

## La protection intégrée : alternative efficace au « tout phytosanitaire » : Retour d'expérience de l'Unité de recherche Inra en Génétique et amélioration des fruits et légumes

Maurice JULLIAN<sup>1</sup>, Véronique LEFEBVRE

**Résumé.** Dès les années 2000, l'Unité de Recherche en Génétique et amélioration des fruits et légumes (GAFL, INRA) avait constaté la perte d'efficacité des applications de produits phytosanitaires sur la protection des cultures dans ses espaces confinés et extérieurs ; ce constat suggérait clairement l'adaptation des populations de bioagresseurs aux méthodes de lutte chimique. L'Unité décide alors collégalement d'appliquer sur son site la protection biologique intégrée, qui connaît ses premiers succès sur les cultures de fruits et légumes dans les centres expérimentaux des alentours et à l'étranger. La mise en œuvre de cette solution alternative nécessitait une analyse globale et en profondeur de l'écosystème du site et des contraintes expérimentales liées aux programmes de recherche développés par l'Unité. Les mesures prises ont donc ciblé d'abord l'environnement écosystémique du site, les infrastructures expérimentales, les pratiques culturales et le comportement du personnel y travaillant, et enfin bien sûr la conduite de la culture elle-même. Elles se sont appuyées sur l'association de multiples mesures prophylactiques et de moyens de lutte biologique. En 15 ans, les pratiques expérimentales de l'Unité GAFL se sont profondément transformées pour arriver à une situation d'équilibre stable sur le long terme entre l'arrivée régulière de bioagresseurs et la diminution de leur nombre en dessous d'un seuil de nocivité grâce à la l'installation d'auxiliaires indigènes ou d'élevage. La réussite de cette méthode de lutte exige une surveillance quotidienne du site au sens large (abords, infrastructures, plante à plante) ainsi qu'une réactivité accrue dès l'apparition d'un foyer infectieux. L'équilibre entre ravageurs et auxiliaires est fragile ; son maintien repose sur l'implication de l'ensemble du personnel, celui dédié au suivi des installations expérimentales et celui des équipes de recherche intervenant sur les plantes ; il demande, en outre, des actions de formation et de communication continues au sein de l'Unité. Les efforts consentis par le collectif du GAFL sur les 15 dernières années ont permis ainsi de réduire les applications de produits phytosanitaires de près de 80% et contribuent aujourd'hui à la fois à offrir un lieu de travail sain à son personnel, ainsi qu'à maintenir une certaine harmonie avec l'environnement.

**Mots clés :** protection biologique intégrée, ravageurs, auxiliaires, fruits et légumes, écosystème.

### Introduction

Alors qu'elles sont pour le généticien un réel joyau de caractères potentiellement intéressants à exploiter en sélection variétale, les **ressources génétiques** sont par définition extrêmement hétérogènes. Leur diversité facilite l'installation de foyers infectieux sur les plantes les plus sensibles ; de même qu'elle rend parfois difficile la détection de ces foyers. Ce type de matériel exige donc une surveillance phytosanitaire beaucoup plus accrue que pour celui des parcelles monospécifiques ou monovariétales. A l'Unité de Recherche Inra en Génétique et amélioration des fruits et légumes (GAFL), pendant longtemps, nous avons utilisé les traitements phytosanitaires préventifs et curatifs pour nos cultures. Cela n'a pas empêché l'adaptation progressive des populations de bioagresseurs (insectes, microorganismes...), qui sont devenues pullulantes. Cette course-poursuite, entre les

<sup>1</sup> INRA, UR 1052 Génétique et amélioration des fruits et légumes, Domaine Saint Maurice, 67, Allée des Chênes, CS 60 094, F-84143 Montfavet Cedex, France ; [veronique.lefebvre@paca.inra.fr](mailto:veronique.lefebvre@paca.inra.fr)

## Maurice Jullian, Véronique Lefebvre

applications de pesticides et l'apparition de bioagresseurs résistants aux différentes molécules de l'industrie pharmaceutique employées, vouaient nos stratégies de contrôle phytosanitaire à l'échec. Pour faire face à la **recrudescence de foyers infectieux**, il était alors urgent de trouver une solution écologique et durable ; une alternative qui permette, à la fois, de diminuer la pression parasitaire sur les cultures et de réduire le nombre de traitements phytosanitaires nocifs pour l'environnement et la santé humaine.

Parmi les alternatives existantes, il y avait la lutte biologique proposée par le Hollandais Jan Koppert, pionnier dans ce domaine. En effet, il a été le premier, en 1967, à utiliser les premiers **auxiliaires (prédateurs)** pour lutter contre les acariens (**ravageurs**) sur des cultures de concombre sous serre afin de limiter les intrants chimiques. Mais il a fallu attendre les années 80 pour que la lutte biologique commence à être adoptée par le monde agricole, particulièrement dans les serres. La **lutte biologique**, rappelons-le, consiste à utiliser les propriétés antagonistes des organismes vivants naturels pour lutter contre les bioagresseurs des cultures.

De leur côté, le CTIFL (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, <http://www.ctifl.fr/>) et l'APREL (Association provençale de recherche et d'expérimentation légumière, <http://www.aprel.fr/>) adoptaient la lutte intégrée aujourd'hui appelée protection intégrée, et constataient leurs premiers succès. La **protection biologique intégrée**, est une approche globale, qui vise à réduire les populations d'organismes nuisibles en dessous d'un **seuil de nocivité acceptable**, tout en diminuant les intrants chimiques ; elle intègre ainsi un ensemble de moyens de lutte : luttés biologiques, biotechniques et chimiques, en veillant à leur compatibilité.

L'Unité de Recherche GAFL décide alors, dès 2001, d'appliquer elle aussi la protection intégrée à son parc de serres, dans les parcelles et aux abords des serres ; un choix dicté par la volonté de limiter la lutte chimique polluante et de réduire ainsi les risques de sélection de bioagresseurs résistants aux matières actives utilisées, mais aussi un choix imposé par la nécessité d'offrir un environnement protégé pour le personnel de l'Unité. Après une analyse fine de l'écosystème, l'Unité a déployé des méthodes de prophylaxie et de lutte biologique, telles que décrites dans la suite de ce document.

## Spécificité de l'Unité de recherche GAFL

La mise en place de la protection biologique intégrée (PBI), ou encore protection intégrée, sur un domaine agricole doit prendre en compte la spécificité des espèces végétales cultivées et les objectifs de production du site. C'est dans cet esprit que l'Unité GAFL a mis progressivement en place la protection intégrée sur le Domaine expérimental de Saint Maurice (cf. **Encadré n°1**). Les agents de cette Unité ont ainsi adapté leurs pratiques culturales en tenant compte de la diversité des espèces végétales étudiées : aubergine, laitue, melon, piment, tomate, abricotier, pêcher et espèces apparentées, mais aussi des impératifs liés aux programmes de recherche de l'Unité. En effet, les généticiens du GAFL exploitent dans leurs programmes de recherche la diversité naturelle disponible dans les collections de ressources génétiques des espèces étudiées. Ces collections, comptant parmi elles les espèces apparentées aux espèces cultivées, se caractérisent par une large variabilité des morphologies, des cycles de développement, des réponses à l'environnement, et des résistances aux bioagresseurs ; tout cela rend difficile l'entretien des cultures. En outre, les expériences qui sont conduites au GAFL exigent des matériels végétaux de bonne qualité phytosanitaire.

Encadré n°1

Contexte historique et problématique de l'Unité de recherche Inra GAFL

En 1957, la Direction Générale de l'Inra achète le Domaine Saint Maurice à Montfavet près d'Avignon dans le Vaucluse. En 1958, la Station d'Amélioration des plantes maraîchères (AMP) commence des travaux avec la construction de quatre serres-verre et l'aménagement de parcelles de plein champ au domaine de la Croisette, puis en 1978 au Domaine des Garrigues situé à un kilomètre des laboratoires. Plusieurs chercheurs quittent alors la Station d'Amélioration des plantes INRA de Versailles pour poursuivre leurs travaux à l'Inra de Montfavet. La région provençale présentait, en effet, des conditions pédoclimatiques favorables au maraîchage. La Station d'Amélioration des plantes maraîchères de Montfavet trouve alors vite, par ses travaux en lien avec les problèmes locaux, une reconnaissance auprès des agriculteurs qui étaient en demande de solutions aux difficultés agronomiques rencontrées sur leur exploitation. Après la fusion avec la Station d'Arboriculture fruitière méditerranéenne d'Avignon en 1998, l'AMP devient alors l'Unité de Recherche en génétique et amélioration des fruits et légumes (UR GAFL). Le GAFL dispose d'un site expérimental étendu, qui compte aujourd'hui ~8000 m<sup>2</sup> de serres-verre, ~5000 m<sup>2</sup> de tunnels-plastique *insect-proof* (empêchant l'entrée des insectes), ~200 m<sup>2</sup> de phytotrons et ~10 ha de parcelles de plein champ. Alors qu'initialement, l'AMP travaillait sur 10 espèces maraîchères, le GAFL concentre aujourd'hui ses programmes de recherche sur 5 espèces maraîchères : la tomate, le piment, l'aubergine, le melon, la laitue, et 2 espèces fruitières : l'abricotier et le pêcher, et leurs porte-greffes. Pour des raisons scientifiques, l'Unité travaille aussi sur le genre *Arabidopsis*, de la famille des Brassicacées, considéré comme un organisme modèle en biologie végétale fondamentale. Sur le plan scientifique, les chercheurs du GAFL s'intéressent à la diversité génétique des espèces végétales étudiées, aux résistances de ces espèces à divers agents pathogènes des cultures, et à la qualité organoleptique et gustative des fruits ; l'enjeu étant de délivrer des connaissances, outils et matériels exploitables dans des programmes d'innovation variétale. Du fait de la diversité des espèces végétales étudiées et des nombreux essais expérimentaux répétés chaque année, le Domaine expérimental de Saint Maurice subit une forte pression parasitaire, avec l'apparition rapide de foyers de pucerons, aleurodes, thrips, mineuses, acariens... Pendant de nombreuses années, les foyers d'infection et les épidémies observés en plein air ou sous abris ont été contrôlés par traitements phytosanitaires. Ces épidémies sont devenues cependant de plus en plus fréquentes, jusqu'au point de constater des pullulations de bioagresseurs de plus en plus fortes, qui en outre présentaient une accoutumance aux produits phytosanitaires utilisés. La situation devient dès la fin des années 90 sans issue raisonnable ; le risque pour la santé des agents du site pouvait devenir problématique. En accord avec le responsable des cultures et la direction de l'Unité, Maurice Jullian, responsable phytosanitaire du site, propose alors aux chercheurs et à leur équipe de développer collectivement « la protection intégrée » sur l'Unité. Il s'agissait de mettre en place une approche raisonnée et durable de la surveillance phytosanitaire du site, de façon à réduire, autant que possible, l'utilisation des produits chimiques et assainir les conditions de travail du personnel.

## Mise en œuvre de la protection intégrée au GAFL

### Principe de la protection intégrée

La protection intégrée agit sur **plusieurs cibles** : les plantes cultivées elles-mêmes, les infrastructures les hébergeant et l'écosystème environnant. Sa mise en œuvre impacte les pratiques culturales et les habitudes de travail du personnel. Elle requiert une réflexion et des actions planifiées dans le temps, et exige aussi une réactivité constante dès le constat d'une anomalie. Les différents leviers d'action peuvent agir à court ou à long terme. La **prophylaxie** est le levier préventif de base agissant sur le long terme. Elle rassemble les différentes mesures à mettre en œuvre de manière simultanée afin d'empêcher l'apparition, la réapparition, l'aggravation et la propagation de maladies. Elle s'envisage de manière continue dans le temps, et globale en améliorant aussi bien les conditions de culture à l'intérieur des serres que dans l'écosystème à l'extérieur des serres. Quant aux actions à court terme, elles consistent à intervenir immédiatement, comme par exemple lors de l'observation des premiers ravageurs sur une culture ou lors d'une rupture de confinement. A côté des mesures prophylactiques, la protection intégrée utilise aussi la **lutte biologique**, qui consiste à élever des auxiliaires, prédateurs ou parasitoïdes des bioagresseurs, ou à favoriser l'installation de populations d'auxiliaires indigènes. La protection intégrée apparaît d'autant plus efficace et durable que la limitation des traitements phytosanitaires permet de maintenir les auxiliaires indigènes dans leur diversité ; de plus, elle assure le maintien des équilibres entre les différents compartiments vivants dans la culture et l'environnement.

### Les mesures prophylactiques et d'accompagnement

#### Agir sur l'écosystème

**Diagnostic.** La première action conduite à l'Unité GAFL en 2000 a consisté à établir un bilan de l'environnement des serres. Avec l'Unité de Recherche en Ecologie des invertébrés du Centre Inra d'Avignon, l'Unité GAFL avait constaté que les serres étaient à proximité de haies arborées, souvent mono-espèces, et composées d'essences inadaptées à l'accueil des auxiliaires, comme les cyprès bleu de l'Arizona et les cyprès de Provence. Certaines, comme les *Pyracanthas*, sont même attractives pour les acariens et les pucerons, ravageurs dommageables sur les espèces maraîchères et fruitières ainsi que pour l'agent du feu bactérien *Pseudomonas syringae*, bactérie dommageable sur espèces fruitières.

**Actions correctives.** Les haies mono-spécifiques inappropriées ont été remplacées par des « haies composites » afin de faire évoluer, favorablement et sur le long terme, l'écosystème autour des serres. Ces nouvelles haies comptent aujourd'hui différentes essences végétales, comme les lauriers saucés, sorbiers, buis, sureaux, viornes, noisetiers, potentilles, cornouillers, érables champêtres, etc. Ces espèces présentent l'avantage d'héberger une faune diversifiée. Ce type de haies stabilise donc l'écosystème externe aux serres, et fournit des prédateurs et parasitoïdes indigènes à même de lutter contre les ravageurs dès leur arrivée dans le biotope.

Pour agir à court-terme, les abords des serres ont été mieux entretenus, en supprimant les « mauvaises » herbes telles que les séneçons, gaillardes et laitues sauvages qui constituent d'excellents « garde-mangers » pour les ravageurs, virus et champignons. Nous avons implanté aussi des **bandes florales** et des **jachères attractives** afin d'y multiplier une faune auxiliaire diversifiée (**Figures 1 et 2**). Enfin, les déchets des cultures, les feuilles mortes, et les matériels souillés (caisses de récolte...), porteurs d'inoculum ou servant de refuges aux ravageurs, ont été systématiquement éliminés.



**Figure 1.** Parcelle en jachère sur le domaine Saint Maurice de l'Inra d'Avignon, afin de surveiller l'apparition et le stade de développement d'auxiliaires prédateurs ou parasitoïdes indigènes (principalement *Macrolophus pigmalus*).  
(Photo : P. Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).



**Figure 2.** Plant d'inule visqueuse à l'état sauvage dans la parcelle en jachère sur le domaine Saint Maurice de l'Inra d'Avignon : plante très attractive pour *Macrolophus pigmalus*, et qui en favorise l'installation.  
(Photo : P. Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).

### Agir sur les infrastructures

**Diagnostic.** Très vite, l'Unité GAFL prend conscience que son parc de serres, constitué d'une galerie centrale distribuant un ensemble de chapelles disposées en épis, favorise l'installation des bioagresseurs. D'une part, certaines serres sont de trop grande dimension rendant difficile leur contrôle « zéro foyer ». D'autre part, les serres et tunnels-plastique sont équipés d'ouvertures d'aération en lien direct avec l'extérieur. Enfin, ces infrastructures ont des accès d'entrée et sortie directs, soit sur l'extérieur, soit sur la galerie centrale pour les chapelles de serre.

**Actions correctives.** Dès 2001, des aménagements à visées prophylactiques ont été réalisés au niveau des infrastructures : serres-verre, tunnels-plastique, et chambres de culture. Les tunnels ont été équipés de **sas** d'entrée, isolant les cultures à l'intérieur des tunnels du milieu extérieur. Ces sas permettent aussi au personnel de revêtir des vêtements protecteurs avant d'entrer dans le tunnel. Des **rideaux** de lanières plastiques épaisses, conçues à l'origine pour réduire les déperditions de chaleur dans les chambres froides, ont été installés à l'entrée et à la sortie de chaque chapelle de serre, pour limiter la migration d'insectes d'une part entre la galerie centrale et les chapelles attenantes et d'autre part vers ou depuis l'extérieur. De même, des filets **insect-proof** ont été mis en place sur les ouvrants d'aération des serres et des tunnels (**Figure 3**). Enfin, l'installation de **pédiluves** imbibés d'un désinfectant, de type Agrigerme, aux entrées du parc de serres permet de réduire l'introduction de bioagresseurs pouvant être transportés sous les semelles des chaussures. En plus de ces actions à long terme, nous décidons d'étendre un **couvre-sol** synthétique tissé, de type « *cover-green* », dans les serres dédiées aux cultures hors-sol, pour limiter les échanges entre le sol et les pots de culture.

Afin que ces actions soient plus efficaces, nous avons renforcé la surveillance et l'entretien des infrastructures pour éviter les **ruptures de confinement**, en particulier après des événements climatiques perturbants (mistral, tempête...). En parallèle, nous avons amélioré la régulation de la climatisation afin d'éviter les pics de températures et de limiter les besoins d'aération. Cette régulation est notamment facilitée par le blanchiment des serres.



**Figure 3.** Installation de filets insect-proof sur les ouvrants d'aération des serres-verre.

(Photo : P. Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).

### Agir sur les pratiques culturales

**Diagnostic.** En 2000, nos serres accueillait toute l'année **plusieurs espèces** maraîchères et fruitières, chacune dotée d'une large diversité phénotypique. De plus, certaines chapelles de serre de grande taille pouvaient réunir des plantes de différentes espèces, voire même de différents genres, et de **différents stades culturaux**. Des espèces ornementales étaient également cultivées dans nos serres pour agrémenter les jardinières du site. Cette multiplicité d'espèces et de stades favorisait le transfert de populations parasites entre espèces, et pérennisait les foyers. Les vieilles plantes et les reliquats de pépinière constituaient des refuges pour les populations parasitaires ; le stade floraison en particulier était propice au maintien des thrips. De plus, les excès d'arrosage et la ferti-irrigation mal contrôlée rendaient les plantes sensibles aux maladies et ravageurs.

**Actions correctives.** Nous avons d'abord éliminé toutes les plantes d'ornement et dédié des zones à chaque espèce végétale travaillée. L'établissement de **chapelles mono-espèces** a permis ensuite de limiter les transferts de bioagresseurs d'une espèce à l'autre et le nombre d'interventions dans l'espace par le personnel. Nous avons demandé au personnel de veiller à sortir les plantes de la serre pépinière **avant le stade premier bouton floral**. Nous avons aussi diminué la densité de plantation pour favoriser une **meilleure aération**, moins propice à l'installation des maladies. La fréquence des arrosages et l'électro-conductivité ont été ajustées à chaque espèce et chaque stade cultural, à l'aide de pompes doseuses. Enfin, une **surveillance quotidienne** des cultures est aujourd'hui réalisée collectivement par les techniciens des équipes de recherche et des installations expérimentales afin de repérer immédiatement tout nouveau foyer infectieux et d'intervenir rapidement. Des **pièges à insectes** sont installés dans chacune des infrastructures et surveillés régulièrement (cf. **Encadré n°2**). A la fin de chaque essai cultural, nous réalisons un nettoyage systématique de la serre (aspiration des débris et rinçage à l'eau). Enfin, à chaque période hivernale, nous effectuons un **vide sanitaire** (cf. **Encadré n°3**).

## Encadré n°2

### Le piégeage

Le piégeage a un double objectif. Il joue d'une part un rôle d'**indicateur** ; grâce à des comptages réguliers, il indique l'arrivée des ravageurs sur un site expérimental et permet d'apprécier la diversité des espèces d'insectes capturées ainsi que leur dynamique populationnelle. D'autre part, en capturant les insectes en masse, il joue un rôle de **piège au sens strict** ; il permet ainsi de diminuer les risques de foyers infectieux sur les plantes.

Différents types de piège sont fréquemment utilisés (**Figure 4**). Notamment les « pièges delta avec phéromones » capturent spécifiquement certains insectes en fonction de la phéromone utilisée, par exemple les noctuelles. Les panneaux chromatiques de couleur bleue protègent contre les thrips, et ceux de couleur jaune contre les autres insectes. Les pièges à huile, quant à eux, protègent contre le lépidoptère *Tuta absoluta*.

Cependant, les pièges présentent parfois l'inconvénient de capturer aussi des auxiliaires prédateurs utilisés en lutte biologique, ce qui limite leur efficacité. Par exemple, la punaise prédatrice *Macrolophus pygmaeus*, utilisée pour lutter contre l'aleurode, s'y trouve fréquemment piégée.



**Figure 4.** Mise en place de pièges chromatiques (à gauche) et Delta à phéromones (à droite) dans une culture d'aubergines en serre.  
(Photo : P : Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).

### Encadré n°3

#### Vide sanitaire

La désinfection des outils, matériels et serres est une étape importante dans le contrôle des populations de bioagresseurs susceptibles d'affecter les cultures. Elle contribue à réduire la pression infectieuse exercée sur les plantes par les bactéries, les virus, les moisissures et les ravageurs ; ceux-ci peuvent, en effet, persister dans les infrastructures à l'état latent et contaminer de nouveau les plantes à la saison suivante. La désinfection ne se résume pas à la simple application d'un désinfectant, elle doit être associée à un nettoyage approfondi. Pour être efficaces, les opérations de désinfection se déroulent en cinq étapes successives : nettoyage, trempage, décapage, désinfection, et vide sanitaire *sensu stricto*. Un désinfectant de type « Agrigerme® » ou « Bactipal® » est appliqué au pulvérisateur en mouillant abondamment les infrastructures. La serre est ensuite close quasi-hermétiquement pendant 48 h, aérée pendant 24 h, puis rincée à l'eau sous haute pression avec un appareil de type « Kärcher® ». Le manipulateur doit veiller à bien désinfecter les points stratégiques, comme les angles, servant de refuge aux bioagresseurs, afin d'éliminer un maximum d'impuretés de toutes anfractuosités. Le vide sanitaire au sens strict ne commence qu'après la désinfection. Il consiste à garder la structure désinfectée vide, fermée, sans aucune introduction matérielle ou biologique venant de l'extérieur. Il permet ainsi de prolonger l'action du désinfectant et d'assécher les infrastructures. La durée minimale du vide sanitaire doit correspondre au temps nécessaire pour assécher entièrement la serre, soit en moyenne une quinzaine de jours. Cette période peut être plus longue en saison froide et humide. Au GAFL, la désinfection est effectuée annuellement, généralement en période hivernale. Elle peut être répétée en cours d'année dans certaines structures en cas de problème parasitaire majeur dans un essai. Après ce vide sanitaire, la serre doit à nouveau être aérée pendant une semaine pour évacuer les effets toxiques des résidus de désinfectant sur les prochaines cultures et le personnel.

#### Améliorer les pratiques du personnel

**Diagnostic.** Il est connu que le personnel travaillant dans les serres constitue un excellent **vecteur de bioagresseurs**. Les personnes peuvent, en effet, en transporter inconsciemment sur leurs vêtements, chaussures, cheveux, etc. depuis l'extérieur jusqu'à l'intérieur des serres, tunnels ou chambres de culture, ou d'une chapelle de serre à une autre. L'accumulation de déchets végétaux dans les infrastructures favorise également le maintien des populations de parasites.

**Actions correctives.** La mise en place de la protection intégrée implique l'engagement du responsable phytosanitaire sur le long terme et la coopération quotidienne de l'équipe en charge des installations expérimentales. De même, elle repose sur l'adhésion de l'ensemble du personnel intervenant dans les essais culturels qui doit appliquer les consignes de bonne conduite.

Dès le début de l'année 2001, l'ensemble des consignes a été communiqué au personnel au moyen d'un protocole d'intervention en milieu confiné. Un **sens unique de circulation** dans les infrastructures a été défini : le personnel doit visiter d'abord la serre pépinière accueillant les plantes les plus jeunes ayant un moindre risque d'être infectées, et finir par les cultures les plus âgées. La visite des serres doit se terminer par les compartiments ou les chambres de culture hébergeant des tests artificiels de résistance aux maladies dans lesquels sont introduits volontairement différents bioagresseurs.



A chaque entrée dans une infrastructure, le personnel **décontamine systématiquement** ses chaussures en marchant dans le pédiluve. Puis il revêt une **blouse** dans les sas ou à l'entrée des chapelles. Etant donné la diversité de nos installations et des espèces cultivées, le personnel change de blouse à chaque entrée et sortie de chapelle, compartiment de serre ou chambre de culture. Il porte aussi des gants jetables ou se désinfecte les mains après avoir manipulé les plantes. Enfin, les déchets végétaux sont régulièrement éliminés dans des sacs poubelles fermés hermétiquement et détruits à la vapeur.

### La lutte biologique

La lutte biologique est une action proactive de la protection intégrée. Elle consiste à favoriser l'installation d'auxiliaires prédateurs ou d'auxiliaires parasitoïdes des ravageurs des cultures. Les prédateurs se nourrissent directement des ravageurs, alors que les parasitoïdes parasitent le ravageur en exploitant ses ressources à leur dépend et finissent par empêcher le ravageur de se reproduire ou par le tuer (**Figures 5 et 6**). La lutte biologique s'appuie sur deux catégories d'auxiliaires : les auxiliaires indigènes et les auxiliaires d'élevage.



**Figure 5.** Colonie de pucerons du genre *Aphis gossypii* parasités par *Aphidius colemani*.  
(Photo : P. Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).



**Figure 6.** Adulte ailé d'*Aphidius colemani* émergeant d'une momie du puceron *Aphis gossypii* parasité. L'auxiliaire *Aphidius colemani* parasite *Aphis gossypii* en pondant dans son abdomen. L'adulte émerge 21 jours après la ponte et parasite à nouveau les pucerons. Avec plusieurs cycles, les auxiliaires dominent la colonie de pucerons.  
(Photo : P. Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).

### Les auxiliaires indigènes

Les auxiliaires indigènes sont ceux présents à l'état naturel dans l'environnement extérieur aux infrastructures expérimentales ou à l'intérieur. Soit ils préexistent dans le biotope indépendamment des essais culturels, soit ils sont initialement introduits par l'expérimentateur et se multiplient jusqu'à devenir une population installée de manière pérenne et se reproduisant naturellement. Il est important de connaître la diversité des auxiliaires indigènes présents ou souhaités dans le biotope, ainsi que le cycle de vie de chacun d'eux, afin de favoriser les conditions environnementales qui facilitent leur installation et leur maintien. Lorsque les auxiliaires indigènes sont absents ou en quantité insuffisante dans l'environnement, il faut introduire des auxiliaires d'élevage.

Les insectes auxiliaires indigènes présents sur le site du GAFL se nourrissent ou parasitent principalement les pucerons, cochenilles, acariens, aleurodes, noctuelles, thrips, psylles et divers œufs et larves d'insectes (**Tableau 1**).

**Tableau1.** Principaux auxiliaires indigènes repérés au GAFL entre 2001 et 2014

Auxiliaire	Ordre de l'auxiliaire	Ravageurs	Action
Chrysope	Neuroptère	Puceron, cochenille, acarien	Prédateur
Coccinelles (spp.)	Coléoptère	Puceron, acarien, aleurode	Prédateur
Cécidomies (spp.)	Diptère	Puceron, acarien	Prédateur
Hémérobe	Neuroptère	Puceron, acarien, œufs divers	Prédateur
<i>Aphidius</i> (spp.)	Hyménoptère	Puceron	Parasitoïde
<i>Cyrtopeltis tenuis</i>	Hétéroptère	Aleurode, noctuelle, acarien	Prédateur
<i>Dicyphus errans</i>	Hémiptère	Aleurode, noctuelle, acarien	Prédateur
<i>Macrolophus</i>	Hétéroptère	Aleurode, noctuelle, acarien	Prédateur
<i>Orius</i>	Hétéroptère	Thrips, puceron, acarien	Prédateur
Syrphe	Diptère	Puceron, larves diverses	Prédateur
Acarien Phytoséiide	Phytoseiidae	Acarien, thrips, aleurode	Prédateur
Forficule (Perce-oreilles)	Dermaptère	Puceron, thrips, psylle	Prédateur

### Les auxiliaires d'élevage

Les auxiliaires d'élevage sont, quant à eux, absents du biotope à l'état naturel ; ils nécessitent d'être élevés et réintroduits régulièrement dans les essais culturaux (**Figures 7 et 8**) ; on peut s'en procurer dans le commerce, et pour certains d'entre eux, ils peuvent être élevés par l'expérimentateur. L'élevage de certains auxiliaires exige l'entretien de **plantes-relais** (cf. **Encadré n°4**). L'élevage et l'installation d'auxiliaires dans un essai cultural sont délicats, car il peut être difficile de les acclimater à nos infrastructures expérimentales qui n'ont pas les conditions d'élevage optimales du fournisseur. Les lâchés d'auxiliaires doivent donc être réalisés à des températures et hygrométries de serre, qui sont spécifiques à chaque espèce d'auxiliaire, conditions généralement renseignées par les fournisseurs. Après un lâché d'auxiliaires dans une infrastructure, les interventions par le personnel doivent être limitées, le temps de favoriser leur installation sur les plantes.



**Figure 7.** *Macrolophus pigmalus*, auxiliaire majeur de la protection intégrée, sur tomate. (Photo : P. Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).



**Figure 8.** Lâchers de *Neoseiulus californicus* (gauche) et d'*Amblyseius swirskii* (droite) sur une culture d'aubergines sous serres pour lutter contre les acariens, thrips et aleurodes. (Photo : P. Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).

Les auxiliaires d'élevage utilisés au GAFL sont nombreux (**Tableau 2**). Il s'agit d'insectes, de bactéries et de nématodes, qui permettent de lutter contre des ravageurs aussi divers que les aleurodes, les thrips, les acariens, les mineuses, les pucerons, les noctuelles, les mouches de terreau et les Othiorynques.

#### Encadré n°4

##### Les plantes-relais servant au couple « auxiliaire parasitoïde - ravageur »

Les plantes-relais sont parfois déployées en « lutte biologique basée sur les auxiliaires parasitoïdes ». L'**auxiliaire parasitoïde** a la faculté de parasiter un ravageur des cultures et ainsi de contribuer à son élimination de façon non chimique. Quant aux **plantes-relais**, elles permettent l'élevage autonome de l'auxiliaire parasitoïde, celui-ci étant ensuite introduit de façon préventive dans la **culture à protéger** pour lutter contre un **ravageur** spécifique de la culture. Une fois multipliés sur la plante-relais, les auxiliaires parasitoïdes se dispersent dans la culture à protéger et viennent parasiter le ravageur de la plante cultivée au fur et à mesure que les foyers apparaissent.

Au GAFL, des potées d'orge et d'éleusine (graminées) sont régulièrement produites en cages grillagées. Lorsqu'elles atteignent une hauteur de 20 cm environ, des pucerons spécifiques des graminées sont lâchés sur ces plantes. Une fois la population de pucerons des graminées suffisamment développée sur la plante-relais, leurs parasitoïdes sont lâchés à leur tour dans la cage. En parasitant leurs proies, ils se multiplient. Dix à douze jours plus tard, les plantes-relais sont disposées dans les cultures à protéger à raison d'une plante pour 100 m<sup>2</sup> (**Figure 9**). Les auxiliaires parasitoïdes se dispersent alors dans la serre et parasitent les pucerons de la culture à protéger.

A titre d'exemple, l'hyménoptère *Aphidius colemani* parasite à la fois le puceron des graminées *Rhopalosiphum padi* et le puceron des cucurbitacées *Aphis gossypii* (sur melon, concombre...); l'hyménoptère *Aphidius ervi* est auxiliaire du puceron des graminées *Sitobion avenae* et du puceron du pêcher *Myzus persicae*.



**Figure 9.** Installation d'une plante-relais dans une serre de plants de melon : ici la plante-relais est une éleusine (graminée). Celle-ci est infestée par le puceron des céréales *Rhopalosiphum padi* lui-même parasité par le parasitoïde *Aphidius colemani*. Ce dernier, aussi auxiliaire du puceron du melon *Aphis gossypii*, aide à protéger la culture de melon contre les infestations de pucerons. (Photo : P. Duvivier, UR GAFL, Inra Avignon).

Tableau 2. Principaux auxiliaires d'élevage et parasites utilisés au GAFL entre 2001 et 2014

Ravageur des cultures	Auxiliaire d'élevage	Ordre de l'auxiliaire	Action	Lâcher	Cultures protégées
Aleurode • <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	<i>Macrolophus pigmaeus</i> <i>Encarsia formosa</i> <i>Eretmocerus eremicus</i>	Hétéroptère Hyménoptère Hyménoptère	Prédateur Parasitoïde-prédateur Parasitoïde-prédateur	Préventif Préventif Préventif	Aubergine et Tomate
• <i>Bemisia tabaci</i>	<i>Eretmocerus mundus</i> <i>Amblyseius swirskii</i>	Hyménoptère Phytoseiidae	Parasitoïde-prédateur Prédateur	Préventif Préventif	Piment
Thrips • <i>Frankliniella occidentalis</i> • <i>Thrips tabaci</i>	<i>Orius laevigatus</i> <i>Neoseiulus cucumeris</i> <i>Amblyseius swirskii</i>	Hétéroptère Phytoseiidae Phytoseiidae	Prédateur Prédateur Prédateur	Préventif Préventif Préventif	Aubergine, Melon et Piment
Acarien • <i>Tetranychus urticae</i>	<i>Neoseiulus californicus</i> <i>Phytoseiulus persimilis</i> <i>Feltiella acarisuga</i>	Acarien Acarien Diptère	Prédateur Prédateur Prédateur	Préventif Curatif Curatif	Aubergine, Melon, Piment et Tomate
Mineuse • <i>Liriomyza bryoniae</i> • <i>Liriomyza huidobrensis</i>	<i>Diglyphus isaea</i> <i>Dacnusa sibirica</i>	Hyménoptère Hyménoptère	Parasitoïde Parasitoïde	Curatif Curatif	Aubergine, Melon, Piment et Tomate
Pucerons (spp.)	<i>Aphidoletes aphidimyza</i> <i>Chrysoperla carnea</i> <i>Adalia bipunctata</i>	Diptère Neuroptère Coléoptère	Prédateur Prédateur Prédateur	Curatif Curatif Curatif	Aubergine, Melon, Piment, et Tomate
• <i>Aphis gossypii</i> • <i>Mysus persicae</i>	<i>Aphidius colemani</i>	Hyménoptère	Parasitoïde	Préventif	
• <i>Aphis gossypii</i>	<i>Aphidius ervi</i>	Hyménoptère	Parasitoïde	Préventif	
• <i>Aulacorthum solani</i> • <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	<i>Aphidius ervi</i> <i>Aphelinus abdominalis</i>	Hyménoptère Hyménoptère	Parasitoïde Parasitoïde	Préventif Préventif	
Noctuelle • <i>Tuta absoluta</i> • <i>Mamestra brassicae</i> • <i>Helicoverpa armigera</i>	<i>Macrolophus pigmaeus</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> *	Hétéroptère Bactérie	Prédateur Pulvérisation	Préventif Curatif	Aubergine, Piment et Tomate
Mouche de terreau • <i>Sciaride</i> • <i>Scatella</i>	<i>Steinernema feltiae</i> <i>Macrocheles robustulus</i>	Nématode Phytoseiidae	Parasite Prédateur	Curatif Préventif	<i>Arabidopsis</i> et en pépinière
Othiorynque	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Nématode	Parasite	Curatif	Abricotier, Pêcher et en tunnel

\* Cristaux protéiques bactériens

## Difficultés et limites de la protection intégrée

La principale faiblesse de la protection intégrée est la difficulté de sa mise en place. En effet, elle nécessite une **analyse globale d'un système agricole** qui permet de proposer des solutions adaptées à l'écosystème visé, à l'espèce cultivée et à son état de développement. Elle s'appuie donc sur des observations fines et un savoir-faire associé à la connaissance des auxiliaires et des solutions prophylactiques. Ce qui caractérise la protection intégrée, c'est de travailler sur le **long terme**. Contrairement à la lutte chimique qui en principe détruit les bioagresseurs quasi-immédiatement, la mise en place de la protection intégrée peut conduire temporairement à une augmentation de la population parasitaire. Les résultats sont souvent progressifs au cours des années, jusqu'à ce que l'écosystème atteigne une situation d'équilibre entre l'arrivée des bioagresseurs et la diminution de leur impact. La protection intégrée peut paraître pour certains déroutante car l'objectif est de diminuer les populations de ravageurs en dessous d'un **seuil de nocivité** pour la culture et non pas d'atteindre l'objectif « zéro ravageur ». Ce dernier point exige une réelle prise de conscience de l'impact environnemental, social et économique des différents moyens de lutte, et d'apprécier pour chacun d'eux le rapport coût/bénéfice et ceci à l'échelle du long terme. Au GAFL, la mise en œuvre de la protection intégrée est aujourd'hui freinée par la vétusté d'une partie des installations expérimentales qui deviennent difficiles à aménager davantage. Elle exige donc une surveillance phytosanitaire accrue de toutes les zones de culture. Cette surveillance repose sur l'ensemble du personnel travaillant sur les cultures, et exige donc des actions de formation et de communication continues. Lorsque la protection intégrée ne fonctionne pas suffisamment pour les exigences de recherche, nous sommes amenés à appliquer des traitements chimiques localisés afin de restreindre dès leur apparition les nouveaux foyers de ravageurs. Dans les quelques cas de lutte biologique inefficace, nous avons recours à des méthodes correctives « douces » comme l'usage de pièges à phéromones et kairomones, ou l'emploi d'autres auxiliaires..., ou même l'application de produits phytosanitaires compatibles autant que possible avec la lutte biologique.

## Conclusion

Malgré la difficulté de sa mise en place, la protection intégrée reste une méthode efficace présentant de nombreux avantages. Le plus important est qu'elle limite, voire élimine, les phénomènes d'accoutumance chez les ravageurs. L'efficacité des auxiliaires lâchés sur une culture est souvent supérieure aux traitements chimiques, car les auxiliaires explorent l'ensemble du feuillage et l'**efficience** dure plusieurs mois. Cette méthode de lutte ne confère pas de phytotoxicité pouvant ralentir le développement de la culture. De plus, la protection intégrée est économiquement avantageuse à long terme. Les applicateurs apprécient l'économie de temps de travail et la moindre pénibilité des traitements, n'étant plus exposés aux pesticides toxiques. Par ailleurs, lorsque cette méthode de lutte est expliquée aux consommateurs, elle est généralement bien perçue car elle permet d'offrir des produits dépourvus de résidus chimiques, même si les produits peuvent présenter quelques défauts d'apparence. Enfin, il va sans dire que cette méthode apporte une bonne protection de la faune auxiliaire naturelle, et **respecte l'environnement ainsi que la santé du personnel**.

Au GAFL, l'aménagement de l'environnement des serres a été un facteur important pour la réussite de la protection intégrée. Appréhender le milieu de la faune indigène et transformer le biotope ont permis de créer une biocénose attractive et active pour avoir un écosystème performant et adapté à nos objectifs. Les bénéfices de la protection biologique se sont fait ressentir dès 2 ans après leur mise en place. Nous considérons que nous avons réduit à ce jour le nombre de traitements de près de 80%, offrant un moyen de lutte plus durable qu'autrefois et un meilleur environnement dans et hors des serres et tunnels. Cependant cette nouvelle méthode de lutte ne permet pas de réduire le temps de travail consacré à la protection des cultures car les interventions de surveillance et de traitements localisés sont multipliées. Pour accroître la réussite de cette démarche, d'autres actions doivent encore être poursuivies comme l'installation massive de plantes-relais, de bandes florales, d'hôtels à insectes et de haies composites autour des installations expérimentales.

## Remerciements

Les auteurs remercient vivement Gisèle Broquier (Conseiller Koppert®) pour son aide à la réalisation des Tableaux 1 et 2, Patrice Duvivier (UR GAFL, Inra Avignon) pour la réalisation des photographies, ainsi que Joël Chadœuf (UR BioSp, Inra Avignon) et Houda Braham (formatrice Atelier d'écriture) pour leur relecture critique de « néophyte averti », et enfin un des relecteurs, anonyme « très averti », pour ses remarques constructives.

### Quelques définitions

**Auxiliaire** : organisme vivant, qui par son cycle de vie, entraîne l'inhibition ou la destruction d'un bioagresseur, nuisible pour l'agriculture. Fréquemment, insecte prédateur ou parasitoïde utilisé en lutte biologique pour lutter contre les ravageurs des cultures.

**Bioagresseur** : appelé aussi « ennemi des cultures », c'est un organisme vivant qui attaque les plantes cultivées et qui peut causer des pertes économiques. Il en existe trois grandes familles : les agents phytopathogènes (bactéries, champignons, oomycètes, virus, phytoplasmes...) qui causent les maladies des plantes, les ravageurs (prédateurs ou parasites) des plantes (insectes, nématodes, acariens...), et les mauvaises herbes qui concurrencent les plantes cultivées.

**Biocénose** : ensemble des êtres vivants coexistant dans un espace écologique donné, associé à leur organisation et leurs interactions.

**Infection** : pénétration et développement dans un organisme de germes pathogènes dits « infectieux ». L'infection s'achève par la guérison ou la mort de l'hôte.

**Larve** : premier état des insectes et des acariens au sortir de l'œuf.

**Lutte biologique** : utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour empêcher ou réduire les pertes ou dommages causés par les bioagresseurs des cultures.

**Lutte intégrée** ou **protection biologique intégrée** ou **protection intégrée** : emploi combiné et raisonné de toutes les méthodes dont on dispose contre les différents bioagresseurs des cultures (prophylaxie, lutte chimique, lutte biologique, lutte génétique). Dans cette conception de la protection des cultures, on réserve la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels pour limiter les infestations.

**Parasitoïde** : organisme auxiliaire qui vit aux dépens d'un hôte dans lequel il se développe, causant la mort de ce dernier, parfois de façon rapide mais le plus souvent de façon différée.

**Pesticide** ou **produit phytosanitaire** ou **produit antiparasitaire** : substance (produit de synthèse) ou préparation permettant de lutter contre les ennemis des cultures ou des produits récoltés.

**Prédateur** : organisme auxiliaire qui capture ses victimes, appelées proies, pour s'en alimenter. Au cours de son cycle, un prédateur donné peut se nourrir successivement d'une multitude de proies.

**Prophylaxie** : mesure qui permet de limiter ou d'éliminer les sources de bioagresseurs.

**Ravageur** : insecte, acarien ou nématode provoquant brusquement des dégâts importants sur les cultures.

**Vecteur** : se dit d'un agent (insecte, nématode, acarien...) qui dissémine et transmet un microorganisme responsable d'une maladie.