivent le soleil afin de limiter le développement de certaines maladies fongiques (alternariose, cladosporiose) ou bactériennes. Par contre, cette technique est à éviter si l'on ne peut pas désinfecter (par ex., à l'eau de Javel) les outils de taille.

En installant des brise-vent, le producteur modifie le climat dans la parcelle et peut diminuer, par exemple, la sensibilité de la culture à l'infection par un champignon ou une bactérie. On comprend que, dans de grandes parcelles cultivées en monoculture, les possibilités d'agir sur le milieu soient réduites à leur plus simple expression : **un changement radical du mode de conduite** des cultures est alors indispensable.



L'importance de maintenir des haies (Photo B. Schiffers)

Les **conditions existantes au niveau du sol** vont également influencer plus particulièrement les bioagresseurs telluriques. Par exemple, les infestations par les nématodes *Meloidogyne* sont moins importantes dans des sols lourds ou des sols riches en matière organique que dans les sols sableux, car ce ravageur se déplace plus facilement dans ce dernier type de sol et y rencontre moins d'antagonistes. À défaut de pouvoir améliorer le sol sur toute la surface cultivée, il peut être envisagé, par exemple, d'apporter les matières organiques localement, au plus près des systèmes racinaires des plantes. Au Sénégal, il a été démontré que la plantation de plants de tomate en motte permet de retarder nettement les attaques de nématodes et d'augmenter sensiblement les rendements. Une **meilleure structure et plus grande biodiversité de la faune et de la flore au niveau du sol entraîne généralement un meilleur contrôle naturel** des bioagresseurs. Une mauvaise structure de sol diminue la capacité d'infiltration de la lame d'eau dans le profil et favorise donc l'installation d'un microclimat humide dans le sol. À cet égard, plusieurs études ont démontré que la compaction due au travail du sol accentuait de manière significative les dégâts causés par les maladies fongiques, dont, par exemple, le rhizoctone brun. Par des pratiques adéquates le producteur peut améliorer/maintenir les bonnes caractéristiques du sol (voir point 3.2.4).

3.3.3. Les interactions entre la plante cultivée et les pratiques culturales

Les **pratiques culturales conditionnent le développement des plantes**. Lorsque les pratiques culturales mises en place sont adéquates et bien réalisées, elles sont non seulement bénéfiques pour l'environnement, mais elles permettent aussi d'assurer la rentabilité et la productivité.

Dans un premier temps, il importe d'optimiser la **gestion des intrants**, tant les fertilisants que les pesticides, afin d'éviter les usages excessifs et de réduire les impacts négatifs. La fertilisation peut avoir un effet négatif sur les ennemis naturels. L'amélioration des

pratiques permettra de réduire l'érosion et le besoin en fertilisants et pesticides des plantes.



*Planches réalisées dans le bon sens par rapport à la pente pour éviter l'érosion
(Photo G. Delhove)*

Les pratiques culturales en pépinière conditionnent fortement le développement des **plants repiqués** ensuite au champ. En effet il est extrêmement important de sortir des pépinières des plants robustes et indemnes de tout bioagresseur. Ceci permet une reprise plus facile des plants après repiquage et évite d'emmener au champ des bioagresseurs avec les plants à repiquer. Par exemple, il est crucial de choisir comme endroit pour réaliser la pépinière un sol indemne de bioagresseurs, mais aussi un environnement sain (sans mauvaises herbes ni vieilles cultures avoisinantes), et des conditions de sol propices à la germination des graines et au développement des jeunes plants (pas de sol lourd et inondable). Il faut également éviter des endroits trop ombragés qui feront filer les plants et les rendront fragiles. **Des pratiques culturales qui compactent les sols** mettront les plantes dans des conditions de croissance difficile, car les systèmes racinaires se développeront difficilement ; les plantes resteront chétives et peu vigoureuses pour se défendre contre les bioagresseurs.



*Espace réservé à la pépinière
(Photo G. Delhove)*



Pépinière surélevée pour éviter l'inondation (Photo G. Delhove)

Les **amendements** (chaulage, matière organique, oligo-éléments, acides humiques et fulviques liquides...) permettent de modifier le pH, la fertilité, la texture, la structure, la composition du sol et peuvent également favoriser ou défavoriser certains bioagresseurs par une action bénéfique sur le développement de la plante ou par une action directe sur le bioagresseur. Par exemple :

- dans les sols trop acides, un chaulage permettra (en élevant le pH à 6,5-7,5) de limiter les dégâts de *Fusarium* en culture de gombo et de tomate ;
- une matière organique abondante favorisera le *Sclerotium rolfsii* mais sera utile pour lutter contre le nématode *Meloidogyne*, la maladie des racines roses de l'oignon et permettra en allégeant le sol de retirer plus facilement les mauvaises herbes (*Cyperus*, *Imperata*) ;
- un compost contenant 4 % (en poids) de carapaces de crevettes séchées (chitine) lors de sa fabrication possède un effet nématicide.

Le **type de plante cultivée** influence aussi le type de pratiques culturales qui peuvent être mises en place. Par exemple, des cultures ne supportant pas du tout un excès d'humidité dans le sol devront être cultivées sur des billons ou des planches surélevées dans les zones du terrain qui risquent d'être inondées.



Chou feuille sur billon pour éviter l'excès d'eau (Photo G. Delhove)





*Préparation de
planches surélevées
pour éviter les excès
d'eau (Photo G.
Delhove)*

Le **port des plants**, comme des plantes à croissance non déterminée (tomate) ou des plantes grimpantes (fruit de la passion), nécessitera des supports pendant leur croissance.

3.3.4. Les interactions entre le milieu et les pratiques culturales

Les pratiques culturales mises en place dans les exploitations doivent être choisies afin de **réduire au maximum l'impact négatif sur l'environnement**. Plusieurs approches agricoles (l'agriculture biologique, l'agriculture de conservation – AC –, l'agriculture durable, etc.) ont cet objectif. Les pratiques culturales peuvent avoir un effet néfaste, neutre ou favorable sur la qualité du milieu au niveau de l'exploitation même, mais aussi l'environnement (air, eau, faune, flore...) à l'extérieur de l'exploitation. Les pesticides chimiques sont souvent considérés comme néfastes à l'environnement, mais d'autres pratiques, comme l'absence de dispositifs antiérosifs, peuvent également être néfastes.

Le type de milieu naturel (aérien ou tellurique) existant influencera le choix des pratiques culturales qui seront mises en place pour que les plantes supportent au mieux les conditions existantes ou pour modifier autant que possible les caractéristiques du milieu existant (par ex., création d'un microclimat par des protections physiques, amélioration des caractéristiques du sol par l'apport d'amendements, etc.).

Par exemple, dans des conditions climatiques très chaudes et sèches, on cherchera à **atténuer le stress subi par les plantes en mettant en place des dispositifs** qui permettent de créer un microclimat autour des plantes : brise-vent, voile de protection, ombrages, agroforesterie pour l'ombrage et couper les vents desséchants, paillage, irrigation localisée dans des cuvettes, etc. Dans des climats trop humides, on cherchera, par les pratiques culturales (taille, densité de plantation faible etc.), à modifier/atténuer les conditions du milieu en ventilant les cultures et surtout en évitant les excès d'eau dans le sol (drainage, billons, etc.).

Dans la **notion d'intensification écologique**, le type de production prôné s'efforce **d'être en harmonie et en symbiose avec l'environnement**, en valorisant les ressources naturelles sans les dégrader et en utilisant les services écosystémiques. Par

exemple, dans le cadre du contrôle des bioagresseurs, l'utilisation de plantes, cultivées ou sauvages, favorisant la prolifération des auxiliaires, permet un contrôle « naturel » de certains ravageurs et permet de réduire l'utilisation de pesticides néfastes à l'environnement.

L'intensification des processus naturels par les semis directs sous couverture végétale permet la restauration de la fertilité chimique, physique et biologique du sol, ainsi que la meilleure expression des potentiels génétiques définissant les niveaux de résistance aux bioagresseurs et les niveaux de productivité. Mais l'intensification écologique suppose que la recherche apporte des solutions pertinentes aux deux enjeux majeurs que sont la nécessité de produire plus alors que les surfaces agricoles diminuent, et de produire mieux afin de protéger l'environnement.

3.3.5. Les interactions entre le bioagresseur et les pratiques culturales

Parmi les pratiques, on retrouve les cultures mixtes, la culture en bandes alternées, les cultures intercalaires, les couvre-sols et l'agroforesterie. Il est aujourd'hui largement acquis que le développement de systèmes de production agricole plus durables dépend de la réduction de l'utilisation des pesticides et, par conséquent, de la mise en place de systèmes culturaux favorisant la biodiversité et basés sur l'utilisation des services fournis naturellement par les agro-écosystèmes. Plus qu'une évolution vers de nouvelles techniques agricoles, l'agro-écologie s'inspire aussi des pratiques agricoles ancestrales ou pratiquées dans les pays en voie de développement, lesquelles sont basées sur la valorisation de la biodiversité et la mise en place de méthodes calquées sur les processus écologiques naturels. Parmi les différents services offerts par les écosystèmes, la répression naturelle des ravageurs est considérée comme l'un des plus importants².

La diversité dans les agro-écosystèmes peut favoriser l'activité des ennemis naturels et ainsi réduire la pression des ravageurs et les coûts qui leur sont associés. Mais il a été démontré que l'augmentation simple de la diversité peut éventuellement exacerber certains problèmes phytosanitaires. Par conséquent, il est important de s'attarder aux mécanismes écologiques sous-jacents avant de considérer les pratiques culturales permettant une contribution optimale des alliés des cultures.

La plupart des facteurs qui limitent l'efficacité des ennemis naturels dans les systèmes agricoles (ex. : les pesticides, le manque de nourriture ou l'absence d'hôtes alternatifs) sont des **conséquences des régimes de perturbations imposés à ces systèmes**. Les efforts de conservation des ennemis naturels devraient viser non seulement ces facteurs limitants, mais également les perturbations qui sont à leur origine.

Le désherbage peut jouer un rôle inattendu. Prenons l'exemple des lépidoptères ravageurs du maïs. Le stade larvaire de la légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* peut causer des dégâts importants aux cultures de maïs dans les provinces de l'est du Canada. Il a été démontré que ces larves sont systématiquement plus fréquentes dans

² Voir E. Étile, « Pratiques agricoles favorisant la répression des ravageurs des cultures par leurs prédateurs naturels », *Revue de littérature présentée à Agriculture et Agroalimentaire Canada le 6 août 2012*, Montréal, 2013.



les champs de maïs dépourvus de mauvaises herbes que dans les champs où poussent des populations complexes de mauvaises herbes naturelles ou sélectionnées³.



La pyrale du maïs et son parasitoïde

D'autres auteurs rapportent que le parasitoïde *Eriborus terebrans* a tendance à parasiter davantage la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis* dans les champs avec des mauvaises herbes par rapport aux champs désherbés⁴.

Au Sénégal, quatre espèces d'hyménoptères ont été identifiées comme parasitoïdes de *P. xylostella*. Il s'agit d'*Oomyzus sokolowskii*, *Apanteles litae*, *Cotesia vestalis* et *Brachymeria citrae*. *Apanteles litae* s'est révélée l'espèce la plus abondante en saison sèche ; par contre, *O. sokolowskii* est rencontrée plus régulièrement. Le taux de parasitisme total est de l'ordre de 10 %, ce qui est relativement faible par rapport à des taux de parasitismes plus élevés dans d'autres pays comme en Afrique du Sud. Afin d'augmenter le taux de parasitisme, la solution serait de remplacer les applications d'insecticides de synthèse par des formulations à base de produits naturels (huile ou extraits de neem) ou biologiques (*B. thuringiensis*) pour favoriser une lutte biologique par conservation tout en améliorant l'environnement autour des parcelles de production (voir 3.3.6).

³ M.A. Altieri et C.I. Nicholls, *Biodiversity and pest management in agroecosystems*, 2^e éd., New York, Food Products Press, 2004.

⁴ D.M. Pavuk et B.R. Stinner, « Influence of Weeds in Corn Plantings on Population Densities of and Damage by Second Generation *Ostrinia nubilalis* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae », *Environmental Entomology*, n° 20, 1991, pp. 276-281.



Adulte de Cotesia sp.



Pucerons momifiés par hyménoptère parasitoïde (Photo G. Delhove)

De façon générale, une réduction de l'intensité du labour permet de créer un environnement plus stable, ce qui favorise le développement d'espèces plus diverses dans le sol et une plus forte présence de prédateurs ou antagonistes des bioagresseurs. Plus l'intensité du labour diminue, plus l'abondance et la diversité de la faune augmentent. Toutefois, les effets sont variables d'une espèce à l'autre, en fonction de leurs spécificités écologiques. Par exemple, les espèces dont le stade larvaire ou pupal se déroule dans le sol sont particulièrement susceptibles au travail du sol.

3.3.6. Les interactions entre le milieu et la plante cultivée

L'aménagement des environnements agricole dans le but de favoriser l'activité répressive des ennemis naturels définit la pratique de la « **lutte biologique conservatrice** ». Il est généralement accepté aujourd'hui que la lutte biologique conservatrice devrait être la trame de fond de tout programme de gestion des ennemis des cultures, qu'elle soit biologique ou intégrée.

La « simplification » de l'environnement agricole et la fragilisation des défenses naturelles des écosystèmes agricoles ont mené à une utilisation intensive d'intrants chimiques pour contrer rapidement les invasions de ravageurs, mauvaises herbes ou maladies devenues plus fréquentes. Les monocultures sont des environnements dans lesquels il est difficile d'établir une répression biologique efficace, parce que les ressources qu'ils offrent sont insuffisantes pour assurer que les populations d'ennemis naturels performant de façon optimale. Les habitats semi-naturels, comme les forêts, les haies, les bordures de champs, les terres en jachère et les prés contiennent de nombreuses espèces d'arthropodes bénéfiques. Cette stabilité est due au fait que ces habitats sont plus complexes et qu'ils renferment une plus grande biodiversité que les monocultures annuelles, fragilisées par plusieurs siècles de simplification et de perturbation régulière. La conservation ou la création de ces habitats est primordiale au développement d'une agriculture durable. Afin d'orienter les efforts de conservation, il est important de comprendre précisément par quels moyens ces habitats offrent les ressources adéquates au maintien des populations d'ennemis naturels et à l'optimisation de leur fonction répressive, il faut viser la « **bonne diversité** » et étudier les ressources dont ont besoin les auxiliaires. Les habitats semi-naturels offrent aux insectes prédateurs et parasitoïdes des proies et des hôtes alternatifs aux ravageurs cibles, ainsi que des ressources nutritives végétales.



Petits maraîchers dans un environnement diversifié en République démocratique du Congo (Photo G. Delhove)

La dynamique des populations de ravageurs dépend de nombreux paramètres, dont les pratiques agricoles sur la parcelle (par ex., traitements phytosanitaires), la régulation biologique (via les ennemis naturels), mais aussi le contexte paysager (composition et disposition de l'espace). Ainsi, concernant le ravageur *Plutella xylostella* au Sénégal dans la zone des Niayes, plusieurs études ont mis en évidence l'influence du type d'environnement végétal se trouvant à proximité des parcelles de production de chou. Les zones non cultivées constitueraient des refuges pour les auxiliaires susceptibles de contrôler la teigne des crucifères. Il a été constaté que le taux d'infestation augmente avec la complexité du paysage et avec le nombre de traitements insecticides tandis que le contrôle biologique par les parasitoïdes augmente avec la présence de plantes-hôtes et de vergers dans le paysage.



Culture de chou pommé dans les Niayes au Sénégal (Photo G. Delhove)

3.4. La boîte à outils de la lutte intégrée

Les méthodes alternatives et complémentaires à la lutte chimique (ex. : inondation des sols, solarisation, géotextiles, désherbage thermique, recours aux agents de biocontrôle et principes de la lutte biologique, etc.), les mesures de gestion des maladies et ravageurs, ainsi que les « **16 principes de base** » de la lutte intégrée ont été présentés dans le détail⁵. Nous rappellerons ici brièvement ces 16 grands principes (pour bien comprendre leur énoncé, il est conseillé de relire attentivement les résultats attendus et les risques associés) :

Principe 1 :	Obtenir des semences ou du matériel de plantation (boutures, plants) de qualité
Principe 2 :	Choisir des sols fertiles et des lieux adaptés à la plantation
Principe 3 :	Adopter de bonnes pratiques en pépinière et respecter l'hygiène
Principe 4 :	Adopter les écartements et les dispositifs adéquats de plantation
Principe 5 :	Planter les cultures pour faire coïncider leur période de croissance avec une faible incidence des ravageurs et des maladies
Principe 6 :	Pratiquer la rotation des cultures
Principe 7 :	Adopter de bonnes pratiques de conservation du sol
Principe 8 :	Adopter des pratiques adéquates de gestion hydrique
Principe 9 :	Désherber régulièrement (limiter la concurrence en fonction du stade végétatif)
Principe 10 :	Inspecter régulièrement les champs (surveiller les cultures)
Principe 11 :	Maintenir les champs parfaitement propres (éliminer les résidus de culture)
Principe 12 :	Lutter efficacement contre les ravageurs et les maladies
Principe 13 :	Favoriser l'accroissement des populations d'ennemis naturels (auxiliaires)
Principe 14 :	Réduire au minimum l'application de pesticides chimiques
Principe 15 :	Adopter de Bonnes Pratiques à la récolte
Principe 16 :	Adopter des dispositifs de stockage propres et de qualité

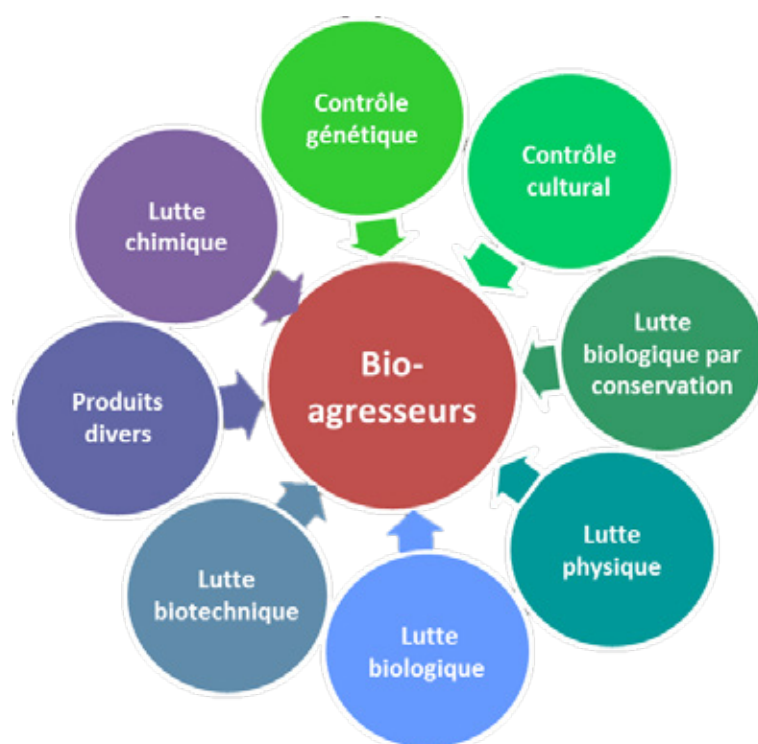
Toutefois, énoncer tous ces principes et toutes ces méthodes **ne constitue pas en soi une stratégie** : encore faut-il savoir de quelles ressources on dispose et comment les

⁵ Chapitre 2 : Principes de lutte biologique et de lutte intégrée. En annexe 1 du chapitre 2 se trouve également la définition des principaux concepts liés à la lutte intégrée.

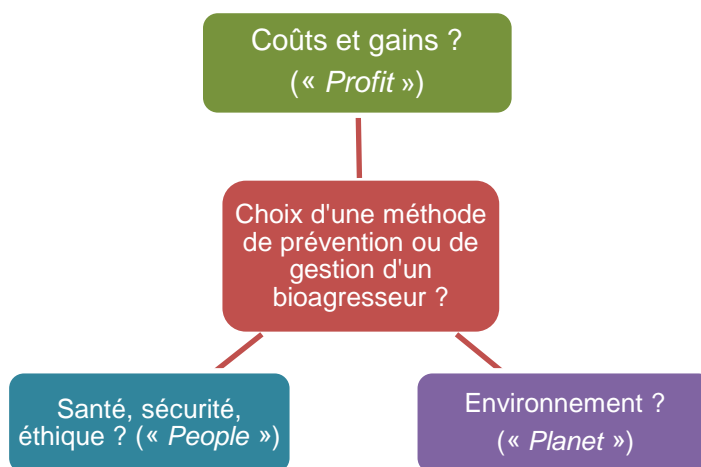
combiner au mieux pour atteindre les objectifs qui ont été définis avec un maximum d'efficacité (à savoir, une protection optimale au moindre « coût »).

L'ensemble des méthodes et mesures de prévention, de gestion et de lutte – qui ont été présentées précédemment – constitue la « **boîte à outils** » dans laquelle le producteur pourra pêcher lors de l'élaboration de sa stratégie des méthodes de protection intégrée. Il est donc capital d'informer les producteurs de l'existence de ces méthodes, de leur efficacité et de leurs limites.

Il est tout aussi important de valoriser les remèdes traditionnels du producteur, bâtis sur son expérience, s'ils s'avèrent offrir une solution appropriée. Ils sont en effet généralement économiquement plus abordables que d'autres méthodes. Ces listes de principes et de méthodes ne sont donc pas nécessairement exhaustives. Toute autre proposition qui viserait à réduire la pression des bioagresseurs et le recours aux produits chimiques est également pertinente et vaudrait la peine d'être évaluée avant d'être intégrée dans une stratégie IPM.



Chacun des « outils » devrait être préalablement évalué par le producteur en analysant ses avantages et ses inconvénients, car tous présentent un intérêt (le premier étant de pouvoir alterner les différentes méthodes), mais pour chacun il est possible de trouver soit des impacts négatifs, soit des contraintes (économiques, techniques, environnementales...) qui en limitent l'utilisation. Idéalement, quand il décide de choisir une méthode, **le producteur devrait en faire l'analyse** en évaluant la « **durabilité** » de son choix. Pour cela, il devra considérer la méthode selon trois dimensions (« **Profit – People – Planet** ») :



Prenons quelques exemples de méthodes disponibles pour le producteur :

Méthode proposée	<i>Profit</i>	<i>People</i>	<i>Planet</i>
Pesticides chimiques de synthèse	Intéressant (coût généralement faible par rapport au gain espéré)	Le plus souvent mauvais ou très mauvais (impact sur la santé de l'agriculteur, résidus dans les denrées récoltées)	Mauvais à très mauvais (persistance, manque de sélectivité, perte de biodiversité). Il arrive souvent que moins d'un pour cent des pesticides appliqués atteigne effectivement les organismes nuisibles visés, le reste contaminant l'air, les sols et les eaux.
Variétés résistantes	Très intéressant (sauf OGM ou variétés brevetées très coûteuses)	Très bon (réduction des traitements)	Très bon (sans impact sauf semences OGM)
Lutte biologique	Coût plus élevé (multiplication, lâchers répétés...)	Bon, mais nécessite des compétences particulières (formation obligatoire)	Très bon (sauf si introduction d'organismes exogènes invasifs)

<p>Réduction de la densité de semis ou de plantation</p>	<p>Peu intéressant (perte de rendement/ha en cas de peuplement trop faible)</p>	<p>Intéressant (réduction des traitements) Très peu d'impacts négatifs (mais certains travaux comme la taille sont pénibles)</p>	<p>Intéressant (évite des traitements en améliorant le microclimat, permet le développement d'autres plantes en couverture du sol ce qui améliore la biodiversité dans la parcelle)</p>
---	---	--	---

Les stratégies de lutte intégrée répondent aux préoccupations concernant les risques posés par les pesticides pour la santé humaine et l'environnement. Elles doivent faire partie intégrante de l'intensification durable des cultures. Il convient donc d'appliquer une telle approche systémique pour résoudre tout problème de bioagresseur.



3.5. La démarche stratégique

3.5.1. Élaborer une « stratégie IPM »

Au cours des 50 dernières années, la protection intégrée s'est imposée, dans le monde entier, comme **la principale stratégie holistique de protection des plantes**. Depuis son apparition dans les années 60, la protection intégrée se fonde sur l'écologie et le concept des écosystèmes et se donne pour objectif de maintenir les fonctions des écosystèmes (FAO, 1966⁶).

L'élaboration d'une stratégie commence toujours (**étape 1**) par la réalisation d'une **analyse détaillée** du problème phytosanitaire, du contexte (mode conduite de la culture, pratiques culturales) et des conditions du milieu (analyse des 4 composantes). Cette analyse doit aider à déterminer :

- **La nature des causes** qui sont à l'origine des épidémies et des infestations de ravageurs. Les problèmes phytosanitaires peuvent être causés par une combinaison de facteurs. Lorsque les problèmes sont dus aux méthodes d'intensification (par exemple, la densité inappropriée des plants ou labours qui dispersent les semences de plantes adventices ; ou le stress hydrique qui peut accroître la sensibilité des cultures aux maladies), il faudra modifier ces méthodes et adapter les pratiques culturales. Dans le cas d'invasions de ravageurs, par exemple, de criquets, il peut être utile d'appliquer les méthodes de lutte biologique ou d'éradication utilisées dans le lieu d'origine.
- **La part de la production qui est menacée** afin de choisir des méthodes de lutte d'une ampleur appropriée contre les ravageurs. En effet, on surestime souvent les risques de dommages provenant des ravageurs, car les cultures peuvent, dans une certaine mesure, compenser sur le plan physiologique les dégâts causés par les ravageurs. En d'autres termes, la réaction ne doit pas être disproportionnée. La protection intégrée des cultures combine lutte, surveillance et prévention. La surveillance permet d'ajuster les interventions aux risques effectifs... et ensuite d'évaluer l'impact des actions menées.
- **Ce qui peut rendre le système cultural moins vulnérable** aux attaques des bioagresseurs. La protection intégrée repose sur l'idée que la première et principale ligne de défense contre les ravageurs et les maladies en agriculture est un écosystème agricole en bonne santé, où les processus biologiques qui sont à la base de la production sont protégés, encouragés et améliorés. Les méthodes de gestion du sol appliquant **une approche écosystémique** – paillage, par exemple – peuvent créer des refuges pour les ennemis naturels des ravageurs. L'enrichissement du sol en matières organiques fournit d'autres sources de nourriture aux ennemis naturels non spécialisés et aux antagonistes des maladies des plantes et renforce, en début de campagne, les populations qui limiteront les ravageurs. L'amélioration des processus biologiques peut accroître les rendements et la durabilité, tout en

⁶ FAO, « Actes du symposium mondial organisé par la FAO sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures, Rome, 1965 », Rome, FAO, 1966.

réduisant le coût des intrants. La protection intégrée, en tant que **stratégie axée sur l'écosystème**, a remporté de grands succès en agriculture, dans le monde entier.

L'**étape suivante (étape 2)** consistera à **identifier les diverses méthodes** de prévention et de maîtrise des bioagresseurs, c'est-à-dire celles qui permettent **une régulation des bioagresseurs** (la boîte à outils de l'IPM). À l'éradication chimique, telle qu'elle est pratiquée en lutte chimique conventionnelle, on opposera la régulation biologique des adventices, des maladies et des ravageurs en combinant diverses approches (préventive, curative, conservatoire). L'objectif visé en lutte intégrée est d'abaisser les populations de bioagresseurs au-dessous du **seuil de nuisibilité économique** et non d'atteindre une efficacité de 100 %. Parallèlement, l'observation attentive des régulations biologiques spontanées dans et autour de la culture doit pousser le producteur à préserver et à maintenir une biodiversité fonctionnelle. C'est ainsi que l'on respecte le principe de la protection intégrée défini par la FAO : « un système de lutte aménagée qui, compte tenu du milieu particulier et de la dynamique des populations des espèces considérées, utilise toutes les techniques et méthodes appropriées, de façon aussi compatible que possible, en vue de maintenir les populations d'organismes nuisibles à des niveaux où ils ne causent pas de dommages économiques » (Milaire, 1995).

Pour **le choix des méthodes (étape 3)** qui seront intégrées dans la stratégie de lutte intégrée, celles-ci seront évaluées avec **une vision à long terme** (ex. : sur l'ensemble de la rotation, c'est-à-dire en mesurant les effets sur plusieurs années et même sur plusieurs cultures), avec **une approche écosystémique et sur base de leur durabilité** (analyse des 3 dimensions). Le calendrier et la disposition dans l'espace **des cultures comme des traitements** ont une incidence sur la dynamique des adventices, des maladies, des ravageurs et de leurs ennemis naturels. Il faudra combiner une approche écosystémique et le recours à la modélisation (les « avertissements ») pour **anticiper les problèmes** que peuvent causer les bioagresseurs. Par exemple, il faut utiliser des variétés résistantes, assurer la rotation des cultures, pratiquer les cultures intercalaires, choisir la période optimale pour les semis, et **traiter sur seuil** uniquement. Pour réduire les pertes, les stratégies de lutte devront mettre à profit les espèces bénéfiques de prédateurs, parasites et concurrents des ravageurs, ainsi que les biopesticides et certains pesticides de synthèse présentant peu de risques. Il faudra également **investir dans le renforcement des connaissances et des compétences** des agriculteurs.

Une stratégie est ainsi définie (**étape 4**), avec des options alternatives possibles en cas d'échec de telle ou telle méthode : il faut à tout prix éviter d'intervenir en catastrophe avec un traitement chimique d'urgence qui viendrait perturber gravement l'écosystème, ce qui implique **une surveillance attentive et régulière des cultures**. Les conséquences d'une application inappropriée et non souhaitée de pesticides pourraient se faire sentir non seulement sur la culture elle-même, mais sur les cultures suivantes (pour rappel, en agriculture biologique, en cas d'intervention chimique forcée une période de « reconversion » de plusieurs mois sera imposée au producteur). Des **modèles agro-climatiques**, des outils d'aide à la décision, et des bulletins de santé du végétal quand ils existent permettent de bien positionner les traitements phytosanitaires. Cependant, il est capital de se rappeler que la stratégie définie de façon prévisionnelle **nécessitera des ajustements** au contexte parasitaire et au climat de l'année. À titre d'exemple, des pluies répétées favorisent le lessivage des dépôts de produits phytosanitaires et la contamination par certaines maladies (ex. : le mildiou). De même, la persistance d'un temps humide durant la floraison augmente le risque d'apparition d'autres maladies sur les fruits.

La stratégie doit rester un « cadre » d’action, et non une « recette » que le producteur appliquerait sans discernement. Les guides et autres itinéraires de lutte intégrée sont donc des outils de réflexion, de formation, d’aide à la décision, mais ils ne doivent jamais se substituer au raisonnement du producteur.

Pour savoir si le choix d'une stratégie IPM est acceptable et profitable, il existe des techniques et outils dont la pratique ne s'improvise pas comme la célèbre matrice SWOT qui est utilisée par les experts de protection des plantes. Le **SWOT** (*Strengths – Weaknesses – Opportunities – Threats*) ou MOFF pour les francophones (**Menaces – Opportunités – Forces – Faiblesses**) est un outil très pratique lors de la phase de diagnostic stratégique. Cet outil présente l'avantage de synthétiser les forces et faiblesses d'une stratégie au regard des opportunités et menaces générées par son « environnement » (on parle ici des exigences du marché en général, telles que les réglementations, les cahiers de charge, la pression des prix de vente, etc.).

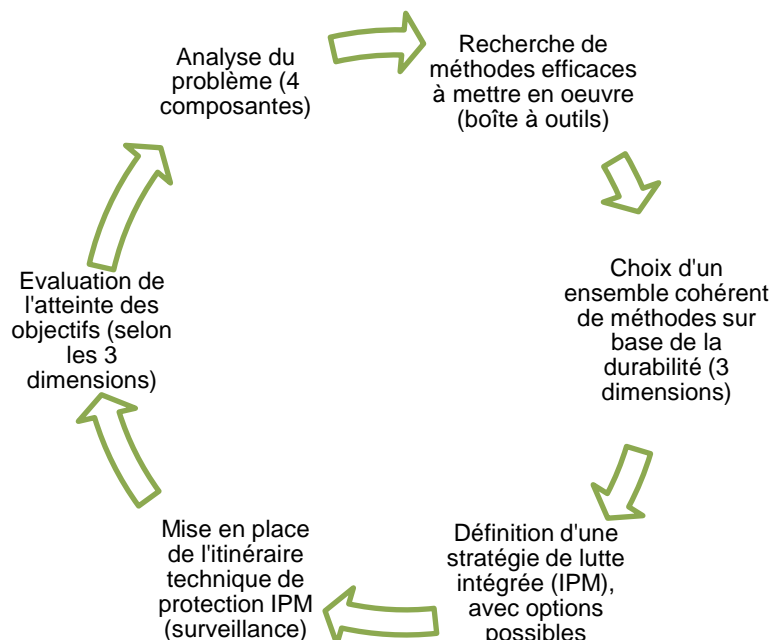
Forces	Ressources disponibles et/ou compétences détenues (elles confèrent un avantage). Par exemple : disponibilité de variétés résistantes ; disponibilité de pesticides sélectifs ; présence de personnes compétentes capables d'identifier les diverses maladies avec précision ; connaissance des seuils économiques de dégâts ; parcelles bien aménagées avec des haies ; etc.
Faiblesses	Manque d'un ou de plusieurs facteurs clés de succès (difficultés de mise en œuvre). Par exemple : manque de compétence du personnel rendant la surveillance des bioagresseurs impossible ; absence de seuil de dégâts bien défini ; demande du client d'une variété précise, mais non résistante ; pratique de la monoculture ; etc.
Opportunités	L'environnement peut présenter certains potentiels qu'il convient d'identifier pour les développer à son profit. Par exemple : terrain boisé, permettant l'agroforesterie ; sol riche en matière organique ; personnes compétentes en phytopathologie ou clinique des plantes à proximité ; nouvelle variété demandée par le consommateur résistante aux maladies ; demande pour le bio ; augmentation des prix de vente ; etc.
Menaces	Certains changements en cours ou à venir, peuvent avoir un impact négatif sur le résultat de la stratégie IPM. Par exemple : organisme nuisible invasif ; contournement de la résistance d'une variété ; chute des prix sur le marché ; démission d'un membre du personnel qualifié ; impossibilité de se fournir en agents de biocontrôle par fermeture des frontières ; etc.

Bien qu'efficace, cette analyse SWOT demande un minimum de formation.

La dernière étape (**étape 5**) sera l'évaluation de l'atteinte des objectifs grâce à la stratégie mise en œuvre et la mesure de sa durabilité. Il s'agit de se livrer à une analyse objective, la difficulté étant souvent de remettre en cause soi-même ses propres options... et de s'avouer ainsi son incompétence ou ses limites. Cependant, beaucoup de causes externes peuvent aussi expliquer que les objectifs ne soient pas ou seulement partiellement atteints.



On peut schématiser le **cycle de développement d'une stratégie de lutte intégrée** comme ceci :



3.5.2. Évaluer sa stratégie

Toute stratégie de lutte intégrée devra être basée sur le principe d'amélioration continue. Cela signifie qu'une évaluation et une révision périodique de la stratégie sont indispensables. Les producteurs eux-mêmes procèdent d'ailleurs de manière intuitive. Par « essais-erreurs », ils bâtissent leur savoir et définissent leurs stratégies de gestion des adventices, des maladies et des ravageurs.

La stratégie élaborée et mise en œuvre devra être évaluée **au minimum** sur base des **4 critères** suivants :

1. **Efficacité** (dans la prévention et la maîtrise des bioagresseurs).
2. **Efficience** (rapport coût des mesures adoptées/performance dans l'atteinte des objectifs).
3. **Durabilité** (équilibre global entre les trois dimensions *Profit/People/Planet* de l'ensemble des méthodes combinées dans la stratégie).
4. **Conformité** (respect des normes, des cahiers de charge et des exigences du marché).

Le principe 8 de la Directive 2009/128/CE⁷ précise que « sur la base des relevés concernant l'utilisation des pesticides et de la surveillance des organismes nuisibles, l'utilisateur professionnel devrait vérifier le taux de réussite des mesures phytopharmaceutiques appliquées ». L'agriculteur devra donc vérifier le taux de réussite

⁷ Directive 2009/128/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable.

de l'ensemble de sa stratégie de protection des cultures et réaliser un bilan en fin de saison, qui tienne compte (selon ECOPHYTO, France) :

1. de la **pression parasitaire de l'année**, connue par le biais de la surveillance des bio-agresseurs ;
2. des méthodes de lutte préventives mises en œuvre ;
3. des méthodes de lutte curatives engagées ;
4. des éventuels incidents ou imprévus survenus en cours de campagne.

Exemple d'évaluation réalisée *a posteriori* (adapté de FAO) :

Problème constaté	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de fonctions de l'écosystème agricole entraînant de graves infestations de ravageurs
Indicateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Changement de la structure d'âge des populations de ravageurs • Apparition de la résistance aux pesticides et infestations anormales de ravageurs secondaires • Utilisation toujours plus intense des pesticides • Pertes de rendement et diminution des revenus des agriculteurs
Causes	<ul style="list-style-type: none"> • Emploi excessif de pesticides • Mauvaise gestion des cultures • Conditions météorologiques • Apparition de nouveaux ravageurs
Réponse	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse des causes des infestations de ravageurs, élaboration d'une stratégie de rétablissement des fonctions de l'écosystème agricole et remise en état des capacités institutionnelles requises pour guider ce rétablissement • Éviter les solutions qui perpétuent ce problème • Renforcer les capacités de protection intégrée, en investissant dans le capital humain

L'évaluation de la stratégie permettra de **juger de l'efficacité de la combinaison de méthodes prévues**, mais également des solutions mises en œuvre pour **le rattrapage en cours de saison**. Le bilan final doit permettre de dégager des pistes de réflexion pour les années à venir tout en prenant garde de **ne pas systématiser des schémas de protection** qui n'auraient pas la même efficacité dans un contexte climatique et parasitaire différent.

Le bilan peut prendre la forme d'un compte rendu ou de tableaux de suivi des cultures. L'ensemble de ces documents doit être un aide-mémoire des itinéraires techniques développés et de leur efficacité. Pour l'agriculteur, le bilan peut prendre la forme d'un registre phytosanitaire. Pour les conseillers, le bilan annuel est une synthèse générale des activités de conseils délivrés durant l'année et des principales cultures qui ont été concernées par les préconisations.



Chapitre 4

Étude de cas

La lutte intégrée contre les mouches blanches.....	104
Stratégies de lutte intégrée contre les mineuses des feuilles	111
Lutte intégrée contre le <i>Phytophthora</i> en cultures d'ananas	119
Lutte intégrée contre la teigne crucifère.....	126



4.1. La lutte intégrée contre les mouches blanches

4.1.1. Identification du problème

Les trois principaux types de mouches blanches nuisibles sont les suivants : ***Trialeurodes vaporariorum***, (mouche blanche des serres), ***Alerodes brassica*** (mouche blanche du chou) et ***Bemisia tabaci*** (mouche blanche du coton ou de la patate douce). Ce dernier ravageur est un organisme de quarantaine dans l'UE, ce qui signifie que s'il est décelé sur des marchandises entrant dans l'UE, ces marchandises peuvent faire l'objet d'une saisie en vue de leur destruction. Cela s'explique du fait que *Bemisia* est un vecteur de transmission de virus très efficace, en particulier du **virus de l'enroulement qui est fortement dévastateur**.



Mouches blanches adultes (feuille) avec des larves (Trialeurodes vaporariorum)



Symptômes viraux (virus de la mosaïque sur un plant de tomate)

(Photos H. Wainwright)

Les mouches blanches sont des ravageurs courants de **plantes très variées** dont elles sucent la sève, entraînant ainsi de nombreux dégâts ; elles se reproduisent très rapidement lorsque les conditions sont favorables. Si elle n'est pas contrôlée, la mouche blanche entrave la croissance de la plante, elle en réduit le rendement et peut même entraîner sa mort du fait de son alimentation directe, de la perte de la qualité de ses feuilles et de l'évapotranspiration résultantes. Les instars larvés de la mouche blanche génèrent de grandes quantités de miellat qui s'étale sur les surfaces inférieures des feuilles. Le miellat est un liquide riche en sucres. On peut trouver jusqu'à 2 000 nymphes sur une seule feuille de haricot, chacune pouvant produire 20 gouttes de miellat en une heure.

Cette solution sucrée peut favoriser la croissance de la fumagine. Bien que le miellat permette à ses parasites de localiser la mouche blanche, des quantités en excès peuvent gêner le déplacement de minuscules guêpes parasites, telle *Encarsia*, sur la surface des feuilles. La fumagine qui se développe sur la surface des feuilles et des fruits peut sensiblement altérer l'aspect et la valeur marchande de la récolte.

Les larves de mouche blanche ont développé une structure appelée « lingula », qui leur permet de repousser le surplus de miellat. *Bemisia* provoque le « plomb » dans les cultures de courges et de légumes feuilles comme les herbes et la laitue. Le plomb peut anéantir des cultures entières.

Il est important de distinguer les deux espèces de mouches blanches ci-dessus, car *Bemisia* est plus efficace dans la transmission des maladies virales, notamment du virus de l'enroulement qui provoque des ravages dans les tomates. *Bemisia* attaque aussi des hôtes très variés. Le biotype B de la mouche blanche, *Bemisia tabaci* (également connu sous le nom de **souche poinsettia**) a une salive phytotoxique qui entraîne l'argenture chez les courges.

Des virus sont souvent associés à des cultures spécifiques, car le vecteur a des habitudes alimentaires particulières. Cependant, *Bemisia tabaci* (biotype B) est capable de s'adapter à pratiquement toutes les espèces végétales, ce qui implique qu'un virus généralement associé à une plante particulière peut faire son apparition sur des cultures différentes. Les femelles sont de meilleurs vecteurs que les mâles.

La majorité des *Bemisia tabaci* (biotype B) ont une fertilité accrue et une forte tendance à développer une résistance aux insecticides (pyréthrinoides, organo-phosphorés et carbamates). *Bemisia* est connu pour augmenter le nombre d'œufs pondus et produire davantage de femelles dans sa progéniture en réponse aux programmes de traitements répétés d'insecticides.

Le contrôle chimique des mouches blanches est souvent en échec, car il repose trop souvent sur la seule utilisation des pesticides. Pire encore, on pense que la résistance est « stable », c'est-à-dire que l'efficacité du produit chimique n'est pas rétablie après une période de non-utilisation.

4.1.2. Cycle biologique du parasite

La mouche blanche des serres adulte est un petit insecte uniformément blanc, de type teigne, d'environ 1 mm de long. Elle garde ses ailes à plat contre son corps, tandis que *Bemisia* déploie ses ailes au-dessus de son corps comme une tente. Ce déploiement expose la couleur jaune du corps de *Bemisia*, ce qui permet de la distinguer des *Trialeurodes*. Les *Bemisia* reposent souvent par paires sur les feuilles.

La mouche blanche des serres pond de 50 à 300 œufs, en fonction de l'hôte. Ces œufs sont souvent déposés en demi-cercles sur la face inférieure des **jeunes feuilles** dont les surfaces sont lisses ; leur répartition est moins régulière sur les feuilles velues. Les œufs, blancs au moment de la ponte, virent au noir après une paire de jours. *Bemisia* pond ses œufs un par un, tandis que *Trialeurodes* les pond par groupes. Les œufs sont fixés à la surface de la feuille par un pédicelle basal ; ils sont protégés par une cire sécrétée par l'adulte. Cette couche de cire limite l'efficacité des pesticides. Les œufs non fertilisés donnent des mâles, tandis que les œufs fertilisés donnent des femelles.

Les œufs éclosent pour donner un stade mobile « **rampant** » qui recherche un endroit adapté pour s'alimenter. Il se « **fixe** » alors sur la feuille et entre dans sa phase alimentaire sédentaire (de type cochenille). À ce stade, l'insecte peut éviter les gouttelettes de toxique présentes à la surface de la feuille en s'alimentant à partir du phloème, ce qui diminue l'efficacité du traitement insecticide. Cela explique l'importance des pesticides **systemiques**.

Plusieurs instars se succèdent avant la pupaison sur la feuille. Les pupes et les œufs sont des stades qui ne s'alimentent pas et qui sont recouverts d'une couche de cire, **ce qui les rend quasi inattaquables par les pesticides**. Cela explique pourquoi le problème est souvent tardivement décelé : il peut y avoir trop de « stades résistants » aux pesticides (œufs et pupes) pour pouvoir effectuer un contrôle uniquement avec des pesticides, et **cela rend inévitable un programme de pulvérisation continue**.

Les pupes de *Trialeurodes* sont de couleur blanc crème ; leurs côtés sont droits et leur partie supérieure est plate. Leur surface latérale est ondulée et la partie supérieure du « couvercle » a souvent une frange de fils cireux. Les pupes de *Bemisia* sont de couleur jaune rouillé et sont dépourvues de côtés relevés et de frange sur le « couvercle ». Le côté de la puce est plus facile à observer en enveloppant la feuille autour d'un crayon. Les pupes parasitées de *Trialeurodes* vivent au noir, tandis que celles de *Bemisia* vivent au marron.

Les adultes émergent des pupes en se frayant un chemin hors de la coque par une fente visible. Cependant, lorsque des parasites tels *Encarsia* émergent de la coque, ils laissent derrière eux un trou parfaitement rond. Les adultes s'accouplent dans les 10 à 20 heures qui suivent l'éclosion et vivent pendant deux à trois semaines. 9 à 15 générations de *Bemisia* peuvent se succéder chaque année. Le développement complet d'une génération nécessite l'accumulation de 269,5 degrés-jours.

4.1.3. Facteurs influençant leur présence

Les mouches blanches se développent sur des espèces très variées de mauvaises herbes et de plantes cultivées. Elles sont particulièrement courantes sur les *Cucurbitaceae* (concombres, courges et courgettes), les *Euphorbiaceae* (manioc et poinsettia), les *Malvaceae* (coton et gombo) et les *Solanaceae* (poivrons, tabac, tomates et aubergines).

La mouche blanche se développe pendant les périodes sèches et peut rapidement s'étendre d'une culture à une autre, emportée par le vent. Les mouches blanches adultes se déplacent peu lorsque la température est fraîche (inférieure à 15 °C) et elles n'apprécient pas la pluie.

4.1.4. Bases d'un programme de lutte intégrée (IPM)

Il est difficile de lutter contre les mouches blanches avec les pesticides classiques pour les raisons suivantes :

- les **adultes sont très mobiles et difficiles à atteindre** avec un pesticide lorsqu'il fait chaud ;
- la **couche de cire** des œufs et des pupes les protège très bien contre les pesticides, et ces stades ne s'alimentent pas ;

- une même culture abrite tous les stades du cycle de vie, et le fait de cibler les adultes ou les cochenilles ne réduit pas les populations autant qu'il le faudrait ;
- le cycle de vie est relativement court, et le taux de reproduction est très élevé.

Par conséquent, pour lutter contre la mouche blanche, ou du moins diminuer son impact, **il est nécessaire de suivre une approche intégrée** combinant plusieurs techniques, afin de réduire les populations de ces ravageurs et leurs dommages aux cultures.

Lors du développement d'une **stratégie de lutte (antiparasitaire) intégrée (IPM)**, il convient de tenir compte de tous les aspects du cycle de vie et du comportement du ravageur. Le nombre maximal d'individus de chaque génération peut être globalement réduit en diminuant le nombre de mouches blanches qui passent d'un stade au stade suivant. La lutte biologique est facilitée, car le nombre de parasites nécessaire augmente avec l'ampleur des pics de population de mouches blanches. La migration des parasites présents dans la nature est vraisemblablement trop lente pour diminuer les grands pics de populations de ravageurs et, par conséquent, il sera nécessaire de libérer massivement des parasites d'élevage.

La surveillance des mouches blanches est un volet important de la stratégie de lutte intégrée. Les mouches blanches adultes sont attirées par des pièges collants jaunes. Des pièges (100 à 300 cm²) disposés à raison d'un par 6 m² permettent de contrôler jusqu'à 50 à 60 % des ravageurs. Les pièges sont généralement accrochés à la partie supérieure de la plante, mais les mouches blanches sont de piètres voiliers, et les meilleures prises sont dès lors réalisées lorsque les pièges se trouvent à 30 cm du sol.

Lutte physique

L'importation d'œufs ou de « cochenilles » de mouches blanches présentes sur des boutures racinées est une source d'infestation importante. Le criblage du matériel à la recherche d'infestations est difficile et long, mais doit être envisagé.

Huiles de pétrole, savons et amidon

On peut pulvériser des huiles et de l'amidon sur les « cochenilles » de la mouche blanche pour les asphyxier. Divers produits à base de ces ingrédients sont commercialisés dans le monde entier. Les savons agissent en partie du fait qu'ils suppriment la couche cireuse des cochenilles, ce qui entraîne leur dessèchement et leur mort.

Lutte culturale

Les mouches blanches répondent à des taux élevés d'azote dans la sève par une augmentation du nombre d'œufs. Un **ajustement des engrais** peut donc permettre de réduire les taux de croissance de la population et faciliter la lutte biologique.

Les mouches blanches hibernent ou passent d'une culture à l'autre par l'intermédiaire du feuillage vivant. Les **mauvaises herbes sont des hôtes** non seulement pour la mouche blanche, mais également pour des maladies virales graves.

Réduction des infestations à partir des cultures antérieures

Les cultures antérieures porteuses de grandes quantités de mouches blanches et de peu de parasites représentent une menace pour les cultures fraîchement plantées lorsque

l'irrigation est arrêtée et que la qualité des plantes diminue. Les cultures doivent être détruites immédiatement après la récolte.

❑ **Plantes pièges et plantes relais**

Certaines plantes, à l'instar du tabac, de l'aubergine et du gombo, attirent fortement la mouche blanche. Elles peuvent être utilisées en tant que « plantes pièges » dans des cultures biologiques, qui seront détruites avant la pupaison, ou en tant que « plantes relais » pour la multiplication des **insectes auxiliaires** (« guêpes » parasites).

❑ **Brise-vent**

Les adultes sont de piètres voiliers. L'orientation des rangées peut influencer le modèle d'infestation dans les cultures en extérieur. S'il est possible de modifier ce modèle, il est peut-être également possible de faire un traitement localisé avec des produits chimiques pour permettre aux utiles de s'installer dans une zone dépourvue de pesticides, où les concentrations de ravageurs sont inférieures.

4.1.5. Lutte biologique contre les mouches blanches

❑ **La guêpe parasite *Encarsia formosa***

La guêpe parasite, *Encarsia formosa*, est régulièrement utilisée dans les serres européennes pour lutter contre la mouche blanche. Elle est efficace et peu onéreuse dans l'UE. Elle est naturellement présente dans plusieurs régions, notamment au Kenya. *Encarsia* est un moyen très efficace pour lutter contre la mouche blanche et peut être introduite au début de la culture avant l'apparition de la mouche blanche ou dès qu'elle est repérée.

Une température constante de 17 °C est nécessaire pour que les *Encarsia* adultes s'envolent à la recherche d'une proie. Les problèmes pour faire s'établir *Encarsia* sur certaines plantes sont vraisemblablement dus à la présence de poils ou de miellat sur les feuilles qui empêchent le déplacement de la petite guêpe sur leur surface.

Encarsia est également **très sensible aux pesticides** et la **prudence est de mise** lors de la mise en place des programmes de pulvérisation d'insecticides et de fongicides.

La guêpe adulte mesure environ 0,6 mm de long ; sa tête est de couleur noire et son abdomen est jaune. Les œufs sont pondus dans les 3^e et 4^e stades larvaires de la mouche blanche, ce qui explique la nécessité d'applications régulières pour parasiter les jeunes cochenilles au fur et à mesure de leur maturation.



Une guêpe *Encarsia formosa* adulte (Photo H. Wainwright)

Elle se développe à l'intérieur de l'hôte et, 2 à 3 semaines après, les pupes de la mouche blanche des serres (*Trialeurodes*) virent au noir et celles de la mouche blanche du tabac (*Bemisia*) virent au marron. La guêpe *Encarsia* adulte émerge des pupes par un petit trou qu'elle creuse en mangeant.



Cochenilles de la mouche blanche, dont 50 % environ sont parasitées par *Encarsia formosa* (cochenilles noires) (Photo H. Wainwright)

Il convient d'introduire régulièrement des guêpes *Encarsia* à titre préventif. Le taux d'application minimum est de 0,5/m²/semaine. L'introduction doit prendre place juste après le repiquage.

❑ **Le champignon entomopathogène (tueur d'insectes) *Beauveria bassiana***

Beauveria est un autre vecteur (**champignon**) de maladie d'insecte disponible dans le commerce, avec un vaste éventail de cibles, dont la mouche blanche, les thrips, les pucerons et les cochenilles. Deux produits commerciaux sont disponibles, par exemple, au Kenya. Il peut être mélangé en cuve avec des adjuvants, des savons ou des huiles

insecticides. Aucun effet nocif n'a été observé chez les insectes utiles. Ne l'utilisez pas avec des fongicides ! Cependant, dans des conditions sèches, l'activité du champignon est réduite, car il préfère des conditions humides pour infecter les insectes cibles.

4.1.6. Pesticides et gestion de la résistance

Les pesticides utilisés pour lutter contre la mouche blanche dans un contexte IPM sont des « régulateurs de croissance » des insectes comme le téflubenzuron et la buprofézine, et d'autres pesticides, à savoir pymétozine, imidaclopride, thiaclopride et acétamipride, bien que les trois derniers soient des néonicotinoïdes pouvant entraîner une résistance aux pesticides s'ils sont surutilisés. Lors de la conception d'un programme de pulvérisation en IPM, il convient de ne pas surutiliser des pesticides ayant le même mode d'action (et donc appartenant au même « groupe de résistance », comme les néonicotinoïdes), et de déterminer à quel moment du cycle de vie ils agissent (à savoir, les adultes et/ou les larves).

4.1.7. Conclusions

La mouche blanche est un ravageur d'un **grand nombre de cultures tropicales**. Elle entrave la croissance, diminue le rendement et transmet des maladies qui pèsent fortement sur la production ; le miellat nuit à la qualité de la récolte. La mouche blanche est un ravageur efficace qui se reproduit rapidement, devient vite résistant aux pesticides et se développe sur de nombreux hôtes. Afin de lutter contre celle-ci, il est nécessaire d'envisager une **approche intégrée** qui utilise différentes pistes contribuant toutes à une gestion durable de la culture.

4.2. Stratégies de lutte intégrée contre les mineuses des feuilles

4.2.1. Identification du problème

La mineuse des feuilles est un ravageur important pour les cultures et les mauvaises herbes dans un grand nombre de pays africains. Elle se reconnaît par les galeries caractéristiques qu'elle creuse dans les feuilles et les marques qu'elle laisse sur les feuilles et les gousses dont elle se nourrit. Les dommages se manifestent par la perte des feuilles, ce qui réduit la surface de photosynthèse et diminue la croissance, et par les traces qu'elle laisse et qui entraînent le rejet des produits. Des effets secondaires apparaissent là où la mineuse se nourrit, avec des risques d'entrée d'agents pathogènes. Cependant, la mineuse des feuilles n'est pas considérée comme un vecteur de virus des plantes.

Il existe plusieurs espèces de mineuses des feuilles, mais leurs différences sont difficiles à identifier sur le terrain. Les mineuses des feuilles les plus importantes d'un point de vue horticole sont les trois espèces du genre *Liriomyza* qui représentent un problème particulier : la mineuse des feuilles de la tomate *L. bryoniae*, la mouche mineuse américaine *L. trifolii* et la mouche mineuse sud-américaine *L. huidobrensis*. Ces mineuses sont polyphages, c'est-à-dire qu'elles ont un vaste éventail d'hôtes et, par conséquent, touchent un grand nombre de cultures et de mauvaises herbes. Cependant, il existe plus de 2 000 espèces de mineuses des feuilles dans le monde.

La mineuse des feuilles est un exemple de l'introduction d'un **ravageur non indigène** au Kenya. Dans les années 1970, le Kenya a développé le secteur des fleurs coupées de chrysanthèmes, la matière première venant de Floride aux États-Unis. Or, les chrysanthèmes étaient accompagnés de la mouche mineuse américaine, *Liriomyza trifolii*. Les exportations ultérieures vers des lieux comme le Royaume-Uni ont propagé la maladie et, en 1979, le Royaume-Uni a interdit temporairement les importations de chrysanthèmes coupés du Kenya. L'industrie de la fleur coupée a décliné et la réputation du Kenya en tant que source de plants de grande qualité a également été mise à mal. En conséquence, le KEPHIS (*Kenya Plant Health Inspection Service* ou Service d'inspection de la santé des plantes du Kenya) est désormais chargé de contrôler toutes les importations et exportations d'organismes vivants, que ce soient des plantes importées ou des produits frais exportés.

Les mineuses des feuilles *Liriomyza bryoniae* et *Liriomyza huidobrensis* sont toutes deux des **ravageurs de quarantaine dans l'UE**, ce qui signifie que, si elles sont décelées sur des marchandises entrant dans l'UE, ces marchandises peuvent faire l'objet d'une saisie en vue de leur destruction.

4.2.2. Cycle de vie du parasite ou de la maladie

☐ Le ravageur

Les mineuses des feuilles, appartenant à l'ordre des diptères (vraies mouches), ressemblent à des petites mouches à l'état adulte. Les adultes sont petits, jaunes et noirs, et mesurent un à deux millimètres de long. Le cycle de vie de la mineuse des feuilles comporte l'œuf, trois stades larvaires (instars), la puppe et la mouche adulte. La femelle utilise son ovipositeur pour faire un trou dans la face supérieure de la feuille, où elle pond son œuf de forme ovale, qui est parfois appelé œuf tache. Les mineuses des feuilles se nourrissent aussi à travers des trous de forme ronde et plus grands dans la face supérieure la feuille. Les mâles sont dépourvus d'ovipositeur et dépendent de la femelle pour la réalisation des trous et donc leur alimentation.

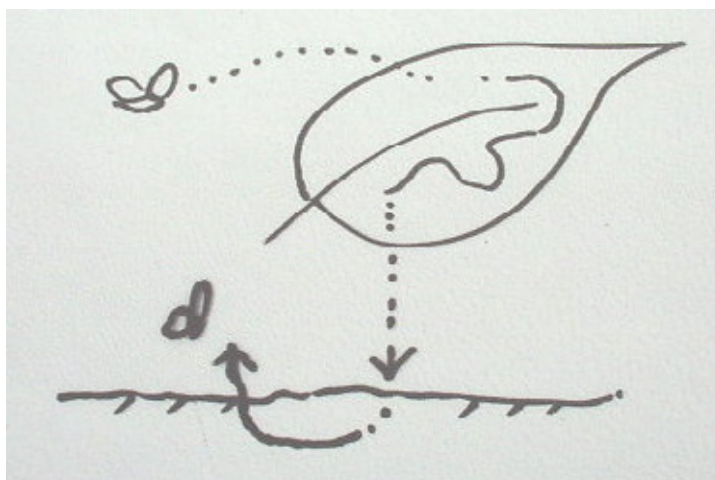


Marques d'alimentation de la mineuse des feuilles sur une feuille d'épinard ; ces marques rendent la commercialisation impossible (Photo H. Wainwright)

Lorsque l'œuf éclot, les larves commencent immédiatement à se nourrir du mésophylle de la feuille, mais ne touchent pas à l'extérieur de la feuille ni à la tige. Les larves ne viennent pas en contact avec la partie extérieure de la feuille. Au fur et à mesure de l'avancée des larves, celles-ci traversent plusieurs stades larvaires, même s'il est difficile de les identifier de l'extérieur de la feuille.

Le troisième instar de *Liriomyza* découpe un trou dans la partie inférieure de la feuille et tombe sur le sol. Il rampe dans le sol et s'empupe. Un faible pourcentage des larves reste fixé à la face inférieure de la feuille où elles s'empupent. Toutes les espèces de mineuses des feuilles ne s'empupent pas dans le sol, certaines le font dans la galerie de la feuille, à l'instar de la mineuse des feuilles du chrysanthème.

L'adulte émerge de la puppe et le cycle se poursuit. La durée du cycle de vie dépend de la température et de l'espèce, mais, de manière générale, la durée du passage de l'œuf à l'adulte est de 2 à 3 semaines à 25 °C et le nombre d'œufs pondus varie de 50 à 150 par femelle.



Cycle de vie de la mineuse des feuilles : la mouche adulte pond ses œufs sur la feuille, l'œuf éclot pour donner une larve qui évolue dans une galerie de la feuille. Le dernier stade larvaire finit par tomber au sol et s'empupe ; un adulte émerge ensuite du sol (Dessin de H. Wainwright).

❑ Facteurs influençant leur présence

Les mineuses des feuilles sont un ravageur horticole important des légumes feuilles et des cultures de pois et de haricots. Elles sont prévalentes dans les climats chauds et secs. On les trouve à toute altitude dans certains pays comme le Kenya, mais c'est dans des milieux tempérés à haute altitude (2000 m à l'Équateur) qu'elles occasionnent le plus de dégâts.

4.2.3. Bases d'un programme de lutte intégrée (IPM)

Il est **difficile de lutter contre les mineuses des feuilles avec les pesticides classiques** pour les raisons suivantes :

- les adultes sont très mobiles et difficiles à atteindre avec un pesticide ;
- les larves à l'intérieur de la feuille sont protégées par le mésophylle de la feuille ; pour être efficace, le pesticide doit être translaminaire ou systémique ;
- une même culture abrite tous les stades du cycle de vie et le fait de cibler les adultes ou les larves ne réduit pas l'impact sur les populations autant qu'il le faudrait ;
- le cycle de vie est relativement court et le taux de reproduction est très élevé.

Par conséquent, pour lutter contre les mineuses des feuilles, ou du moins réduire leur impact, il est nécessaire de suivre une approche intégrée combinant plusieurs techniques afin de réduire les populations de parasites et les dommages aux cultures.

Lors du développement d'une stratégie de lutte antiparasitaire intégrée (IPM), il convient de tenir compte de tous les aspects du cycle de vie et du comportement du ravageur. Le nombre maximal d'individus de chaque génération peut être globalement réduit en diminuant le nombre de mineuses des feuilles qui passent d'un stade au stade suivant. La lutte biologique est facilitée, car le nombre de parasites nécessaire augmente avec l'ampleur des pics de population de mineuses de feuilles. La migration des parasites

présents dans la nature est vraisemblablement trop lente pour diminuer les grands pics de populations de ravageurs et, par conséquent, il sera nécessaire de libérer massivement des parasites d'élevage.

4.2.4. Lutte physique contre la mineuse des feuilles

La capacité à **réduire le nombre d'œufs pondus dans la feuille** sans affecter le rendement joue un **rôle significatif** dans la lutte contre la mineuse des feuilles.

Revêtements de la feuille

Des revêtements de feuille tels des anti-transpirants pourraient être envisagés en tant que barrières contre la ponte des œufs des mineuses des feuilles, et en tant que barrières contre les ravageurs suceurs de sève tels la mouche blanche, les pucerons et les araignées rouges. Les revêtements de feuille pourraient également fournir une certaine protection contre la pénétration de spores de germination des maladies qui pénètrent dans la plante par la feuille.

Pièges collants

Les mineuses de feuilles adultes sont attirées par des pièges collants jaunes. Ces derniers sont utiles non seulement pour la surveillance, mais aussi pour le piégeage de masse (photo). Cependant, l'inconvénient des pièges collants est qu'ils ne sont pas spécifiques et attrapent aussi des insectes utiles (par exemple, *Diglyphus*).



Piégeage de masse sur le côté d'un champ

4.2.5. Lutte culturale

❑ Régulation de l'utilisation de l'azote

Il existe de nombreuses preuves que des applications excessives d'azote aggravent les problèmes liés aux mineuses des feuilles et favorisent également la croissance des populations d'autres ravageurs suceurs de sève (mouches blanches et pucerons en particulier). Il est donc logique d'envisager un compromis : diminution des applications d'azote (et acceptation d'une réduction du rendement) afin de pouvoir diminuer le nombre d'applications de pesticides (avec possibilité d'augmenter la rentabilité : l'application d'une quantité réduite de pesticides pourrait compenser la perte de rendement).

❑ Réduction de la réinfestation

Les mouches qui émergent de la puppe, restées dans le sol entre les récoltes sont un foyer important d'infestation. Dans les conditions naturelles, la plupart des pupes se trouvent dans les 5 cm supérieurs de la surface du sol. L'inversion du sol de manière à profondément enterrer cette couche superficielle pourrait rendre l'émergence des mouches adultes difficile et permettre de diminuer la réinfestation des cultures qui viennent d'être plantées.

❑ Plantes pièges

Certaines plantes et variétés, dont la fève (*Vicia faba*), représentent des sites attractifs pour la ponte des œufs de la mineuse des feuilles. Si ces plantes sont utilisées en tant que « plantes pièges » pour concentrer l'attention des mineuses des feuilles, il est possible de diluer la population dans le champ en attirant les mineuses des feuilles loin de la culture qui vient d'être plantée.

Les plantes pièges pourraient également constituer un « insectarium de terrain » pour les guêpes parasites telles *Diglyphus*. **Les plantes pièges ne doivent pas recevoir de pesticides** et la migration naturelle de *Diglyphus* est plus probable que son maintien dans le champ. Cette hypothèse est étayée par des observations de nombres importants de *Diglyphus* lorsque des cultures anciennes ne sont plus pulvérisées (après la récolte). Il y aura plus de ravageurs dans la plante piège que dans la culture, et l'absence de résidus de pesticides évitera d'éloigner le parasite.

4.2.6. Lutte biologique

Des guêpes parasites d'élevage sont régulièrement utilisées dans les serres d'Europe du Nord pour lutter contre la mineuse des feuilles.

Avant d'envisager la lutte biologique, il est nécessaire de considérer le profil des maladies et d'éventuels parasites de la culture dans son ensemble. Les fongicides et insecticides utilisés pour lutter contre d'autres ravageurs peuvent s'avérer nocifs pour les guêpes parasites. Par conséquent, l'utilisateur doit consulter les **bases de données sur la sélectivité des pesticides**¹.

¹ www.koppert.fr/

Des produits de type pyréthrinoïdes, tels la lambda-cyhalothrine (Karate) et la deltaméthrine (Decis), sont toutefois très toxiques pour les organismes utiles ; ils sont aussi persistants et ne doivent pas être utilisés.

❑ Le parasite *Diglyphus isaea*

Diglyphus isaea est une guêpe qui parasite la mineuse des feuilles. Il s'agit d'un ectoparasite, ce qui signifie qu'elle ne pénètre jamais dans un individu de la mineuse des feuilles, quel que soit le stade. La guêpe femelle paralyse les larves, puis dépose un œuf unique à l'intérieur d'une galerie de feuille à côté de la larve paralysée. Lorsque l'œuf éclot, la larve commence à se nourrir sur la mineuse des feuilles adulte et finit par la tuer.

La guêpe *Diglyphus* développe trois instars larvaires, puis elle s'empuise pour éclore et donner naissance à un adulte. Tous les stades du développement ont lieu dans la galerie de la feuille et la guêpe *Diglyphus* adulte émerge en faisant un trou dans la face supérieure de la feuille pour recommencer un nouveau cycle. La durée du cycle de vie dépend aussi de la température, mais le cycle ressemble à celui de la mineuse des feuilles. La principale raison pour laquelle *Diglyphus* est un agent de lutte biologique si intéressant est qu'elle pond un grand nombre d'œufs (jusqu'à 250 œufs par femelle).

La présence de *Diglyphus* est décelée par l'observation des adultes. Ce sont de petites guêpes dotées d'antennes courtes articulées. Les œufs et les larves peuvent être observés dans la feuille, en retirant la lamelle de la feuille pour exposer l'intérieur de la galerie. De plus, les galeries ont tendance à être plus courtes et le trou de sortie de la guêpe *Diglyphus* adulte peut être observé sur la face supérieure de la feuille.

❑ Récolte de *Diglyphus* parmi les résidus de la culture

L'utilisation de *Diglyphus isaea* n'est pas rentable si l'agriculteur cultivant des pois et des haricots doit se procurer la guêpe auprès de commerçants. Il s'agit de l'un des agents de lutte biologique le plus onéreux. De plus, cette guêpe n'est pas facilement disponible dans les pays, tel le Kenya. *Diglyphus isaea* est cependant naturellement présente au Kenya et elle peut envahir des cultures de type pois infectées par la mineuse des feuilles, où le programme de pulvérisation est modéré et l'utilisation de pesticides à large spectre et persistants est évitée.

À la fin de la culture, au lieu d'être détruits, les résidus sont recueillis et recouverts par des boîtes. Des bouches en plastique transparent sont introduits dans les faces latérales de ces boîtes et les *Diglyphus* émergents y sont attirés par la lumière. Ces bouches sont retirés et vidés jusqu'à deux fois par jour pour « récolter » les individus de *Diglyphus* qui sont ensuite relâchés dans les champs de pois. Pour tirer le plus grand profit de ce parasite, les individus doivent être relâchés dans une culture jeune, car si la culture est ancienne, les guêpes n'auront pas le temps d'y exercer un impact sensible sur la population de mineuses des feuilles.



*Résidus de cultures de pois utilisés comme source de *Diglyphus isaea* sur le terrain*



Bocaux de récolte en cours d'inspection sur le côté d'une boîte recouvrant des résidus de culture (Photos. H. Wainwright)

4.2.7. Pesticides et gestion de la résistance

Les pesticides utilisés pour lutter contre la mineuse des feuilles dans un contexte de LAI sont l'abamectine, la cyromazine et thiocyclam hydrogène oxalate. Lors de la conception d'un programme de pulvérisation en IPM, il convient de ne pas surutiliser de pesticides appartenant au même « groupe de résistance » et de déterminer à quel moment du cycle de vie ils agissent (à savoir, les adultes et/ou les larves).

4.2.8. Conclusions

La mineuse des feuilles est un ravageur important de cultures exportées et n'est pas tolérée par les autorités des pays d'importation. Les caractéristiques de la mineuse des feuilles rendent difficile la lutte par pesticides seuls. Par conséquent, c'est l'intégration d'une série de mesures de lutte, tant culturales que physiques, biologiques et chimiques, qui permet de lutter contre le ravageur de manière sûre et efficace.

4.3. Lutte intégrée contre le *Phytophthora* en cultures d'ananas

4.3.1. Identification du problème

Dans le monde entier, les ananas souffrent de la **pourriture du cœur et des racines** occasionnée par le champignon *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi* et *P. parasitica*). La présence de cette maladie devient d'abord visible lorsque la plante commence à se flétrir et que ses feuilles jaunissent. Le feuillage desséché tend à ne pas tomber et les racines s'assombrissent. Le *Phytophthora* peut tuer les ananas et se répandre rapidement dans les sols gorgés d'eau.

Il a un stade latent, et peut donc être présent dans des plants en passant inaperçu. Il doit être considéré comme une maladie importante et contrôlé par les autorités phytosanitaires, en particulier dans les fermes de multiplication. En l'absence d'une régulation, il peut compromettre les moyens de subsistance et contaminer les sols.

Le *Phytophthora* est prévalent dans les régions dont les précipitations annuelles moyennes sont supérieures à 500 mm et où les sols :

- sont acides à neutres avec une faible charge de nutriments et de matière organique ;
- contiennent peu de micro-organismes ;
- sont mal drainés.

Le brûlage des résidus de culture après la récolte peut détruire le *Phytophthora* jusqu'à une profondeur de 15 cm. Le bienfait n'est toutefois que temporaire, étant donné que le feu diminue également la teneur en matières organiques du sol et les populations microbiennes, ce qui le rend moins propice à la culture.

4.3.2. Comment sont infectés les ananas ?

Le *Phytophthora* est une **maladie tellurique** qui peut également infecter les racines d'un grand nombre de plantes autres que l'ananas. L'agent infectieux est une zoospore, spore mobile dotée d'une queue qui lui permet de se déplacer dans le film sol-eau à la recherche de racines végétales. La zoospore pénètre dans la racine, juste derrière la pointe, où se trouve le tissu mou. À l'intérieur de la racine, la zoospore germe et génère un mycélium (ou « racines fongiques ») à croissance rapide. Il se développe à l'intérieur de la racine de l'ananas et libère des enzymes qui dissolvent le tissu radiculaire de la plante et permettent au *Phytophthora* d'absorber les nutriments libérés par les cellules de l'ananas en décomposition.

Les brins de mycélium se trouvent également dans le sol, après leur développement à l'extérieur des tissus en décomposition de la plante. Les sacs des spores, appelés sporanges, sont produits sur le mycélium dans des conditions humides et aérobies, et à des températures allant de 22 à 28 °C. Chaque sporange développe de 30 à 40 zoospores, puis les libère. Ces zoospores peuvent survivre d'un à quatre jours en

l'absence d'une racine à envahir. Parfois, le *Phytophthora* peut également envahir des ananas par les aisselles des feuilles où l'eau s'accumule et les éclaboussures de la pluie peuvent libérer des particules du sol infestées de *Phytophthora*. Si le sol se dessèche, les conditions deviennent moins favorables à la croissance et le mycélium peut former un autre type de spore : le chlamydospore. Cette spore de latence possède une paroi cellulaire épaisse et peut survivre dans le sol ou le tissu de l'hôte pendant plusieurs années, en attendant que les conditions de croissance soient de nouveau favorables. Le mycélium peut également survivre sur des débris végétaux ou dans le sol.

4.3.3. Infection des plants

La multiplication de l'ananas se fait par les couronnes, des boutures et des drageons. L'infection peut se produire peu de temps après l'émergence des racines adventives de la couronne. Si cela se produit, la régénération des racines est très faible après l'infection, car les racines nourricières ne sont pas remplacées. Cela peut entraîner la mort de la couronne nouvellement plantée.

La nouvelle variété d'ananas, MD2, est très sensible au *Phytophthora*. Souhaitant cultiver cette variété MD2 le plus tôt possible, plusieurs cultivateurs ont entrepris la multiplication au sein même de l'exploitation pour former des stocks le plus vite possible, étant donné que les variétés les plus anciennes seront lettre morte dès que cette variété sera disponible.



Couronnes infectées et pourries par le *Phytophthora* (Photo H. Wainwright)

La multiplication au sein de l'exploitation risque cependant de produire des plants de qualité médiocre, infectés de parasites et de maladies.

Il s'agit d'un réel dilemme, en particulier pour les petites exploitations, qui cherchent à tout prix à profiter de l'opportunité de gagner leur vie grâce à la culture de l'ananas. Elles peuvent produire leur propre matériel de plantation pour assurer leur avenir, mais elles ne peuvent pas produire des plants propres dépourvus de *Phytophthora* et de cochenilles susceptibles d'infecter leurs futures récoltes.

L'achat de plants cultivés, d'origine confirmée et aux tissus sains, qui sont ensuite plantés dans un sol vierge ou stérilisé, dépourvu du *Phytophthora*, revêt une importance capitale pour le succès de cette variété. Du fait que le *Phytophthora* peut être une maladie latente et silencieuse si des précautions extrêmes ne sont pas prises dès le début, un propagateur involontaire peut communiquer les maladies à plusieurs hectares de bonnes terres à ananas, où elles persisteront pendant de nombreuses années.



Hygiène médiocre dans les unités de multiplication au sein de l'exploitation

Il est capital d'améliorer les pratiques de multiplication des plantes pour éviter l'augmentation de la propagation du *Phytophthora* qui a déjà provoqué de graves pertes dans certaines régions. À moins d'agir vite, le *Phytophthora* se propagera rapidement, en particulier pendant la saison des pluies. Il restera dans le sol pendant plus de 10 ans, et il n'existe pas de rapports de contrôles organiques. Le respect d'une certaine hygiène dans les champs et les pépinières est un facteur très important à mettre immédiatement en pratique pour garantir la rentabilité future de l'exploitation.

4.3.4. Nettoyage des plants

Si l'unité de multiplication est contaminée, déplacez-la vers un site propre, étant donné que les sols sont fortement infectés. Préparez une surface plane sans creux, pour éviter l'accumulation d'eau. Le terrain doit être légèrement incliné pour faciliter l'écoulement de l'eau. Creusez des canaux de drainage profonds autour de la serre de multiplication pour éviter que l'eau des fortes pluies ne pénètre dans l'unité (le *Phytophthora* possède une zoospore mobile qui propage la maladie en nageant dans l'eau). Veillez à ce que le plastique du toit soit intact pour éviter les éclaboussures de pluie dans les pots. Les pots doivent avoir un fond percé et être relevés du sol afin que l'eau puisse s'en écouler

librement. Ils ne doivent pas être en contact les uns avec les autres pour éviter que la maladie ne puisse se propager d'un plant à l'autre.

L'irrigation doit être réalisée au goutte-à-goutte (de type spaghetti) ou au tuyau, dont l'embout permet de couper l'arrivée d'eau lors du passage d'un pot à l'autre. L'arrosage ne doit donner lieu à aucune éclaboussure dans la serre de multiplication.

Les boutures ne doivent pas provenir de champs infectés par le *Phytophthora*. Des plantes mères très saines doivent être clairement identifiées dans les champs, et les boutures ne doivent provenir que de ces plantes. Idéalement, les boutures ne doivent pas provenir de champs commerciaux après la mise à fruit, mais plutôt d'une zone spéciale de terre vierge contenant des plantes mères et dédiée à la production de plants.

Si les essais biologiques s'avèrent positifs, l'agent de lutte biologique contre le *Phytophthora*, un champignon utile nommé *Trichoderma*, peut être utilisé en traitement préventif à tous les stades de la multiplication. Les sols et les aisselles des feuilles doivent également être traités avec *Trichoderma*.

4.3.5. Diminution du risque de maladie sur le terrain

Dans la mesure où il existe une phase d'infection latente au cours de laquelle la maladie n'est pas visible, il convient de supposer que toutes les plantes sont atteintes par le *Phytophthora*. Dès les premiers signes d'infection, marquez les emplacements sensibles et les plantes indésirables dans les champs, avant la libération massive de zoospores qui risquent de se propager via les éclaboussures de la pluie et l'eau d'irrigation.



Point sensible avec le *Phytophthora*

N'empilez pas les boutures en tas exposés à la pluie, étant donné que les zoospores se propageraient alors rapidement à partir d'un plant infecté vers les autres plants empilés. Ne déposez pas les plantes indésirables sur les bords du champ. Pour minimiser la contamination du champ lors de l'élimination de ces plantes, utilisez un traîneau en plastique haute résistance suffisamment large pour pouvoir être tiré par deux personnes entre les rangs, avec des pans pouvant être rabattus par-dessus les plantes. Ces plantes représentent une menace grave pour la production ultérieure, et doivent être brûlées dès

que possible. Elles peuvent aussi être ensevelies dans un trou profond à l'écart du site de production, en un endroit où l'eau ne pourra pas s'écouler du trou vers un champ de production et y transporter des zoospores infectieuses.

4.3.6. Traitements fongicides

Marquez d'un piquet les endroits où les plantes ont été supprimées. Ces endroits doivent subir un traitement fongicide, lequel devra être étendu aux dix plantes situées de part et d'autre de la zone affectée, et qui risquent fort d'être déjà contaminées. Des produits tels le chlorhydrate de propamocarbe, le fosétyl-aluminium, le métalaxyl et l'étridiazole (phytoprotecteur) peuvent être utilisés. Cependant, l'élimination du *Phytophthora* à l'aide de fongicides seuls est virtuellement impossible.

Des produits efficaces sont l'acide phosphonique et son sel tamponné, le phosphonate de potassium. Les chercheurs ont démontré qu'une seule pulvérisation de phosphonate de potassium à toutes les concentrations testées (2,5 ; 5 ; 10 et 15 kg/ha) avant la récolte (préplantation) permettait de protéger les racines de l'ananas des méfaits du *Phytophthora* lors de l'évaluation de la première récolte de fruits, 2 ans après le repiquage. Cette application unique de préplantation était tout aussi efficace que quatre pulvérisations foliaires de postplantation de phosphonate de potassium ou que des traitements fongiques du sol par trempage au métalaxyl durant la même période.

4.3.7. Détection et surveillance

Le problème est suffisamment sérieux pour qu'une personne soit affectée à la surveillance du *Phytophthora* sur l'exploitation, afin de veiller à ce que les actions préventives soient déployées au moment opportun.



Après la récolte des fruits, les jeunes boutures sont exposées aux pesticides

❑ Le potentiel de la lutte intégrée chez l'ananas

L'ananas reste dans le sol pendant de nombreux mois et est cultivé sous des climats qui permettent un développement tout au long de l'année. Ces conditions sont appropriées pour le succès d'un programme de lutte intégrée (IPM). Le problème qui doit être résolu est l'échelle de production, qui peut être de plusieurs milliers d'hectares d'une seule culture, souvent sans rotation.

Les ravageurs et les maladies se développent du fait de la production de plants (boutures) à partir de champs qui sont contaminés. La variété MD2 peut être une solution, car elle produit bien plus de boutures que les variétés plus anciennes. Elle pourrait tout au moins offrir l'opportunité de rompre le cycle, en permettant de disposer à bon compte de zones de production de plants spécialisées et mises en quarantaine.

Si les plantes sont produites à l'écart de cultures commerciales contaminées, elles peuvent servir de base à un programme IPM. Le cultivateur doit alors avoir accès à des agents de lutte biologique de bonne qualité et peu onéreux, tels que biopesticides et ennemis naturels. Cela ne sera vraisemblablement possible que si les exploitations d'ananas forment des coopératives et produisent leurs propres agents de lutte biologique en grande quantité. Cela a été réalisé avec d'autres cultures et peut s'appliquer à l'ananas, si la motivation est présente.

❑ Identification et cartographie des infestations par le *Phytophthora*

Les symptômes de la présence du *Phytophthora* dans le champ peuvent être **confirmés par une analyse du sol et des plantes**, mais cette confirmation n'est pas toujours très efficace, car la répartition du *Phytophthora* dans le sol n'est pas uniforme et sa détection dans les tissus végétaux dépend du stade de développement de la maladie. Un résultat de test « négatif » indique seulement que la présence du *Phytophthora* « n'est pas confirmée ».

Les tests positifs concernent le plus vraisemblablement des échantillons collectés au cours des mois chauds de l'année, si le sol est encore humide.

❑ Méthode d'échantillonnage du sol

Veillez à ce que le matériel utilisé pour échantillonner le sol soit propre et dépourvu de *Phytophthora* provenant d'un autre site. **Veillez à ce que tous les outils soient exempts de terre. Désinfectez les outils** avec de l'alcool (méthanol non dilué) ou une solution d'eau de Javel domestique (diluez 1 partie d'eau de Javel dans 4 parties d'eau). Rincez à l'eau distillée et séchez les outils avec des serviettes en papier sèches.

Ne collectez des échantillons que si le sol est encore humide :

1. Prélevez du sol et de la matière racinaire de plantes montrant des symptômes précoces de la maladie (par exemple, une décoloration des feuilles) ou de plantes mortes récemment, à proximité du front d'infestation.
2. Retirez la litière et la végétation de surface autour de la plante.
3. Prélevez des sous-échantillons de sol tout autour de la plante à une profondeur de 5 à 20 cm à l'aide d'une pelle ou d'une truelle.
4. Placez les sous-échantillons dans un sachet en plastique propre de manière à constituer un échantillon représentatif d'environ 500 g (c'est-à-dire la taille d'un

ravier de margarine domestique standard). Les sous-échantillons de plusieurs plantes infestées peuvent être regroupés.

5. Veillez à bien étiqueter l'échantillon avec les informations suivantes :
 - informations du contact (nom, adresse postale et numéro de téléphone) ;
 - informations concernant l'échantillon (emplacement de référence sur la carte et date) ;
 - renseignements généraux (y compris les plantes infectées).
6. Désinfectez les outils, les chaussures et les mains à l'alcool ou avec la solution d'eau de Javel après chaque échantillonnage.
7. Conservez les échantillons à une température comprise entre 10 et 25 °C (ne les mettez pas au réfrigérateur).
8. Soumettez les échantillons aux essais dès que possible.

Désinfection du matériel agricole

La **circulation sur l'exploitation** peut être un vecteur de propagation de la maladie. Les visiteurs à bord de véhicules ayant circulé sur une autre exploitation d'ananas ne doivent pas pénétrer dans les champs fructifères.

Un **véhicule non nettoyé après avoir circulé** dans une zone infestée est susceptible de propager facilement la maladie sur un autre site situé à des kilomètres de là.

Après avoir déplacé des sols infestés, une **niveleuse** peut propager *Phytophthora cinnamomi* sur de grandes distances.

La matière végétale infestée est susceptible de **coller aux roues des bicyclettes et aux chaussures**.

Le *Phytophthora* est même présent dans l'**eau de drainage** des terres infectées, dans l'eau d'irrigation ou dans les **eaux libres souterraines**.

Il est plus facile de **prévenir** que de guérir et de **bonnes pratiques agricoles** sont le meilleur moyen de lutter contre cette maladie.

4.4. Lutte intégrée contre la teigne crucifère

4.4.1. Identification du problème

La teigne des crucifères (*Plutella xylostella*) est une chenille nuisible courante qui attaque les cultures de *brassica* dans le monde entier. Le problème s'aggrave de jour en jour, étant donné que cette chenille est devenue résistante à un certain nombre d'insecticides pyréthrinoïdes et organo-phosphorés d'utilisation courante. Elle représente un problème important dans les pays où les conditions de croissance permettent le chevauchement de plusieurs générations tout au long de l'année et leur coexistence à un moment donné. Le développement ininterrompu du ravageur pourrait amener les cultivateurs à appliquer des pesticides de manière hebdomadaire, ce qui aggraverait les dommages dès lors que cela augmente la résistance de la chenille aux pesticides.

Des informations pour l'identification des groupes de pesticides dont le mode d'action est similaire sont disponibles auprès de l'*Insecticide Resistance Action Committee* (IRAC). Les pesticides doivent être soigneusement alternés afin de minimiser le risque de développer une résistance. Malheureusement, la diversité des types de pesticides n'est pas suffisante pour prévenir le développement de résistances. La résistance croisée entre pesticides de la même famille est à présent courante. Il est donc très important d'appliquer les principes de la LAI décrits dans ce programme. Si la lutte intégrée est utilisée correctement, elle peut s'avérer très efficace dans le cadre d'un programme de gestion de la résistance.

4.4.2. Identification du ravageur et cycle de vie

La teigne des crucifères adulte est un petit papillon de 10 à 12 mm de long. Il est facile de distinguer le mâle, brun foncé, de la femelle de couleur havane. Le mâle possède sur le dos trois motifs très distincts en forme de losange, qui lui donnent son nom en anglais : « *diamond black moth* = teigne noire aux losanges ». Ce motif est moins net sur le dos de la femelle.



Teigne femelle



Grandes chenilles de la teigne des crucifères

Les femelles pondent plus de 150 œufs au cours de leur vie ; ces œufs sont de couleur jaune pâle et mesurent 0,5 mm de long. Ils sont pondus en petites grappes à tige sur les deux faces de la feuille. Les chenilles sont de couleurs gris-vert avec une tête noire dans les trois premiers stades, et de couleur verte avec une tête vert-brun dans le dernier stade de développement. Les chenilles atteignent environ 12 mm de long.

Comme la plupart des teignes, les adultes sont nocturnes ; elles s'activent à la tombée de la nuit et restent actives toute la nuit. On ne les voit pendant la journée que si elles sont dérangées dans leur lieu de repos, sous les feuilles.

Les dommages aux cultures sont provoqués lorsque les jeunes chenilles s'alimentent et creusent une galerie dans la feuille. Les chenilles plus vieilles s'alimentent sur la face inférieure des feuilles ou dans une galerie pratiquée dans la plante.



La teigne des crucifères abîme les feuilles en y creusant des trous ou « fenêtres »

Les chenilles qui sont dérangées alors qu'elles s'alimentent se tortillent rapidement en marche arrière le long de la surface de la feuille et peuvent tomber au sol, accrochées à des fils de soie. La pupaison se produit dans un cocon à larges mailles à la surface de la feuille.



La durée du cycle entier est de 3 à 8 semaines en fonction de la température. En une année, la teigne peut réaliser plus de 10 cycles de vie, si les conditions sont propices à la croissance tout au long de l'année, comme à l'Équateur. Le chevauchement des générations rend difficiles les pulvérisations ou une lutte biologique adaptées, ce qui renforce l'importance de démarrer un programme dès que les premières teignes sont détectées dans la culture. Si le cultivateur attend la survenue de la deuxième génération, il sera difficile de faire face aux générations ultérieures. Le dépistage minutieux s'avère très important.

4.4.3. Bases d'un programme de lutte intégrée (IPM)

Dans le cadre actuel de la protection des cultures, la lutte antiparasitaire intégrée est la seule solution de choix contre l'infestation par les chenilles nuisibles, les ravageurs et autres maladies. Les luttes biologiques, culturales et physiques doivent être utilisées pour réduire les concentrations de ravageurs et moins pulvériser de pesticides toutes les semaines de la saison. Seules, les pulvérisations de produits chimiques prophylactiques à spectre large ne peuvent pas garantir des cultures dépourvues de chenilles. La surutilisation de pyréthrinoïdes ou d'organo-phosphorés entraîne une résistance et réduit sans aucun doute la qualité et le rendement des cultures, du fait de leur interférence biochimique dans la croissance des plantes.

Cependant, les ravageurs réduisent aussi le rendement et la qualité des cultures, et des programmes IPM efficaces doivent donc se substituer aux programmes chimiques prophylactiques. Les programmes IPM doivent répondre à une **conception holistique**, tenant compte de la totalité des problèmes liés aux ravageurs/maladies, et intégrer les programmes de pulvérisation et de lutte biologique pour résoudre l'ensemble de ces problèmes.

Les programmes calendaires de pulvérisation, qui ne tiennent pas compte de la présence d'ennemis naturels des ravageurs dans les cultures ni des changements hebdomadaires des populations totales de ravageurs, pourraient mal interpréter le risque et indiquer l'application d'une pulvérisation supplémentaire alors que :

- la pulvérisation précédente n'a pas encore eu le temps de produire son effet ;
- les populations de ravageurs sont en réalité en diminution ;
- les densités d'insectes utiles ou l'infection du ravageur par des maladies microbiennes naturelles suffisent à contrôler le problème posé par le ravageur.

Les programmes IPM exigent des capacités de gestion supérieures. Les personnes en charge de la protection des cultures **doivent être capables d'évaluer les risques**, en prenant en compte de nombreux facteurs au même moment, y compris l'**effet « boomerang »** d'une pulvérisation contre un(e) maladie/ravageur sur l'efficacité de la lutte biologique contre un(e) autre maladie/ravageur. La première chose à faire dans une exploitation sera donc peut-être d'accroître la capacité du directeur de l'exploitation à mieux exercer sa fonction, par une **formation spécialisée** dispensée par un formateur expérimenté.

Les chenilles sont souvent un problème saisonnier et exigent donc un plan saisonnier, qui inclut la préparation de la saison, la mise en œuvre du programme pendant la saison et le nettoyage après celle-ci (afin de réduire la rémanence pour la saison suivante).

4.4.4. Gestion du risque – lutte contre la chenille

La lutte antiparasitaire intégrée utilise plusieurs procédés et produits associés pour mesurer et réguler l'augmentation des ravageurs et des insectes utiles dans la culture, afin de prévenir les préjudices à la culture. Elle exige une compréhension plus fine des cycles de vie des ravageurs et des facteurs qui déterminent leur distribution afin d'utiliser efficacement les méthodes de lutte qui, lorsqu'elles sont isolées, peuvent s'avérer moins efficaces que les produits chimiques. Lorsque plusieurs procédés de lutte sont efficacement intégrés, la lutte résultante peut égaler, voire dépasser l'efficacité des luttes chimiques.

□ Information

La **quantité d'informations nécessaire pour développer un programme IPM adapté à la lutte contre les chenilles dans une exploitation est supérieure** à celle normalement utilisée pour un programme chimique.

- *Globalement, quelles sont les espèces de chenilles présentes dans l'exploitation :*
 - où se trouvent-elles généralement ?
 - comment contrôler leur distribution et leurs déplacements pour éviter leur migration au sein de la culture ?
 - quel est le nombre de teignes ou de chenilles ? La population est-elle en augmentation ou en diminution ?
- *Quels pesticides :*
 - agissent encore avec efficacité sur les différentes chenilles nuisibles (pas de résistance) ?
 - tuent le ravageur, mais pas leurs ennemis et maladies naturels (pesticides compatibles) ?
- *Quels ennemis naturels :*
 - sont susceptibles de contrôler les chenilles nuisibles ?
 - sont nécessaires et en quelle quantité pour une lutte efficace en fonction des concentrations de ravageurs ?

- peuvent être « appliqués » ou « encouragés à entrer » en nombre suffisant dans la culture ?

Les programmes IPM des exploitations peuvent exiger recherche et développement. L'origine des intrants doit être définie (baculovirus et *Trichogramma*) et des capacités doivent être développées (dépistage quantitatif sur la totalité de l'exploitation et non sur des cultures individuelles).

❑ Évaluation et gestion du risque de résistance aux pesticides

L'examen des programmes de pesticides en cours d'application révélera si :

- un même principe actif a été surutilisé (**même des pulvérisations de Bt en excès peuvent mener à une résistance**) ;
- un programme de pulvérisation a été trop intensif par rapport aux données du dépistage ;
- les concentrations prescrites de principe actif par hectare ont été dépassées ;
- les applications n'ont pas été programmées aux stades sensibles (Bt – jeunes chenilles).

Une seule de ces **carences suffit déjà à augmenter le risque de développement d'une résistance** aux pesticides.

❑ Dépistage quantitatif

Un dépistage classique ne fournit généralement que des informations limitées, qui ne sont utiles que pour un programme préventif modifié. Les indices de présence des ravageurs peuvent être mal interprétés par les observateurs. Il n'est pas rare que des observateurs aguerris utilisant des indices voient leurs résultats s'écarter peu à peu des concentrations de ravageurs réelles.

Lorsque cela se produit, les données n'ont plus aucun sens.

- Le niveau de résistance peut être mesuré par un dépistage quantitatif régulier avant et après les pulvérisations.
- Le dépistage peut également révéler si l'application des pulvérisations n'a pas été efficace (faible couverture de la culture) ou si elle n'a pas été appliquée du tout à la culture (pesticide volé avant l'application !).
- Le dépistage quantitatif fournit également des informations sur la quantité relative de ravageurs dans la culture et détermine les taux d'introduction d'ennemis naturels.
- Le dépistage doit tenir compte des stades de vie significatifs (adultes, œufs, larves et pupes).

4.4.5. Lutte physique et pièges

❑ Lutte physique

Il a été démontré qu'une irrigation par aspersion quelques minutes avant le crépuscule pouvait entraîner les jeunes larves qui sont actives à cette période et perturber l'activité des ténies adultes, susceptibles d'être sur la face supérieure des feuilles à ce moment.

❑ Utilisation améliorée des pièges à phéromones

Les teignes femelles produisent généralement une odeur biologique (phéromone) qui attire les mâles à grande distance en vue de la reproduction. Des phéromones artificielles attirent les teignes mâles et sont très spécifiques à chaque espèce. D'autres teignes nécessiteront une phéromone spécifique pour les attirer en un lieu précis (pour les compter ou les éliminer). Une identification correcte des chenilles présentes dans la culture permettra de s'assurer que des pièges à phéromones adéquats sont mis en place.

S'ils sont utilisés à bon escient, les **pièges à phéromones** indiqueront les tendances dans les populations de teignes et permettront l'application de produits antiparasitaires à usage agricole lorsque les stades les plus vulnérables du ravageur sont les plus nombreux. Par exemple, des guêpes parasites, telles que *Trichogramma*, peuvent être libérées après le pic de ponte et *Bacillus thuringiensis* peut être appliqué lorsque de jeunes larves de chenille sont présentes.

Afin de développer des seuils économiques locaux pour le déclenchement des applications de pesticides, **les données des pièges à phéromones doivent être corrélées aux observations physiques** de la culture et aux préjudices subis par la culture tels que révélés par les rebuts des stations fruitières.

Les décomptes des pièges à phéromones peuvent être influencés par :

- la position du piège par rapport à la culture et à la direction du vent ;
- l'âge du piège (les nouveaux pièges libèrent des pics de phéromones plus élevés) ;
- la contamination du piège par d'autres odeurs ;
- l'utilisation de phéromones incorrectes à la suite d'une identification erronée du ravageur.

Les observateurs doivent porter des gants pour éviter la contamination croisée des pièges. Il faut y réfléchir à deux fois avant d'installer un piège à phéromones **à l'intérieur** d'un champ, car il est susceptible d'attirer la teigne dans la culture ! Le cultivateur doit savoir quand les teignes arrivent sur l'exploitation, et il convient donc de placer les pièges à l'extérieur dans des positions stratégiques choisies à bon escient. Une bonne observation des cultures permet généralement de confirmer la présence du ravageur dans un champ particulier et de savoir si la population est toujours en voie d'augmentation. Les teignes viennent du côté du vent dominant, et il convient donc de placer les pièges entre la source et les cultures que l'on cherche à protéger. Il peut être utile de placer une barrière (avec de la colle) du côté sous le vent du piège, pour éviter que les teignes ne poursuivent leur vol vers la culture. Il s'agit de bon sens, mais peu nombreux sont les cultivateurs qui le font. Or, le temps est maintenant venu de faire preuve de bon sens !

❑ Piégeage de masse des teignes adultes (à l'écart des cultures)

Seules les femelles fécondées pondent des œufs, d'où la possibilité d'un nombre moindre de chenilles dans les cultures si le nombre de femelles fécondées diminue. Les pièges à phéromones n'attirent que les mâles, mais si ces derniers sont attirés loin des femelles

qui se trouvent dans les cultures, le nombre de femelles fécondées sera aussi moins élevé. Pour que cet outil soit efficace, il est cependant nécessaire de leurrer la majorité des teignes mâles.

Afin d'augmenter l'efficacité des phéromones en tant qu'outil de piégeage de masse, il sera nécessaire de les combiner avec des pièges lumineux et des plantes-pièges pour toucher aussi bien les mâles que les femelles. Le piège à phéromones peut contenir de la colle ou de l'eau. Il est préférable d'acheter des pièges spécialement conçus pour chaque type de teigne, dans la mesure où ils sont disponibles localement et à un prix abordable.



Piège à phéromones fabriqué sur place (NRI/IITA)

Parfois, les phéromones ne sont pas disponibles localement dans le commerce. Elles doivent être répertoriées en tant que produits antiparasitaires à usage agricole, ce qui peut limiter l'accès à cet outil dans certains pays, surtout si l'objectif est le piégeage de masse (étant donné qu'elles peuvent aussi piéger des espèces non ciblées).

Au besoin, il est possible de mettre au point un procédé pour la fabrication sur place de pièges à phéromones « naturels » utilisant des femelles vierges non fécondées, recueillies à partir de chenilles que l'on a laissé s'empuper et devenir adultes dans un récipient. Une seule femelle vierge peut attirer des mâles à une distance de plusieurs kilomètres. 50 teignes femelles vierges placées dans un récipient à l'écart des cultures commerciales (PAS à l'intérieur du champ, auquel cas elles attireraient les mâles adultes dans la culture) sont donc susceptibles d'agir comme un dispositif de piégeage de masse si elles sont combinées à des bandes collantes ou à des pièges à eau, placés à proximité du piège à phéromones.

Les teignes femelles sont plus petites que les mâles. Il convient d'organiser une session de formation sur l'exploitation à l'intention des observateurs, afin qu'ils sachent identifier les différentes espèces de teignes et différencier les mâles des femelles.

Les pièges à phéromones peuvent être achetés auprès de nombreux fournisseurs². Le type de piège dépendra de l'espèce de chenille et le cultivateur doit contacter le fournisseur de phéromones pour des recommandations quant au type de piège requis.

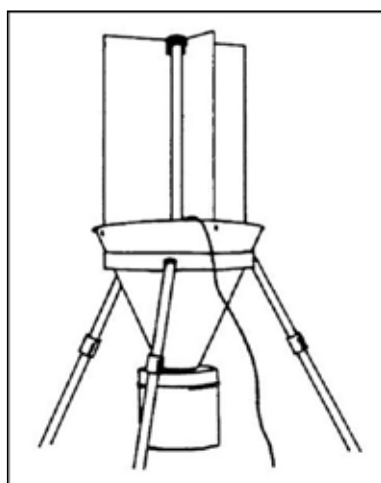
² Y compris Syngenta Bioline (biolineapp.com/) qui a des points de vente dans l'UE, aux États-Unis et en Amérique du Sud.

Les pièges doivent être placés quelques semaines avant la survenue saisonnière attendue des teignes, et les comptages de teignes adultes doivent être enregistrés deux fois par semaine pour déterminer avec précision le moment où déferle la première vague de teignes. Retirez les teignes mortes des pièges. Les couches de support des phéromones en caoutchouc ne durent que cinq semaines avant que la concentration en phéromones ne diminue. Les nouvelles couches de support dégagent davantage de phéromones et attirent davantage de mâles que les plus anciennes ; veillez donc à remplacer les couches de support de phéromones par rotation (pas toutes en même temps).

La plupart des vols sont généralement suivis d'un pic de ponte d'œufs, une à deux semaines plus tard environ, puis d'un pic d'éclosion de larves 1 à 2 semaines après, en fonction des températures. Les prises des pièges peuvent aller de 0 à plus de 80 teignes par semaine. Les prises supérieures à 10 teignes par semaine entraîneront une ponte d'œufs qui nécessitera une action telle l'introduction de parasitoïdes des œufs, ou des pulvérisations ciblant les jeunes chenilles.

Pièges lumineux

La nuit, les pièges lumineux attirent tant les teignes mâles que femelles, quelle que soit l'espèce. Combinés avec les bandes collantes ou des pièges à eau, ils peuvent leurrer les teignes et les tuer. Pour des raisons de sécurité, ils doivent être surveillés par le personnel de sécurité de nuit.



Pièges lumineux

Il peut être indiqué d'associer les pièges lumineux à des pièges à phéromones et des plantes-pièges afin que, une fois attirées, les teignes restent à proximité de la lumière et déposent leurs œufs à cet endroit plutôt que dans les cultures avoisinantes.

Plantes pièges et insectariums de terrain pour insectes utiles

L'objectif de la plante piège est d'encourager les teignes des crucifères à s'y poser pour pondre. De bonnes plantes hôtes pour la chenille du chou sont des variétés de chou appropriées. Par exemple, le chou chinois à croissance rapide est très utile pour attirer les teignes des crucifères et les encourager à y pondre.

Si la plante piège ne fait pas l'objet de pulvérisations de pesticides non compatibles, elle abritera également les ennemis naturels tels que *Trichogramma* pour qu'ils s'y développent en s'alimentant ou parasitant les divers stades du cycle de vie de la chenille, de l'œuf jusqu'à l'adulte.

Les plantes pièges peuvent être rendues encore plus efficaces par la mise en place de lampes à lumière noire dans la zone de piégeage. Les teignes femelles déposent alors leurs œufs dans les plantes pièges plutôt que dans la culture commerciale. Les teignes adultes aiment le nectar et il est recommandé de cultiver à cet endroit des plantes qui produisent une grande quantité de cette substance (le souci, par exemple). Une clôture périphérique en filet de protection peut être utile pour empêcher la migration des teignes adultes vers la culture commerciale.

La zone des plantes pièges est alors susceptible de devenir, sur le terrain, un lieu d'élevage d'insectes utiles, voire même de maladies d'insectes. Par exemple, lorsque les œufs de chenille sont présents, le cultivateur peut acheter et appliquer des insectes qui les parasitent, comme la guêpe parasite *Trichogramma*.



Guêpes *Trichogramma* pondant dans un œuf d'*Heliothis*

En présence des chenilles, le cultivateur peut aussi acheter un produit à baculovirus et en pulvériser les chenilles. Le virus est très spécifique et ne tue qu'un seul type de chenille ; des produits à baculovirus sont disponibles pour la teigne des crucifères.

Les plantes pièges peuvent également être une source de chenilles matures, faciles à collecter et pouvant être utilisées pour élaborer les pièges à phéromones fabriqués sur place, comme décrit plus haut.

Une alternative à la pulvérisation de pesticides sur les plantes pièges est la mise en place d'agents de lutte biologique. Il est recommandé de mettre en place des systèmes de détection et de gestion pour s'assurer qu'ils ne deviennent pas une source d'infection. En présence d'un nombre trop élevé de ravageurs et d'un nombre insuffisant d'insectes utiles, il faut pulvériser immédiatement la zone de plantes-pièges pour arrêter la migration vers la culture.

Une seule teigne femelle pouvant pondre jusqu'à 150 œufs, il importe de prendre au sérieux la stratégie de contrainte et attraction, étant donné que ce ravageur est devenu

résistant aux pesticides dans un grand nombre de régions du monde. Il n'est plus raisonnable de considérer ce volet d'un programme IPM comme peu significatif, dans la mesure même où les pesticides ne sont pas efficaces à eux seuls. Si un programme 100 % pesticides est mis en place, les organismes finiront par devenir résistants : c'est une réalité qui ne peut plus être ignorée.

Il faut éviter de planter des plantes-pièges et ne plus s'en occuper. Cela encouragera le développement des ravageurs dans l'exploitation. Surveillez-les tous les jours et agissez lorsque cela est nécessaire (appliquez-y des insectes utiles ou pulvérisez les plantes pièges, ou détruisez physiquement à la main les œufs et les chenilles dans la culture). Étant donné qu'une teigne femelle adulte pond 150 œufs, la destruction d'une seule chenille peut empêcher le développement de 100 teignes adultes ou plus dans la culture lors de la génération suivante.

Labourez les plantes pièges dès la fin de la saison des chenilles, au risque de voir se développer, dans le sol sous les plantes pièges ou sur les débris de la culture (vieilles feuilles de chou), des pupes susceptibles d'émerger plus tard pour donner une nouvelle génération de teignes nuisibles.

4.4.6. Produits non chimiques

❑ **Contrainte – attraction**

Cette stratégie amplifie l'effet de cette approche, en rendant la culture moins attrayante par la présence d'odeurs désagréables. L'insecticide végétal produit à partir de margousier a été utilisé pour éloigner les chenilles de la teigne des crucifères dans les cultures de *Brassica* et il est peut-être utile contre d'autres chenilles nuisibles. Ce produit ne peut cependant, à lui seul, protéger les cultures contre une invasion massive de teignes.

❑ **Lutte biologique contre les chenilles**

Dans la nature, il existe un grand nombre de parasitoïdes et de prédateurs des chenilles, des pupes et des œufs. Quelques-unes des espèces connues pour parasiter les larves de la teigne des crucifères appartiennent aux genres *Diadegma*, *Apanteles*, *Cotesia* et *Tetrastichus*. Elles peuvent contribuer à prévenir les préjudices économiques, si elles sont présentes en quantité suffisante et avant le développement de la teigne dans la culture. C'est là où l'insectarium de terrain est utile, car il s'agit d'une zone protégée pour la teigne des crucifères qui, dépourvue de pesticides, permet aux ennemis naturels de se développer.

En sus des prédateurs et parasitoïdes qui sont produits en masse comme *Trichogramma* et *Orius*, il existe un certain nombre d'agents pathogènes microbiens spécifiques aux insectes qui tuent les chenilles sans s'attaquer aux espèces non ciblées (baculovirus et *Bacillus thuringiensis*). Des champignons entomopathogènes comme *Beauveria bassiana* ont un éventail d'hôtes plus vaste et certaines variétés s'attaquent aux thrips, mouches blanches et pucerons. Les nématodes entomopathogènes (nématodes tueurs d'insectes) peuvent s'avérer efficaces pour détruire la plupart des chenilles lorsqu'ils sont pulvérisés dessus.



□ ***Bacillus thuringiensis* (Btk et Bta)**

Les pulvérisations de Bt sont souvent utilisées dans des programmes de LAI pour la lutte contre les chenilles, car elles sont moins toxiques pour les insectes utiles que la plupart des pulvérisations. Cependant, Bta est toxique pour les invertébrés aquatiques, la chrysope verte et *Metaseiulus occidentalis*. Les spores de Bt ne se propagent généralement pas aux autres insectes et ne provoquent pas d'épidémies de leur propre fait, comme c'est le cas de certains autres agents pathogènes d'insectes.

Bacillus thuringiensis (Bt) est une bactérie naturelle du sol et l'un des biopesticides les plus largement produits ; il est utilisé depuis plus de 50 ans pour lutter contre certaines chenilles. Il existe plusieurs types de Bt, dont deux (*kurstaki* et *aizawai*) sont spécifiquement efficaces contre les chenilles (d'autres types s'attaquent à certains coléoptères, moustiques et sciaridés). Les toxines de Bt sont différentes chez Btk et Bta, et il faut veiller à ne pas en faire un usage excessif, car le développement d'une résistance à ces toxines est possible. Afin de gérer la résistance, si le ravageur est sensible aux deux types de Bt, le cultivateur doit alterner le Btk et le Bta.

Toutes les chenilles n'étant pas sensibles de la même manière au Btk et au Bta, le cultivateur doit donc identifier les chenilles présentes dans la culture pour ne pas pulvériser un biopesticide inefficace. Si les informations concernant la sensibilité des différentes chenilles au type de Bt ne figurent pas sur l'étiquette, ou si le cultivateur n'est pas sûr de la plage cible du Bt disponible, une simple pulvérisation d'essai sur des feuilles données aux chenilles permettra de déterminer leur sensibilité (la chenille vire au noir et meurt en l'espace de 2 jours). En règle générale, les produits Bt *aizawai* sont plus efficaces contre les petites larves de la chenille défoliante (*Spodoptera litura*) que les produits Bt *kurstaki*.

Des formulations de Bt *kurstaki* telles que Dipel sont disponibles pour la lutte contre un grand nombre de chenilles nuisibles, dont la chenille du chou importée, la fausse-arpenreuse du chou, les sphinx, la pyrale du maïs, le ver gris, certaines noctuelles, la teigne des crucifères, la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les chenilles bursicoles, les livrées, les chenilles de spongieuse et d'autres chenilles des forêts. Le Btk est moins efficace contre la légionnaire de la betterave, et la teigne des crucifères a développé une résistance aux toxines de Btk. Il importe par conséquent de les utiliser avec intelligence dans un programme de lutte intégrée recourant à d'autres pesticides, voire même d'alterner Bt *kurstaki* et Bt *aizawai* (par exemple, *Xentari*) pour gérer la résistance aux toxines de Bt.

La pulvérisation de Bt comprend des protéines à forme cristalline et des spores vivantes de la bactérie Bt. Si une quantité suffisante de Bt est consommée par la chenille, les toxines des protéines cristallines paralysent la bouche et l'intestin de la chenille. En fonction de la dose ingérée, les chenilles cessent de s'alimenter de quelques minutes à une heure après l'ingestion. La paroi intestinale de l'insecte est détruite par la toxine en quelques heures, permettant aux spores de Bt et au contenu intestinal de se répandre dans la cavité corporelle. La mort survient dans un délai de 1 à 2 jours, et les larves se colorent ou virent au noir et se recroquevillent. Elles peuvent alors tomber et passer inaperçues sur le sol.



Chenille de la fausse-arpenteuse (à droite) infectée par Bt – chenille saine (à gauche)

Bt ne tue que les jeunes chenilles, et n'est pas efficace sur les chenilles plus vieilles et plus grandes. Un dépistage attentif des œufs de chenille dans les cultures indiquera par conséquent au cultivateur quand il y a lieu de commencer la pulvérisation de Bt pour s'attaquer aux jeunes chenilles émergeant de la première génération d'œufs, après l'invasion des teignes adultes. Consultez l'étiquette ; si une fourchette de concentrations est proposée, n'utilisez alors les concentrations supérieures qu'en présence de chenilles plus grandes ou si le volume des feuilles à couvrir justifie une pulvérisation abondante.

Lorsque les chenilles ne sont pas assez voraces (par exemple, lorsque les températures sont basses), on peut ajouter aux pulvérisations de Bt utilisées par les cultivateurs bio une ou deux cuillères à soupe de lait écrémé en poudre pour obtenir une dose mortelle de Bt. En principe, cette opération n'est cependant pas réalisée sur les cultures de fleurs. Le Bt peut être mélangé en cuve avec un grand nombre de pesticides, tant que le pH est maintenu aux alentours de 7. Il n'est pas recommandé de le mélanger en cuve avec des fongicides alcalins tels que le chlorothalonil.

Le soleil inactive les formulations de Bt, qui ne sont efficaces que pendant un à trois jours. Étant donné qu'un grand nombre de chenilles émergent pour s'alimenter la nuit, il est recommandé de l'appliquer en fin d'après-midi et non tôt le matin afin de minimiser son exposition à la lumière UV. La pluie ou l'irrigation par aspersion peut réduire son efficacité en lessivant le Bt du feuillage de la culture.

La réussite de l'utilisation du Bt dépend de l'identification correcte de la chenille et de sa sensibilité, de l'application sur de jeunes chenilles à la concentration adéquate, à la bonne température ambiante (assez élevée pour que les insectes soient actifs et s'alimentent) et avant que la chenille ne pénètre dans la fleur, inaccessible aux pulvérisations de Bt.

❑ **Baculovirus**

Les chenilles sont sensibles à des maladies virales provoquées par les baculovirus et spécifiques à chaque espèce. Il existe un baculovirus spécifique à chaque type de chenille. Des baculovirus contre la teigne des crucifères sont disponibles dans le commerce.

Les baculovirus sont donc **très respectueux de l'environnement** du fait qu'ils ne touchent **pas du tout les espèces qui ne sont pas ciblées**. Il est par conséquent primordial que le cultivateur identifie l'espèce de chenille présente dans la culture afin

d'acheter le type de baculovirus adapté. Les baculovirus ne se répliquent pas dans les mammifères ni dans les vertébrés.

À l'instar du Bt, les baculovirus doivent être ingérés par une larve de chenille en quantité suffisante pour atteindre la dose mortelle. À la différence du Bt, aucun rapport ne fait état d'une résistance des ravageurs ciblés au baculovirus. Une fois à l'intérieur de l'hôte, le baculovirus se multiplie et le tue. Il est également recommandé de reporter l'application à la fin de l'après-midi, car le produit est décomposé par la lumière UV. Les baculovirus disponibles dans le commerce sont produits par plusieurs sociétés³.

❑ *Beauveria bassiana*

Plusieurs lignées d'un autre microbe naturel du sol, *Beauveria bassiana*, ont été développées en tant que bio-insecticides commerciaux pour un éventail de ravageurs tels que la mouche blanche, les pucerons, les cochenilles, les thrips et les chenilles. Botanigard et Mycotrol sont deux produits commerciaux bien connus. Ce bio-insecticide a un **spectre plus large que le Bt** et les baculovirus, et il demande une attention particulière lors de son intégration dans un programme IPM faisant appel à d'autres insectes utiles.



Beauveria est un champignon blanc, présent naturellement dans le sol ; il est également recommandé de l'appliquer en fin d'après-midi afin d'en optimiser l'effet. Les suspensions de spores sont pulvérisées sur la plante, en ciblant les corps des chenilles. Les spores germent sur le corps de la chenille et pénètrent dans le corps de l'hôte, où se développe le mycélium qui produit des spores à son tour.

À gauche, chenilles infectées

Ce champignon entomopathogène peut se propager à d'autres ravageurs présents dans la culture à partir du corps d'une chenille morte. Il a été démontré que des applications combinées de *Beauveria* et de nématodes entomopathogènes sont un moyen de lutte efficace contre certaines autres chenilles.

❑ Nématodes entomopathogènes (NEP)

Le sol ne contient pas uniquement des nématodes nuisibles difficiles à éliminer ; il contient également des nématodes utiles. Il existe ainsi deux genres principaux qui sont produits en masse : *Heterorhabditis* et *Steinernema*, dont l'espèce *Steinernema carpocapsae* a un effet potentiel plus important sur les chenilles que l'autre espèce *S. felitae* (généralement utilisée pour la lutte contre les thrips). Pour produire un effet, les

³ Dont Kenya Biologics, www.kenyabiologics.com/ au Kenya et Andermatt BioControl en Suisse www.biocontrol.ch.

NEP doivent être appliqués sur le corps des chenilles et leur application peut se faire à l'aide d'un matériel de pulvérisation normal ou de circuits d'irrigation par goutte-à-goutte (si la phase terrestre de la chenille est visée).

Les concentrations appliquées varient de 1,25 à 2,5 milliards par hectare selon qu'il s'agit d'une culture de plein champ ou que seule la moitié du sol est recouverte par une culture en lignes. Des applications régulières sont nécessaires pendant la période où les larves des chenilles sont présentes dans le feuillage ou lorsqu'elles se laissent tomber au sol pour s'empurger (*Spodoptera* et *Heliothis* spp). Seuls, ils ne peuvent constituer un traitement efficace et doivent être intégrés à d'autres méthodes de lutte. Les nématodes abritent eux-mêmes une bactérie dans leur propre intestin. Lorsqu'ils pénètrent dans leur hôte, ils régurgitent cette bactérie qui tue l'hôte. Les NEP peuvent se reproduire à l'intérieur de l'hôte et s'alimenter du corps en décomposition de ce dernier. Il est facile de les intégrer dans des programmes de pulvérisation normaux, étant donné qu'ils tolèrent la plupart des fongicides et insecticides. Ils ne doivent toutefois pas être appliqués dans une pulvérisation mélangée en cuve et sont évidemment sensibles aux nématocides appliqués au sol.

❑ La guêpe *Trichogramma*, parasitoïde des œufs de chenille

Par le passé, en raison de l'utilisation régulière de pulvérisations à large spectre, très peu de cultivateurs utilisaient *Trichogramma* pour lutter contre les chenilles. Aujourd'hui, de plus en plus de cultivateurs commencent cependant à adopter la lutte intégrée et à diminuer leurs apports de pesticides, ce qui permet d'envisager l'utilisation de *Trichogramma* en tant qu'outil supplémentaire dans un programme IPM. Les petites guêpes parasitoïdes tuent leurs hôtes avant l'éclosion des œufs et permettent donc d'éviter les préjudices occasionnés à la culture par les chenilles émergentes.

Trichogramma est une guêpe minuscule (de moins de 1 mm) qui pond ses œufs à l'intérieur de l'œuf de la chenille, tuant ainsi cette dernière. De ce fait, l'œuf donne naissance non pas à une chenille, mais à une guêpe *Trichogramma*. Les œufs parasités vivent généralement au brun puis au noir, ce qui permet de les distinguer des œufs sains. La guêpe *Trichogramma* est jaune-brun avec des yeux rouges.



Trichogramma pondant dans un œuf d'*Heliothis*

De deux à quatre guêpes *Trichogramma* se développent dans un œuf de chenille, en fonction de la taille de l'œuf. La femelle utilise ses antennes pour mesurer la taille de

l'œuf hôte et déterminer le nombre d'œufs qu'elle pourra y pondre. D'autres espèces de parasitoïdes ne produisent qu'un descendant par œuf de chenille, et cela explique que *Trichogramma* soit le parasitoïde d'élevage le plus courant.

Les guêpes *Trichogramma* sont actives pendant la saison sèche, surtout dans le sorgho, le maïs et le coton, qui sont de bonnes cultures pour les insectariums de terrain et les plantes-pièges. Si les pulvérisations de pesticides sont compatibles avec *Trichogramma*, la population passe d'une faible densité pendant la saison des pluies à une densité très forte pendant la saison sèche.

Ces guêpes sont toutefois très sensibles à la plupart des insecticides chimiques et à leurs résidus. Les pyréthrinoïdes, par exemple, laissent des résidus toxiques mortels pour *Trichogramma* jusqu'à 12 semaines après la pulvérisation sur la culture ; il est donc recommandé d'examiner l'historique des pulvérisations avant d'appliquer *Trichogramma*. Planifiez les programmes de pulvérisations 3 mois avant les applications de *Trichogramma* pour éviter tous problèmes de résidus. *Trichogramma* est commercialement distribuée sous forme d'œufs de chenille parasités, qui sont collés sur des cartes suspendues aux plantes jusqu'à l'émergence de la guêpe adulte. Ce processus prend de cinq à sept jours, en fonction de la température. Les femelles parcourent alors la culture à la recherche d'autres œufs de chenille à parasiter. Il est recommandé de réaliser les applications au début de la ponte et de les poursuivre tant que les pièges à phéromones attrapent un nombre élevé de teignes adultes ou aussi longtemps que des œufs sont déposés sur les plantes.

Les guêpes *Trichogramma* femelles peuvent parasiter plus de cinquante œufs de teigne au cours de leur vie, dont la durée peut atteindre 2 semaines. Les guêpes adultes s'alimentent aussi de nectar ; il est donc important de faire pousser de petites fleurs (telles que l'alysson) en tant que source de nectar dans les insectariums de terrain à proximité de la culture. Encore une fois, veillez à gérer soigneusement les insectariums de terrain pour qu'ils ne deviennent pas un foyer de ravageurs, telles la mouche blanche et les chenilles.

Vérifiez avec le fournisseur l'éventail des hôtes des espèces de *Trichogramma* disponibles dans le commerce. *Trichogramma brassicae* a été utilisée avec succès contre la teigne des crucifères (*Plutella*). Les guêpes *Trichogramma* ne vivent qu'environ sept jours après le jour de l'application. Vu qu'il faut environ neuf jours pour que les œufs nouvellement parasités dans la culture se développent pour y donner naissance à la deuxième génération d'adultes, il convient d'introduire *Trichogramma* en au moins deux applications distantes de 5 à 7 jours pour garantir une couverture continue de guêpes *Trichogramma* adultes.

N'appliquez pas *Trichogramma* en cas de chaleur intense ou sous la pluie dans les cultures en extérieur. Le moment d'application optimal est la fin de l'après-midi. Si la réception des *Trichogramma* a eu lieu au cours des 24 heures précédentes, elles peuvent être stockées à 8 à 10 °C jusqu'à 3 jours, en fonction de leur stockage antérieur et de l'imminence de l'émergence. Ne laissez pas la température descendre en dessous de 3 °C. Les concentrations à mettre en œuvre iront de 25 000 œufs parasités par hectare lorsque les ravageurs sont peu abondants, à plus de 200 000 par hectare lorsqu'ils sont très abondants. Le nombre de chenilles développées présentes dans une culture ainsi que les préjudices réels subis par la culture constituent une meilleure indication de l'efficacité de *Trichogramma* que le pourcentage de parasitisme des œufs, ces derniers étant généralement difficiles à trouver.

4.4.7. Pesticides et gestion de la résistance (groupes IRAC)

Il est recommandé de mettre en œuvre un programme de pulvérisation bien conçu et planifié à l'avance. Celui-ci doit prendre en considération le mode d'action, le stade ciblé du ravageur, le groupe de gestion de la résistance IRAC et l'effet sur les insectes utiles non visés pouvant coexister dans la culture. IRAC est l'acronyme d'*Insecticide Resistance Action Committee*. C'est un comité formé d'experts de certains producteurs de pesticides, tels que SYNGENTA, BAYER ou BASF, qui ont développé conjointement des conseils sur les pesticides à utiliser moins souvent que d'autres (ceux dont le risque de résistance est plus élevé) et sur les pesticides pouvant les remplacer (alternance de pesticides de différents groupes)⁴.

Ce comité édite des conseils aux cultivateurs. En effet, en l'absence d'une stratégie de gestion de la résistance, celle-ci se développera inévitablement et le pesticide ne sera plus efficace. Un tableau est fourni, indiquant les « **groupes IRAC** » des pesticides contre les chenilles et leur effet sur *Trichogramma*, parasitoïde qui tue les œufs des chenilles, et sur *Orius*, insecte prédateur qui attaque de petites chenilles ainsi que les œufs.

Il convient de faire preuve de bon sens lors du choix du pesticide. Si le risque financier lié aux préjudices infligés aux cultures par les chenilles est trop élevé (par exemple, invasion massive de teignes et nombre insuffisant d'insectes utiles), il est alors recommandé d'appliquer un pesticide, même si celui-ci est susceptible d'éliminer des insectes utiles.

Le tableau suivant donne des informations sur la **sélectivité des pesticides** d'utilisation courante pour la lutte contre les chenilles et leurs effets secondaires sur d'autres insectes utiles.

Tableau 1 : % d'insectes utiles susceptibles de mourir, s'ils sont présents au moment de la pulvérisation du pesticide et sont réellement touchés par la pulvérisation. Le % de morts réel dépend de la couverture efficace de la culture par la pulvérisation.

		<i>Orius</i>	NEP	<i>Encarsia</i>	<i>Aphidius</i>	Coccinelles
Substance active	Groupe IRAC	% d'organismes morts au contact de la s.a. (ND : non déterminé)				
Chlorpyrifos	1B	>75%	50 -75 %	>75 %	>75 %	25-50 %
Dichlorvos (nébulisation)	1B	ND	<25 %	>75 %	>75 %	ND
Fiprinol (pulvérisation)	2B	<50-75 %	ND	<50-75 %	>75 %	>75 %
Fipronil (goutte-à-goutte)	2B	<25-50 %	ND	<25 %	ND	ND

⁴ Consulter le site : www.ircac-online.org/

Deltaméthrine	3A	>75 %	<25 %	>75 %	>75 %	>75 %
Spinosad	5	>75 %	ND	>75 %	>75 %	>75 %
Bt <i>aizawai</i>	11	<25 %	<25 %	<25 %	<25 %	<25 %
Bt <i>kurstaki</i>	11	<25 %	<25 %	<25 %	<25 %	<25 %
Bt	11	ND	ND	25-50 %	ND	ND
Diflubenzuron	15	>75 %	<25 %	<25 %	<25 %	ND
Téflubenzuron	15	>75 %	<25 %	<25 %	<25 %	ND
Flufénoxuron	15	>75 %	ND	<25 %	ND	ND
Novaluron	15	ND	ND	ND	ND	ND
Lufénuron	15	25-50 %	ND	->75 %	<25 %	ND
Méthoxy-fénozide	18	25-50 %	ND	<25 %	<25 %	<25 %
Indoxacarb	22A	50-75 %	ND	ND	>75 %	ND

Un tableau similaire peut être créé pour la persistance des principes actifs : nombre de semaines après l'application de la pulvérisation pendant lequel le **résidu reste nocif pour les organismes utiles** s'ils arrivent sur la feuille pulvérisée le jour suivant celui de l'application de la pulvérisation.

Tableau 2 : Persistance moyenne du pesticide sur les feuilles après application.

	<i>Orius</i>	NEP	<i>Encarsia</i>	<i>Aphidius</i>	Coccinelles
Substance active	Persistance de la substance active sur les plantes (en semaines – ND : non déterminé)				
Chlorpyrifos	5	2	8-12	12	ND
Dichlorvos (nébulisation)	ND	0	1	ND	ND
Fiprinol (pulvérisation)	ND	ND	ND	ND	ND
Fipronil (goutte-à-goutte)	ND	ND	ND	ND	ND
Deltaméthrine	8-12	0	8-12	8-12	8-12

Spinosad	1	ND	2	2	2
Bt <i>aizawai</i>	0	0	ND	ND	ND
Bt <i>kurstaki</i>	0	0	ND	ND	ND
Bt	ND	ND	0	ND	ND
Diflubenzuron	ND	0	ND	ND	ND
Téflubenzuron	4	0	0	0	ND
Flufénoxuron	4	ND	0	ND	ND
Novaluron	ND	ND	ND	ND	ND
Lufénuron	4	ND	0	0	ND
Méthoxy- fénozide	ND	ND	0	0	0
Indoxacarb	> 2	ND	ND	ND	ND



Attention ! Il est recommandé de toujours lire l'étiquette du pesticide avant d'utiliser ce dernier sur la culture.

N'appliquez pas de pesticides dont l'utilisation n'a pas été agréée pour la culture et respectez les consignes concernant les délais d'attente avant récolte (DAR) pour éviter de dépasser la limite maximale de résidus (LMR).

4.4.8. Conclusions : recommandations pour la lutte intégrée

- Dans un environnement dépourvu d'insectes, produisez des plants de *Brassica* dans des plateaux de semis où les teignes des crucifères ne peuvent pas pénétrer pour pondre des œufs sur les jeunes plants.
- Apprenez à identifier tous les stades du cycle de la teigne, ainsi que ses prédateurs et parasitoïdes.
- Mettez en place un insectarium de terrain bien avant de planter les premières cultures de *Brassica*, de manière à ce que ces zones soient attrayantes pour les teignes avant que la culture ne se développe.
- Prévoyez des foyers d'agents de lutte biologique, provenant soit d'exploitations voisines riches en parasitoïdes, soit d'un producteur commercial d'agents de lutte biologique.
- Contrôlez attentivement les plants, au moins une fois par semaine, voire plus souvent lors des périodes de pointe et durant la saison chaude. Intervenez dès la première apparition de la teigne.
- Utilisez précocement *Bacillus thuringiensis* dans le programme de pulvérisation, étant donné qu'il est moins nocif pour les parasitoïdes et les prédateurs de la teigne des crucifères et qu'il leur permet de se développer dans la culture.
- N'abusez pas des pesticides ; avant de mettre les plants en place, prévoyez les pesticides à utiliser (vérifiez les groupes IRAC et les étiquettes des pesticides). Gardez les pulvérisations efficaces, mais non compatibles avec des délais de récolte courts pour les cas d'urgence, lorsque les populations de ravageurs sont denses (en l'absence d'agents de lutte biologique suffisants).
- Étalonnez et entretenez régulièrement le matériel de pulvérisation ; une mauvaise pulvérisation entraîne une augmentation du nombre d'applications. Les pulvérisateurs à pendentifs sont plus efficaces pour appliquer des pulvérisations sur la face inférieure des feuilles.
- Dès qu'une culture infestée n'est plus utile, **labourez-la immédiatement** pour ensevelir les plantes dans le sol et éviter que les adultes ne s'envolent vers de nouvelles cultures plus jeunes.
- Organisez le programme de plantation en sorte que les jeunes cultures ne soient pas plantées dans le sens du vent par rapport aux anciennes cultures, afin de réduire la migration des teignes des cultures anciennes vers les nouvelles.



Abréviations et acronymes les plus utilisés



Abréviations et acronymes les plus utilisés

ACP	Afrique – Caraïbe – Pacifique (pays du Groupe des ACP, ayant signé une série d'accords particuliers avec l'UE appelé « accords de Cotonou »)
BCA	<i>Biocontrol Agents</i> (Agents de bio-contrôle)
BPA	Bonnes Pratiques Agricoles (ensemble des conditions d'application qui doivent être définies : dose, volume, formulation, technique, DAR)
BPP	Bonnes Pratiques Phytosanitaires (ensemble de consignes à respecter pour éviter la contamination de l'opérateur, de l'environnement et les résidus)
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>
COV	Composés organiques volatils
DAR	Délai avant récolte (nombre de jours à respecter avant la récolte)
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i> (Autorité européenne de sécurité des aliments)
FAO	<i>Food and Agriculture Organisation</i> (Organisation des Nations Unies chargée de traiter des problèmes d'alimentation dans le monde)
ICM	<i>Integrated Crop Management</i> (ou Production intégrée)
IPM	<i>Integrated Pest Management</i>
IRAC	<i>Insecticide Resistance Action Committee</i>
ITAB	Phosphate de di-ammonium
JOCE	<i>Journal officiel des Communautés européennes</i>

JOUE	<i>Journal officiel de l'Union européenne</i>
LAI	Lutte antiparasitaire intégrée
LIP	Lutte intégrée contre les parasites
LMR	Limite maximale applicable aux résidus
m.a.	Matière active
M.O.	Matière organique
MOFF	Menaces - Opportunités - Forces - Faiblesses
NEP	Nématodes entomopathogènes
NH ₄ ⁺	Symbole chimique de l'azote ammoniacal
NO ₂	Symbole chimique du dioxyde d'azote
NO ₃ ⁻	Symbole chimique de l'azote nitrique
OCI	Organisme de certification indépendant
OGM	Organisme génétiquement modifié
OILB	Organisation internationale de lutte biologique
pH	Potentiel hydrogène
PLRV	<i>Potato Leaf Roll Virus</i>



PRA	<i>Pest Risk Analysis</i>
s.a.	Substance active
SC	Suspension concentrée
SDP	Stimulateurs de défense des plantes
SWOT	<i>Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats</i>
UE	Union européenne
UV	Ultraviolet
VOC	Composés organiques volatils





Références bibliographiques



Références bibliographiques

ALTIERI, M.A., « The ecological role of biodiversity in agroecosystems », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n° 74, 1999, pp. 19-31.

ALTIERI, M.A. et LETOURNEAU, D.K., « Vegetation management and biological control in agroecosystems », *Crop Protection*, n° 1, 1982, pp. 405-430.

ALTIERI, M.A. et NICHOLLS, C.I., *Biodiversity and pest management in agroecosystems*, 2^e éd., New York, Food Products Press, 2004.

ASSOCIATION DE COORDINATION TECHNIQUE AGRICOLE (ACTA), *Pesticide et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement*, Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 2002.

CARNETS ÉCOLOGIQUES AFRIQUE :

N° 1 (novembre 1995) : « Maladies et parasites des plantes cultivées »

N° 5 (mai 1996) : « À la découverte d'un écosystème »

N° 10 : « Hygiène pour nos plantes aussi »

N° 11 : « Ravages aux champs, c'est signé »

Nivelles, Terre et Vie.

CHLEQ, J.L. et DUPRIEZ, H., *Eau et terres en fuite*, Paris, L'Harmattan, 1984.

COLEACP, UG, *Guidelines pour l'analyse des risques*, octobre 2006.

DUPRIEZ, H. et DE LEENER, Ph., *Jardins et vergers d'Afrique*, Nivelles, Terre et Vie, 1987.

DUPRIEZ, H., SILAS, N. et COLIN, J., « Champs et jardins sains ; lutte intégrée », *Carnets écologiques CTA*, n° 12, Wageningen, CTA, 1987.

ÉTILE, E., « Pratiques agricoles favorisant la répression des ravageurs des cultures par leurs prédateurs naturels », *Revue de littérature présentée à Agriculture et Agroalimentaire Canada*, présentée le 6 août 2012, Montréal, 2013.

ESCAP, « Agro-pesticides and functions in integrated crop protection », 1991.

FAO, *Actes du symposium mondial organisé par la FAO sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures*, Rome, 1965, Rome, FAO, 1966.

GOUDEGNON, A.E., KIRK, A.A., SCHIFFERS, B. et BORDAT, D., « Comparative effects of Deltamethrin and Neem kernel solution treatments on Diamondback moth and *Cotesia plutellae* (Hym., Braconidae) parasitoid populations in the Cotonou peri-urban area in Benin », *Journal of applied entomology*, vol. 124, 2000, pp. 141-144.

HARDAKER, J.B., « Directives pour intégrer la durabilité de l'agriculture et du développement rural dans les politiques agricoles », Série FAO : Politiques agricoles et développement économique, 1999.

HAUTIER, L., JANSEN, J.-P., MABON, N. et SCHIFFERS, B., « Pesticides selectivity list to beneficial arthropods in four vegetable crops », *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, 72 (2), 2007, pp. 99-108.

HAUTIER, L., JANSEN, J.-P., MABON, N. et SCHIFFERS, B., « Influence of organic matter on bio-availability of carbosulfan and its toxicity on a carabid beetle », *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, 72 (2), 2007, pp. 109-116.

LEWIS, W.J., VAN LENTEREN, J.C., PHATAK, S.C. et TURLINSON, III, J.H., « A total system approach to sustainable pest management », *Proc. Natl. Acad. Sci.*, n° 94, 1997, pp. 12243-12248.

MAHAUT, TH., DELEU, R., RASQUIN, B. et SCHIFFERS, B., « Comparaison de la toxicité directe et des effets sublétaux de quatre pesticides à l'égard de différents stades de développement d'*Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera, Coccinellidae) », XXX^e Congrès du Groupe français des pesticides, Reims, 21-24 mai 2000, Laboratoire d'Écotoxicologie, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2001, pp. 183-190.

NEUENSCHWANDER, P., BORGEMEISTER, C. ET LANGEWALD, J., « Biological control in IPM systems in Africa », Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE (CTA), 2003.

PAVUK, D.M. et STINNER, B.R., « Influence of Weeds in Corn Plantings on Population Densities of and Damage by Second Generation *Ostrinia nubilalis* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae », *Environmental Entomology*, n° 20, 1991, pp. 276-281.

PHYTOPHAR, « Protection des cultures, environnement et agriculture ! Amis ou ennemis ? »

PIMENTEL, D. et LEVITAN, L., « Pesticides: Amounts applied and amounts reaching pests », *BioScience*, 36(2), 1986, pp. 86-91.

SCHIFFERS, B. *et al.*, « Établissement de listes de sélectivité de pesticides vis-à-vis de l'entomofaune utile dans le cadre de la production intégrée en grandes cultures », *Annales de l'ANPP*, 6^e Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, t. II, Montpellier, CIRA, 2002, pp. 261-268.

SEIF, A., VARELA, A.M., MICHALIK, S. ET LÖHR, B., « A guide to IPM in French beans production, with emphasis on Kenya », Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE ACP-UE (CTA), 2002.

SOLTNER, D., « Bandes enherbées et autres dispositifs bocagers », *Collection Sciences et Techniques agricoles*, 2001.

STERN, V.M., SMITH, R.F., VAN DEN BOSCH, R. et HAGEN, K.S., « The integrated control concept », *Hilgardia*, n° 29, 1959, pp. 81-101.

WOOD, B.J., « Pest control in Malaysia's perennial crops: A half century perspective tracking the pathway to integrated pest management », *Integrated Pest Management Reviews*, n° 7, 2002, pp. 173-190.



YOUDEOWEI, A., « La pratique de la lutte intégrée en production maraîchère », Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE, Wageningen, CTA, 2004.

YOUDEOWEI, A., « La lutte intégrée en production des plantes à racines et tubercules et des bananiers plantains », Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE (). Wageningen, CTA, 2004.

YOUDEOWEI, A., « La pratique de la lutte intégrée dans la production de céréales et de légumineuses », Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE, Wageningen, CTA, 2004.

YOUDEOWEI, A., « Principes de lutte intégrée : l'obtention de cultures saines », Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE, Wageningen, CTA, 2004.





Sites Web utiles



Sites Web utiles

ABC (Australian Biological Control) : www.goodbugs.org.au

ANDERMATT BIOCONTROL : www.biocontrol.ch

COLEACP: coleacp.org

CORNELL UNIVERSITY : www.nysaes.cornell.edu/ent/biocontrol/

CROPLIFE : croplife.org

CSP : www.insah.org

CTA : www.cta.int

FAO : www.fao.org, plus spécialement www.fao.org/ag/AGP/AGPP/IPM/gipmf/index.htm

GUIDE DE DÉFENSE DES CULTURES AU TCHAD : tchad.ipm-info.org

ICIPE : www.icipe.org

IFEN : www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

IRAC : www.illac-online.org

KENYA BIOLOGICS : www.kenyabiologics.com

KOPPERT : www.koppert.fr

OILB-SROP : www.iobc-wprs.org

PHYTOWEB : fytoweb.be/fr

PROJET HORTIVAR : www.fao.org/hortivar

REAL IPM : www.realipm.com

SYNGENTA BIOLINE : biolineapp.com

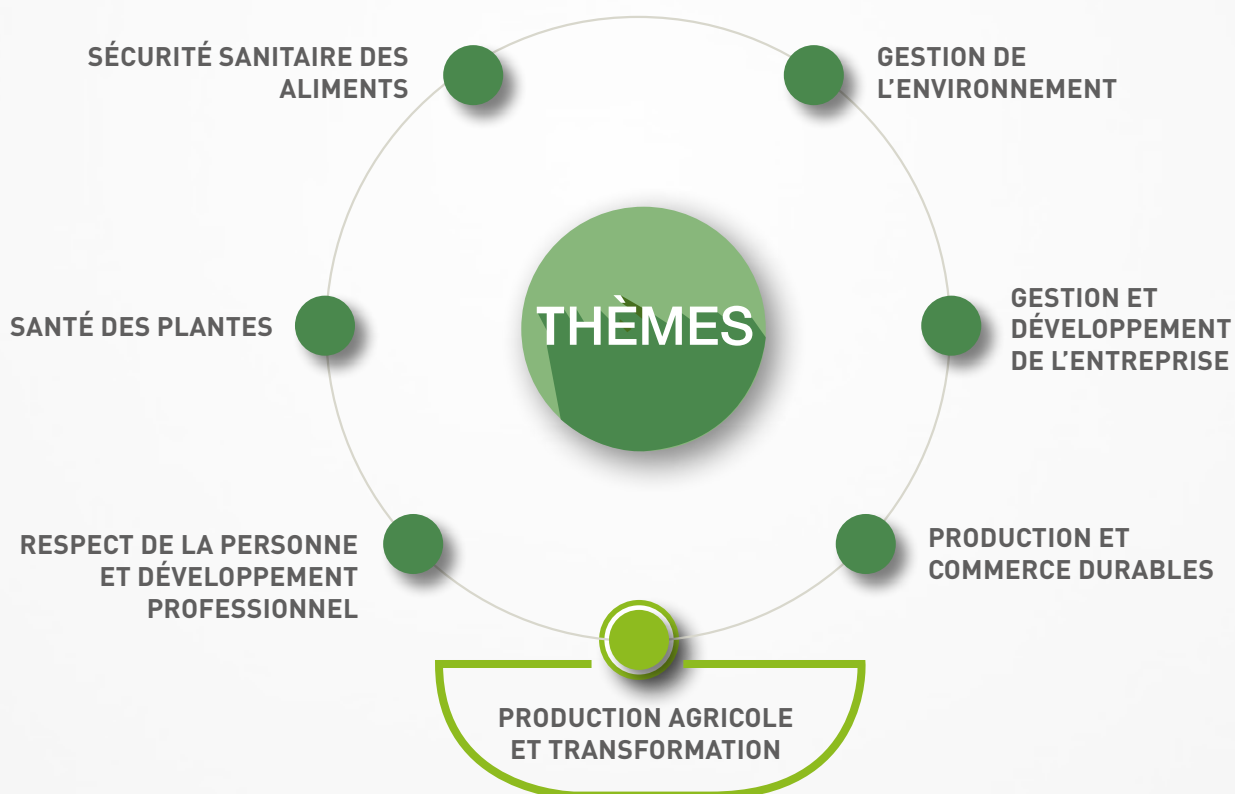
USDA-APHIS : www.aphis.usda.gov



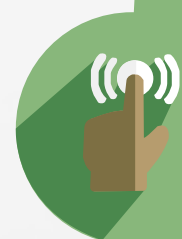
PLATEFORME E-LEARNING DU COLEACP

RECEVEZ VOTRE ACCÈS À NOTRE PLATEFORME DE FORMATION À DISTANCE RÉSERVÉE AUX ACTEURS DU SECTEUR AGRICOLE DANS LES PAYS D'AFRIQUE, DES CARAÏBES ET DU PACIFIQUE.

TESTEZ ET AMÉLIOREZ VOS CONNAISSANCES À VOTRE RYTHME !



<https://training.coleacp.org>



PRODUCTION ET COMMERCE
DURABLES

SANTÉ DES PLANTES

SÉCURITÉ SANITAIRE DES
ALIMENTS

**PRODUCTION AGRICOLE ET
TRANSFORMATION**

RESPECT DE LA PERSONNE ET
DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL

GESTION DE
L'ENVIRONNEMENT

GESTION ET
DÉVELOPPEMENT DE
L'ENTREPRISE

MÉTHODOLOGIES DE
FORMATION

FÉVRIER 2018



COLEACP