

# MÉTHODES ALTERNATIVES EN PROTECTION DES PLANTES



Horticulture  
et paysage





# MÉTHODES ALTERNATIVES EN PROTECTION DES PLANTES





# Préface de Jérôme Jullien

Expert national en surveillance biologique du territoire  
DGAL - Département d'expertise vétérinaire et phytosanitaire

Que d'évolutions techniques ! C'est sans doute ce que se disent de nombreux professionnels de l'horticulture ornementale et du paysage au vu des changements qui se sont opérés ces 30 dernières années en France dans le domaine phytosanitaire. Durant cette période, il aura fallu bien des programmes de recherche et d'expérimentation mis en œuvre par ASTREDHOR pour répondre au mieux aux attentes des professionnels en quête de solutions innovantes contre les maladies, les ravageurs et les adventices des cultures. Une tâche aussi difficile que motivante !

Comment développer les bonnes pratiques et les méthodes alternatives pour réduire l'utilisation des produits impactant la santé humaine et l'environnement, tout en maintenant la productivité et la compétitivité des entreprises, le respect de la réglementation en vigueur, l'esthétique des plantes d'ornement ou la fonctionnalité des parcs et jardins paysagers ? Répondre à de tels défis impose d'emblée une synergie entre les acteurs professionnels et les expérimentateurs. Il convient ensuite de retenir les meilleures options, puis de démontrer, résultats significatifs à l'appui, que certaines stratégies et méthodes proposées sont viables, efficaces et constituent de réelles avancées technico-économiques. C'est ainsi que de nombreux horticulteurs, pépiniéristes, entrepreneurs-paysagistes et gestionnaires d'espaces verts publics, bénéficient aujourd'hui de méthodologies fiables pour réguler à des niveaux acceptables les populations d'organismes nuisibles aux végétaux.

Après avoir réalisé principalement dans un premier temps des essais de biocontrôle en cultures sous abri, ASTREDHOR a expérimenté en complément de nouvelles méthodes alternatives en milieux ouverts, à la recherche d'équilibres biologiques au sein des écosystèmes. Il en résulte des dispositifs plus durables que par le passé qui répondent parfaitement aux enjeux du progrès agroécologique pour la France et aux objectifs du plan Ecophyto piloté par les ministères chargés de l'agriculture et de la transition écologique.

Afin de rassembler l'essentiel des connaissances actuelles sur les méthodes alternatives en protection des plantes pour l'horticulture et le paysage, ASTREDHOR a mis tout son savoir-faire dans cet ouvrage collectif : des résultats de programmes de recherche et d'innovation, des données précises sur les infrastructures agroécologiques, des exemples concrets d'utilisation des macro-organismes auxiliaires et des produits de biocontrôle, des éclairages techniques et des stratégies opérationnelles que chaque producteur horticole ou gestionnaires d'espace vert peut s'approprier et appliquer avec confiance.

Le format pratique de ce guide, ainsi que son contenu synthétique et vulgarisé assorti de nombreuses photos, convient à une utilisation facile et régulière. Rien n'empêche ensuite, à qui le désire, d'approfondir ses recherches en consultant des publications techniques ou scientifiques plus détaillées.

Je tiens à saluer le travail remarquable d'ASTREDHOR qui, pour la réalisation de cet ouvrage de référence, a su choisir les informations justes et utiles sur les méthodes alternatives de protection phytosanitaire des cultures ornementales.

# Préface de Bruno Gobin

Directeur du PCS Recherche en culture ornementale (Belgique)

La filière horticole est l'une des plus innovantes en Europe. Les professionnels développent de nouveaux cultivars, adoptent de nouvelles technologies et sont fiers de la qualité des produits qu'ils mettent sur le marché ou des réalisations paysagères qu'ils conçoivent et mettent en place. Ils produisent des plantes qui vont apporter du bien-être dans la vie des gens, que ce soit dans leurs jardins, dans leurs maisons, à l'occasion de moments importants de leur vie, ou même tout simplement dans les petits moments où l'on dit merci, je t'aime, je pense à toi...

C'est dans cet esprit que les professionnels prennent volontairement la responsabilité d'utiliser des techniques durables, avec un impact minimal sur l'environnement et la santé humaine, et un effet positif sur la production et l'entretien des végétaux. Les méthodes de production les plus durables au niveau écologique et économique constituent un gage d'avenir dans une société qui est de plus en plus en demande sur les aspects environnementaux. L'Europe n'est pas la seule à exiger une transition vers une production durable ; ce sont aussi nos voisins, les consommateurs, qui le demandent.

Mais une telle transition n'est pas facile à conduire. L'utilisation de méthodes alternatives aux produits phytopharmaceutiques exige parfois des connaissances bien plus grandes et spécifiques du cycle de vie d'un ravageur ou d'une maladie. Ces nouvelles méthodes plus durables requièrent souvent une patience élevée des professionnels avant que le résultat ne soit visible ou exploitable. Elles nécessitent aussi la combinaison de plusieurs approches mûrement réfléchies. Cette tâche n'est pas aisée, au regard des dégâts causés par les maladies et les ravageurs dans une activité très compétitive, notamment au niveau international.

C'est sur ce point que l'expertise des stations d'expérimentation d'ASTREDHOR fait la différence. Elle est fondée sur des années d'essais et sur un réseau de contacts internationaux composé de chercheurs et d'entreprises de l'agro-fourmiture. Elle repose aussi sur une volonté de partage et de transfert auprès des professionnels afin de proposer des innovations pour le secteur de l'horticulture ornementale et du paysage.

Le guide pratique « Méthodes alternatives en protection des plantes » rassemble les connaissances fines des collègues d'ASTREDHOR pour aider les professionnels qui désirent appliquer ces techniques dans le cadre d'une stratégie de lutte intégrée en protection des plantes. L'approche pratique adoptée par ce guide, avec nombreuses illustrations et exemples concrets, en fait un outil utilisable par tous les professionnels. Ce guide montre la volonté de tout le secteur de progresser vers des méthodes plus durables, en production comme en aménagement paysager.

Je félicite les collègues d'ASTREDHOR pour leur travail conséquent pour la filière ornementale... La sortie de ce guide pratique en est la parfaite illustration. Je félicite également les professionnels qui s'appuieront sur ce guide pour travailler à mettre en place des méthodes plus durables.

# Sommaire

Introduction	11
Claude Déhais, Agnès Langlois, Fabien Robert et Ardavan Soleymani	
<b>CHAPITRE 1</b>	<b>15</b>
<b>MALADIES DES PLANTES ET RÉGULATEURS DE CROISSANCE</b>	
Le potentiel des stimulateurs de défense des plantes pour une protection phytosanitaire durable	17
Oscar Stapel et Anne Pennaneac'h	
La biotisation des sols et des substrats	23
Jean-Marc Deogratias et Marc-Antoine Cannesan	
Les outils de détection précoce des pathogènes	29
Marc-Antoine Cannesan et Charline Lecomte	
La stimulation mécanique pour réguler la croissance et le développement des végétaux	37
Emilie Maugin et Alain Ferre	

## CHAPITRE 2

45

### PROTECTION CONTRE LES RAVAGEURS

#### Le piégeage des ravageurs

Marie-Laure Winocq

47

#### Les nouveaux auxiliaires des plantes : détection, description et validation

Tom Hebbinckuys et Alain Ferre

55

#### Compléments alimentaires et habitats pour la faune auxiliaire

Ange Drouineau et Sophie Descamps

61

#### Des plantes au service de la protection des cultures, ou comment tirer parti des interactions au sein des écosystèmes

Vincent Prod'homme et Alain Ferre

71

## CHAPITRE 3

79

### MAÎTRISE DES ADVENTICES, ALTERNATIVES AU DÉSHÉRBAGE CHIMIQUE

#### Les techniques de paillage des végétaux horticoles

Sophie Bresch et Anaïs Marie

81

#### Méthodes physiques de désherbage : désherbage mécanique

Vincent Calvarin et Isabelle Vandernoot

91

#### Plantes couvre-sol et valorisation des effets allélopathiques

Paul Bécart et Jérôme Coutant

97

### QUESTIONS TRANSVERSALES

Pour s'y retrouver dans la réglementation des produits et des agents de lutte contre les bio-agresseurs utilisables dans une perspective agro-écologique

Laurent Jacob

109

S@M : un outil d'aide à la décision développé par l'UMT FioriMed pour accompagner la réduction des pesticides en productions horticoles

Bruno Paris et Séverine Doise

121

Présentation des résultats opérationnels des dispositifs DEPHY FERME et EXPE

Ardavan Soleymani

127

Avancées dans les autres filières et perspectives de recherche pour l'horticulture et le paysage

Fabien Robert et David Vuillermet

135



# Introduction

Claude Déhais (Président d'ASTREDHOR)

Agnès Langlois (ASTREDHOR Seine-Manche)

Fabien Robert (ASTREDHOR) et Ardavan Soleymani (ASTREDHOR Est)

La filière de l'horticulture et du paysage est l'une des plus diversifiées tant du point de vue des types de produits que des situations environnementales des plantes, ce qui engendre une diversité presque infinie de problématiques sanitaires rendant complexe la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. Pour autant, le changement de pratiques de gestion phytosanitaire est apparu aux professionnels de la filière comme une nécessité absolue et cela depuis près de 30 ans et pour de multiples raisons.

En tout premier lieu, la filière, de par ses spécificités (peu de produits homologués, contraintes liées aux espaces confinés et de coactivité dans les serres, délais de réentrée imposés après traitement...), a été très tôt confrontée à un retrait de plus en plus important des substances actives et des spécialités commerciales. Elle a aussi fait face à la réticence des firmes phytosanitaires à engager de nouveaux dossiers d'homologation pour des usages horticoles (dits « usages mineurs »), mais aussi à des impasses techniques majeures dues notamment au développement de phénomènes de résistance de certains ravageurs sous serre. Les professionnels de la filière étant, de plus, les premiers exposés aux produits phytopharmaceutiques, ASTREDHOR a initié dès le début des années 1990 d'importants travaux de recherche sur la PBI, « Protection Biologique Intégrée », la stratégie mise en œuvre étant de réserver délibérément la priorité aux éléments naturels de limitation, et de ne recourir à la lutte chimique qu'en dernière extrémité. Plus récemment, la prise en compte de la protection de l'environnement et des attentes des consommateurs transcrites par le législateur, exprimées également au sein des collectivités et par les professionnels du paysage, utilisateurs des produits horticoles, ont incité très fortement la filière à poursuivre cette évolution et à mettre en place des schémas de production innovants, tendant de plus en plus vers le « zéro phyto ».

Ainsi, ASTREDHOR, qui bénéficie d'une large expertise dans ce domaine, accompagne les professionnels depuis sa création en 1995 en développant des solutions de protection des cultures qui répondent aux enjeux environnementaux mais qui sont aussi agronomiquement et économiquement viables. Cherchant tout d'abord à résoudre les problèmes « facteur par facteur » et avec des moyens de lutte directs contre les bio-agresseurs, les solutions se sont élargies, au fil des années, des expériences et connaissances accumulées, en prenant en compte le système de culture dans sa globalité jusqu'à intégrer des solutions agro-écologiques dans des approches systémiques à l'échelle des entreprises, voire des territoires.

Notre implication dans des projets partenariaux tant au plan régional, national qu'europpéen sur les sujets de la protection des cultures (ces dix dernières années, 560 des 1 608 essais (35 %) étaient des recherches sur les alternatives), notre inscription dans le réseau mixte technologique (RMT) Agriculture et Biodiversité, dans l'action thématique transversale inter-filières (ATT) Biodiversité Fonctionnelle et Biocontrôle, dans l'Accord de consortium « Biocontrôle » auprès de l'INRA,

d'autres instituts techniques agricoles (ITA) et des firmes du biocontrôle, sont autant de marques de l'engagement de l'Institut dans la recherche d'alternatives aux produits xénobiotiques.

L'UMT FioriMed que nous avons construite avec l'INRA de Sophia-Antipolis sur le thème de la protection intégrée des cultures sous serre confirme également notre volonté de nous inscrire pleinement et dans la durée dans ce thème de l'amélioration des solutions de protection des cultures dans un objectif de moindres impacts environnementaux. Cette UMT a vocation à produire des méthodes et outils de diagnostic et de résolutions des problèmes sanitaires. Le cœur du projet est la plateforme S@M, un outil d'aide à la décision. Plusieurs projets tant nationaux qu'euro-péens (DÉPHY Otelho, IS@M projet Interreg européen, S@M Change projet Ecophyto-AFB) ont été conduits par cette UMT et ont permis de développer l'outil S@M qui sera accessible aux professionnels sur smartphones et tablettes à la fin de l'année.

Aujourd'hui, le guide technique « Méthodes alternatives en protection des plantes », publié dans le cadre de la campagne d'information 2018, présente un condensé des différentes approches que nous menons dans nos dix stations d'expérimentation. Cet ouvrage technique présente de manière synthétique, pragmatique et illustrée, des thématiques choisies en lien avec les problématiques rencontrées par les acteurs de la filière. En particulier, les horticulteurs et les paysagistes pourront découvrir de récents résultats techniques ou des méthodes à appliquer grâce aux nombreux exemples présentés à travers les différents chapitres.

Dans cette optique, ce document a été conçu pour être une véritable boîte à outils qui permettra aux professionnels d'identifier des solutions pour limiter l'impact de la protection des cultures sur l'environnement tout en proposant des solutions viables économiquement. Ainsi, les thèmes du maintien des auxiliaires dans les cultures, de la stimulation des défenses des plantes, du contrôle de leur croissance, du désherbage des cultures, des biostimulants, de la biotisation des substrats, des outils de détection et sans oublier la réglementation, sont présentés dans ce guide sous forme de synthèses qui offrent un aperçu des matériels et méthodes utilisables dans notre filière, et en ouvrant également sur celles qui sont à venir.

Le guide « Méthodes alternatives en protection des plantes » rejoint la collection de publications scientifiques et techniques, synthèses et fiches techniques et autres documents de transfert publiés chaque année par ASTREDHOR. Ces ouvrages proposent des analyses fines des résultats d'expérimentation obtenus dans le cadre des programmes et essais de recherche appliquée. Ils concourent, aux côtés de l'équipe de 23 conseillers intégrés et labellisés d'ASTREDHOR, à la diffusion des résultats de nos activités de recherche auprès des professionnels. Pour aller plus loin sur chaque sujet, les dix stations d'expérimentation de l'Institut proposent des formations dédiées. Chaque lecteur pourra donc, s'il le souhaite, s'immerger un peu plus dans l'univers des méthodes alternatives en protection des plantes dans le cadre de ces formations.

Bonne lecture !





# Chapitre 1

---

## MALADIES DES PLANTES ET RÉGULATEURS DE CROISSANCE



# Le potentiel des stimulateurs de défense des plantes pour une protection phytosanitaire durable

Oscar Stapel et Anne Pennaneac'h (ASTREDHOR Loire-Bretagne)

Parmi les méthodes visant à réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, l'utilisation des stimulateurs de défense des plantes (SDP), qui ont un mode d'action indirect contre les pathogènes, a fait l'objet de nombreux travaux dans les stations d'expérimentation d'ASTREDHOR. Cette méthode constitue aujourd'hui une stratégie de lutte efficace et durable pour certaines plantes ornementales, notamment pour la protection du chrysanthème contre la rouille blanche. Un stimulateur de défense des plantes est défini comme une substance ou un produit naturel (issu de micro-organismes, de plantes, d'algues, d'animaux) ou de synthèse, capable d'induire ou de préparer à l'induction, chez les plantes traitées, d'un état de résistance aux bio-agresseurs. Dans cet article, seront présentés le mode d'action général des SDP, quelques résultats obtenus en conditions de production et le potentiel des SDP dans une stratégie de protection phytosanitaire en complément d'autres moyens de lutte.

## PRINCIPES GÉNÉRAUX D'ACTION DES SDP

Le mode d'action d'un SDP, très particulier, rappelle approximativement le principe de la vaccination. Les plantes disposent de plusieurs moyens pour se défendre contre les bio-agresseurs. La première ligne de défense est constitutive, passive et déjà existante avant l'agression. Ce sont les barrières physiques (par exemple, cuticule, téguments, épines, trichomes) et les substances chimiques toxiques ou antibiotiques préexistantes dans la plante (tanins, quinine etc.). La deuxième ligne de défense est, quant à elle, plus complexe : ce sont des réponses de la plante, provoquées ou induites par le contact avec le bio-agresseur. La plante produit alors activement des composés spécifiques à l'intérieur de ses cellules, qui déclenchent ensuite eux-mêmes divers mécanismes de défense contre les agresseurs qui peuvent être simplement une accentuation des défenses préexistantes citées ci-avant (figure 1).

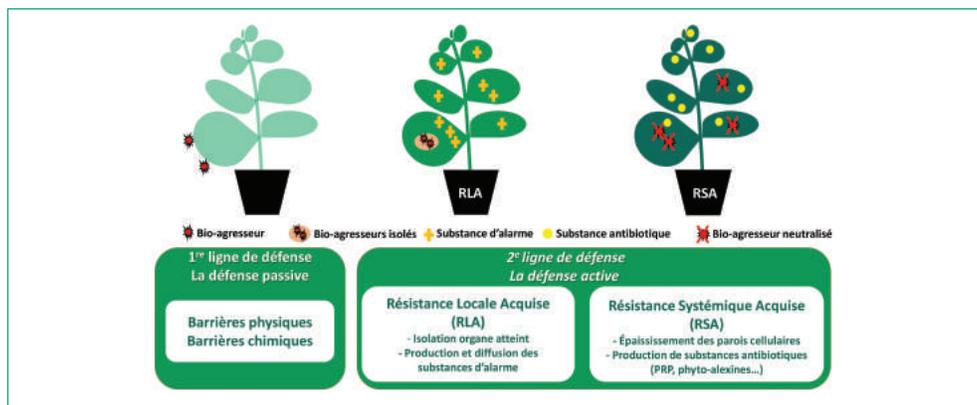


Figure 1 : Les défenses constitutives et induites chez la plante pour se défendre contre l'attaque d'un bio-agresseur.

Certaines molécules associées aux bio-agresseurs (appelées éliciteurs) sont en effet reconnues par la plante et induisent la formation de molécules de signalisation interne (oligosaccharides, acide jasmonique, acide salicylique et éthylène). En général, ces signaux internes d'alarme entraînent une résistance localisée ou systémique grâce à la formation de composés nocifs pour les agents bio-agresseurs, comme les phyto-alexines qui ont une action antibiotique, ou diverses protéines du groupe des PRP (Pathogenesis Related Proteins) comme les peroxydases qui provoquent la lignification des parois cellulaires et entraînent la formation d'une nouvelle barrière à la diffusion du pathogène dans la plante, en les isolant physiquement au sein d'un amas de cellules lignifiées.

Toutefois, pour déployer ce mode d'action, la plante dépense de l'énergie, ce qui peut avoir des conséquences défavorables sur sa croissance et/ou son développement. En revanche, le mécanisme de potentialisation ne nécessite aucune dépense énergétique « préventive ». Dans ce cas, après contact avec un SDP de type potentialisateur, la plante se met en « état d'alerte » prolongé mais sans mise en place d'un système de défense énergivore. C'est uniquement après une attaque réelle par un bio-agresseur que la plante déclenche très rapidement une réaction de défense.

## UTILISATION DES SDP POUR LA PROTECTION DES VÉGÉTAUX

Depuis une vingtaine d'années, des travaux de recherche fondamentale et appliquée ont montré que les molécules élicitrices peuvent être appliquées de manière préventive. Les plantes ainsi induites sont préparées pour se défendre plus rapidement et donc plus efficacement contre un bio-agresseur spécifique. De nombreuses publications scientifiques témoignent aujourd'hui des efficacités obtenues avec des substances naturelles (oligosaccharides, protéines ou lipides d'algues, de plantes ou de micro-organismes) ou de synthèse dans des conditions contrôlées au laboratoire. Ces substances permettent à différents taxons de plantes de se défendre contre les attaques par des pathogènes spécifiques. La figure 2 illustre le mode d'action d'un SDP appliqué sur une plante.

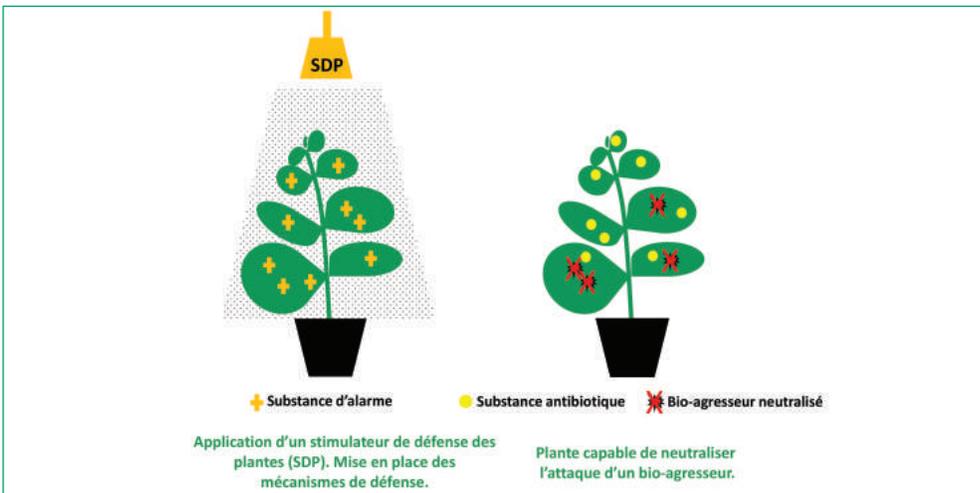


Figure 2 : Application d'un SDP pour stimuler les défenses de la plante contre un bio-agresseur. En cas d'une « potentialisation » par un SDP, il n'y a pas de synthèse des substances d'alarme, mais les substances antibiotiques sont rapidement synthétisées après le contact avec le bio-agresseur.

Les essais menés par les stations d'expérimentation d'ASTREDHOR depuis plusieurs années ont validé la possibilité de transférer en conditions professionnelles certaines des méthodes mises au point en conditions de laboratoire. C'est le cas notamment de l'utilisation du SDP acibenzolar-S-méthyl (ASM) contre la rouille blanche du chrysanthème. ASTREDHOR a contribué à établir la dose et la fréquence des applications de l'ASM en culture de chrysanthème en pot sous abri et, dans ces conditions, une efficacité importante contre ce pathogène a été observée. Quatre traitements préventifs du produit commercial Inssimo® (contenant 50 % d'ASM), avec un intervalle de 15 jours entre les applications, sont nécessaires pour que le chrysanthème puisse mobiliser efficacement ses mécanismes de défense contre le pathogène responsable de la rouille blanche du chrysanthème *Puccinia horiana* (figure 3). Des traitements répétitifs sont indispensables afin d'augmenter le niveau de résistance de la plante (effet « booster »).



Figure 3 : Symptômes de la rouille blanche du chrysanthème provoqués par le pathogène *Puccinia horiana*.

Avant l'obtention de l'autorisation de mise sur le marché d'Inssimo® en juillet 2012, de nombreux tests en conditions de production ont été effectués par ASTREDHOR pour évaluer sa phytotoxicité, les interactions indésirables entre les traitements SDP et les autres traitements habituels, la durée de la protection obtenue et le niveau de protection atteint pour différentes variétés. Les résultats de ces expérimentations ont montré que l'efficacité du produit ne dépend pas de la variété de chrysanthème et que le produit, seul ou en combinaison avec d'autres traitements habituels, n'a pas d'effets indésirables sur la qualité de la plante.

## MISE EN ŒUVRE PAR LA FILIÈRE HORTICOLE

### CAS DU PRODUIT INSSIMO® EN PRODUCTION DE CHRYSANTHÈME

Malgré une application inhabituelle du SDP Inssimo® (préventive et répétitive), les producteurs de chrysanthèmes ont progressivement adopté ce produit innovant. En 2014, lors de la production de chrysanthèmes pour la Toussaint, les témoignages des horticulteurs et des conseillers techniques à ce sujet ont été très positifs. De nombreux conseillers techniques horticoles ont indiqué que la rouille blanche du chrysanthème était apparue dans les entreprises qui n'avaient pas utilisé ce SDP, et que les entreprises l'ayant mis en œuvre selon les préconisations établies par le fabricant avaient globalement été épargnées, ce qui souligne la bonne efficacité du produit en conditions réelles d'utilisation.

Actuellement, au sein des entreprises de multiplication du chrysanthème, ce produit est appliqué sur les cultures de pieds mères afin que les boutures prélevées soient déjà induites et donc protégées contre la rouille blanche. Une fois arrivées dans les entreprises de production, les boutures de chrysanthèmes induites donnent aux horticulteurs une marge de sécurité. Les premiers traitements sur les cultures peuvent aussi être retardés.

Il faut noter que le SDP Inssimo® est un produit phytopharmaceutique de synthèse qui stimule des mécanismes de défenses naturelles des plantes, et non un moyen direct de lutte contre le pathogène. Néanmoins, son utilisation permet de diminuer de façon très importante le nombre de traitements fongicides en production de chrysanthème. Ainsi, au lieu des 8 à 10 traitements fongicides habituellement appliqués contre la rouille blanche, les producteurs de chrysanthèmes peuvent n'appliquer que 4 ou 5 traitements lorsqu'ils utilisent ce produit.

## INTÉGRATION DES SDP DANS UNE STRATÉGIE DE PROTECTION INTÉGRÉE

L'efficacité du SDP Inssimo® est exceptionnelle : elle permet une protection quasi-totale contre la rouille blanche en production de chrysanthème. Aussi, en culture de pâquerettes contre la rouille, ASTREDHOR a noté une efficacité importante avec le même produit. En culture d'*Hebe* contre le mildiou, un mélange d'extraits d'algues et de phosphites (correspondant à un produit retiré depuis du marché) montre également une efficacité très élevée. La laminarine, un autre SDP extrait d'algues (laminaires), est efficace contre le pythium sur pensée, la rouille sur pensée et le botrytis sur pélagonium. Cependant, pour d'autres couples plante/maladie, on observe le plus souvent des taux d'efficacité des SDP plus faibles (tableau 1).

	ASM	Laminarine	Mélange d'extraits d'algues et de phosphites
Cyclamen / Fusariose	- (*)	-	-
Rosier / Oïdium	+/-	-	+
Pensée / Pythium	-	+	-
Chrysanthème / Rouille blanche	+	-	-
<i>Hebe</i> / Mildiou	-	-	+
Pâquerette / Rouille	+	+	-
Pélagonium / Botrytis	+(*)	+	-

(\*) phytotoxicité constatée

Tableau 1 : Efficacité de trois produits SDP sur différents couples plante d'ornement/maladie, évaluée en conditions de production sous serre (données ASTREDHOR).

Il est donc important d'intégrer les SDP dans une stratégie de lutte phytosanitaire globale utilisant d'autres méthodes. C'est cette stratégie globale qui, dans son ensemble, permettra d'atteindre des efficacités satisfaisantes en conditions réelles. Par exemple, l'efficacité des SDP est améliorée quand la pression parasitaire reste modérée. Ceci est réalisable en privilégiant des modes de conduite défavorables au développement de certains pathogènes (conditions de température, humidité lumière, fertilisation) et des conditions optimales de croissance pour la plante. Les outils d'aide à la décision (OAD) comme l'outil S@M focalisés sur le monitoring de certaines maladies apportent également des connaissances cruciales concernant la pression parasitaire dans une culture donnée.

Toutefois, des incompatibilités entre les SDP, notamment ceux de synthèse, et d'autres méthodes alternatives de phytoprotection, peuvent rendre leur application délicate. Des évaluations de compatibilité sont donc nécessaires pour chaque nouvel itinéraire technique envisagé.

## UTILISATION DES SDP POUR LES PLANTES EN SITUATION DE PAYSAGE

Pour un usage en espaces verts, jardins ou aménagements, l'emploi de SDP est plus difficile à imaginer qu'en situation de production horticole. Tout d'abord, l'environnement naturel est souvent caractérisé par une grande diversité de taxons végétaux dans lequel un SDP, qui active spécifiquement la réaction d'une espèce (voire même d'une variété) contre l'un de ses pathogènes, peut présenter un intérêt moindre qu'en monoculture, sauf dans le cas de linéaires plantés (haies, arbres d'alignement). Ensuite, une grande majorité des produits SDP actuellement autorisés sont soit des produits de synthèse, soit des produits contenant des composés chimiques de synthèse, et donc potentiellement incompatibles avec une démarche « zéro phyto » en espaces verts. Les applications répétées des SDP pour permettre leur efficacité peuvent également constituer un frein à leur utilisation en jardins espaces verts et infrastructures (JEVI).

Pour diverses raisons, agronomiques et réglementaires, l'usage des SDP est encore peu développé en JEVI, bien que certaines communes aient commencé à les utiliser. Toutefois d'autres approches, notamment par les biostimulants, ouvrent des perspectives intéressantes dans ce type d'espaces.

## POURSUITE DE LA RECHERCHE SUR LES SDP

Les expérimentations menées sur différentes plantes d'ornement ont, comme exposé précédemment, révélé que l'efficacité d'un SDP est souvent très spécifique à un couple plante/maladie, ou concerne uniquement quelques couples plante/maladie. Dans certains cas, l'efficacité est accompagnée de signes importants de phytotoxicité (problème de sélectivité du produit) qui dégradent la qualité de la plante. C'est, par exemple, le cas de l'ASM sur pélagonium contre le botrytis ou sur cyclamen contre la fusariose.

Par ailleurs, un problème complexe, souvent rencontré lors de l'évaluation des produits candidats à la mise sur le marché, est la difficulté de transfert des résultats du laboratoire aux conditions réelles d'utilisation. L'efficacité d'un SDP peut être élevée en conditions contrôlées mais décevante ou non-existante en conditions de production ou de paysage. Des expérimentations en conditions intermédiaires et semi-contrôlées (sous serre et hors-sol par exemple) peuvent aider à identifier les facteurs limitants de l'efficacité d'un SDP en conditions de terrain.

La recherche, l'expérimentation et l'évaluation de nouveaux produits à effet SDP potentielle-



Figure 4 : Culture de chrysanthèmes.

ment efficaces se poursuivent donc, notamment au sein d'ASTREDHOR, en privilégiant des produits d'origine naturelle et compatibles avec les pratiques de la Protection Biologique Intégrée et/ou la réglementation « zéro phyto » des espaces verts.

## **POUR ALLER PLUS LOIN**

Regnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C. (coord.), 2002. *Biopesticides d'origine végétale*. Lavoisier, Editions Tech et Doc, Paris, 337 p.

RMT Elicitra. Réseau Mixte Technologique pour comprendre, développer et promouvoir les stratégies de défenses des plantes. <https://www.elicitra.org/>

*Les essais conduits par ASTREDHOR pour étudier les SDP en cultures ornementales ont bénéficié du soutien financier du Ministère en charge de l'agriculture (CasDar), de l'Interprofession VAL'HOR, des Conseils régionaux et de FranceAgriMer.*

# La biotisation des sols et des substrats

Jean-Marc Deogratias (ASTREDHOR Sud-Ouest)  
et Marc-Antoine Cannesan (ASTREDHOR Seine-Manche)

Les maladies causées par les agents pathogènes telluriques n'ont de cesse d'infliger des pertes de différentes natures aux cultures : rendement, qualité des productions, conservation des produits. L'intensification croissante des cultures a largement contribué à augmenter la pression pathogène. La protection des cultures reposait jusqu'à présent sur l'utilisation de produits phytopharmaceutiques mais les préoccupations actuelles concernant les effets délétères des pesticides sur l'environnement et sur la santé des professionnels remettent en cause leur utilisation. Dans un contexte de développement de l'agroécologie dans les systèmes de production agricole, il est aujourd'hui important de définir des méthodes alternatives de lutte. Des décisions politiques et réglementaires commencent à se mettre en place, tel que le plan Ecophyto visant à réduire significativement l'usage des produits phytopharmaceutiques. Le développement de stratégies intégrées efficaces pour la gestion des maladies constitue donc un enjeu majeur pour l'agriculture de demain.



Figure 1 : Inoculation du *Phytophthora* sur lavande.

La lutte biologique reposant sur l'introduction de micro-organismes antagonistes contre les pathogènes du sol est aujourd'hui identifiée comme une piste sérieuse de réflexion. En effet, leur utilisation pour contrôler des bio-agresseurs est depuis longtemps étudiée et constitue de plus en plus une alternative réaliste aux traitements chimiques. Le biocontrôle permet une protection des plantes en favorisant des mécanismes et des interactions naturels. Il repose sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication, tout en respectant les nécessités économiques de l'entreprise. Dans ce contexte, comprendre

comment ces agents de biocontrôle vont exercer leur action protectrice sur les cultures sous l'influence de l'environnement, apparaît nécessaire. En filière horticole, où les conditions de culture peuvent être relativement bien contrôlées, des solutions déjà existantes concernent essentiellement des ravageurs par la mise en œuvre de la Protection Biologique Intégrée (PBI). Une autre alternative considérée est d'avoir recours à la biotisation c'est-à-dire à l'inoculation des substrats avec des micro-organismes ayant un effet bénéfique reconnu contre les maladies par effet direct contre les pathogènes ou indirect en agissant sur la vigueur des plantes. Cette méthode permet aujourd'hui d'envisager des réponses à des impasses en matière de protection, en particulier pour les maladies provoquées par des pathogènes telluriques, pour lesquelles il n'y a que peu, voire pas de solutions.

# PRINCIPES GÉNÉRAUX

---

## LES MICRO-ORGANISMES DU SOL POUR LA PROTECTION DES PLANTES

Le sol est le réservoir privilégié de nombreux micro-organismes (bactéries, champignons, oomycètes). Certaines populations microbiennes présentent des propriétés bénéfiques pour la santé et la croissance des plantes soit en agissant directement sur celles-ci (nutrition), soit de manière indirecte en tant qu'antagonistes de pathogènes. Leur valeur pour le contrôle des maladies a longtemps été négligée mais elle est aujourd'hui de plus en plus reconnue et étudiée. Il s'agit de champignons et de bactéries qui vont protéger les plantes à travers des interactions de type parasitisme, compétition nutritive, induction des défenses ou antibiose, ou symbiose avec la plante la rendant moins sensible aux maladies. Le concept de biocontrôle est donc devenu un enjeu technologique et économique important pour développer une agriculture durable à moindre coût écologique.

### LA BIOTISATION DES SUBSTRATS COMME ALTERNATIVE DE LUTTE CONTRE LES MALADIES TELLURIQUES

La biotisation est une biotechnologie en émergence qui vise à réduire l'utilisation d'intrants chimiques pour la production de plantes en apportant des micro-organismes bénéfiques dans le sol de la plante cultivée. Les bénéfices potentiels de ces apports contre les maladies sont de plus en plus étudiés, avec quelques exemples de réussite répertoriés dans la bibliographie. Les entreprises fournisseurs de substrats ont d'ailleurs développé une gamme



Figure 2 : Essais de biotisation sur *Choisy ternata*.

de formulations pour la biotisation. Cependant, les résultats obtenus ne sont pas encore équivalents au traitement chimique voire même parfois inefficaces. Les techniques d'implantation de ces micro-organismes s'avèrent généralement complexes et les résultats obtenus montrent des différences d'efficacité selon les couples hôtes/pathogènes. Dans certains cas, pour un même pathosystème, les résultats peuvent parfois ne pas être reproductibles d'une année sur l'autre. Néanmoins, cette technologie apparaît prometteuse pour la filière, ce qui offre de nouvelles perspectives de recherche dans le but de mieux la comprendre et donc la maîtriser. C'est dans ce sens qu'ASTREDHOR travaille depuis plus d'une douzaine d'années sur cette thématique et continue de proposer des programmes de recherche afin d'obtenir des résultats permettant de réduire les applications de pesticides.

## CONNAISSANCES SUR LA BIOTISATION DES SUBSTRATS ET ESSAIS DÉJÀ RÉALISÉS

---

Un premier essai réalisé en 2005 par ASTREDHOR portait sur l'application de deux agents de biocontrôle, le champignon *Trichoderma harzianum* souche T22 (produit TRIANUM®, Koppert)

et des champignons endomycorhiziens (*Rhizofagus* spp.), dans le but de protéger le cyprès (*Chamaecyparis lawsoniana* 'Elwoodii') contre *Phytophthora cinnamomi*. Seule l'utilisation de *Rhizofagus* spp. a permis un ralentissement de l'apparition des symptômes en comparaison avec le témoin non biotisé.

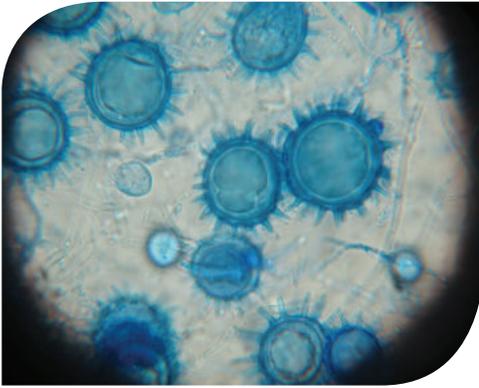


Figure 3 : *Pythium oligandrum* observé au microscope.

De même, différents produits à base de micro-organismes antagonistes ont été testés sur le couple *Fusarium oxysporum*/*Dipladenia*. Les résultats ont montré que certaines souches de *Trichoderma* et de *Pythium oligandrum* permettent de limiter la contamination par *F. oxysporum*. En revanche, certains produits se sont révélés inefficaces dans les conditions de l'essai. Les micro-organismes constituant ces produits (*Rhizofagus* spp. et *Gliocladium catenulatum*) n'ont pas pu être retrouvés dans le substrat post-application, montrant l'importance de l'installation des agents de biotisation dans le milieu pour espérer une protection efficace.

Des essais réalisés en 2011 et 2012 sur myrtes et cyclamens avec application des produits à base de *Trichoderma harzianum* et de *Gliocladium catenulatum* ont montré une bonne efficacité de protection contre le pathogène *Pythium*. En revanche, ces mêmes agents de biocontrôle ne permettent pas une protection des plantes face à *Fusarium* (essai 2013) alors qu'un essai précédent avait montré une certaine capacité de *Trichoderma* spp., *Pseudomonas* spp. et *Gliocladium catenulatum* à ralentir l'apparition des symptômes causés par le pathogène. L'efficacité des micro-organismes pour la protection des plantes reste donc malheureusement souvent variable d'une année sur l'autre, probablement directement en lien avec les facteurs biotiques et abiotiques du milieu. Des essais plus récents sur le pathosystème *Fusarium oxysporum*/cyclamen ont mis en avant deux agents de biocontrôle : *Bacillus amyloliquefaciens* et *Trichoderma atroviridae* souche I-1237 avec des efficacités de protection très intéressantes. Afin d'approfondir cela, différentes concentrations et rapports d'agents pathogènes *Fusarium* versus agents de biocontrôle (BCA) ont été travaillés. En moyenne, on ne note pas de différence d'intensité de virulence dans les rapports 1 pour 10 et 1 pour 100 pour *Bacillus amyloliquefaciens*. En revanche, pour *Trichoderma atroviridae* souche I-1237, le produit semble plus efficace à la dose  $10^6$  et dans un rapport 1 pour 100. En finalité, il faut au moins 10 ou 100 agents antagonistes pour lutter contre 1 agent pathogène

Concernant *Choisya ternata*, sensible au complexe fongique *Phytophthora*/*Fusarium*, des essais menés depuis 2010 ont montré que l'ajout de *Bacillus* spp., *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp., et *Rhizophagus* spp. permettait une croissance satisfaisante en cas de faible infestation par les pathogènes, mais pas en cas de fort développement de la maladie. De même, d'autres essais de biotisation du substrat avec *Trichoderma* spp. et un champignon endomycorhizien menés sur le couple *Choisya-Phytophthora* ont aussi donné quelques résultats encourageants avec une réduction des pertes dues à la maladie. Lors de cet essai, les modalités biotisées ont montré un enracinement plus important et des symptômes réduits. Cependant, il a été constaté que les conditions environnementales pouvaient jouer un rôle essentiel pour une protection efficace. Ainsi, les conditions climatiques peuvent fortement retarder la mise en place des agents antagonistes qui, pour être efficaces, doivent être installés dans la rhizosphère avant l'arrivée du

pathogène. Les conditions de culture comme l'irrigation peuvent aussi être modifiées pour limiter la propagation du pathogène. En 2013 et 2014, un mélange de *Trichoderma atroviridae* et de *Rhizophagus intraradices* a montré une efficacité limitée lorsque qu'il est appliqué seul, mais une très bonne efficacité lorsqu'il est appliqué après un traitement fongicide à même d'avoir un effet préalable sur le pathogène.

Concernant la lavande, des essais réalisés de 2013 à 2017 par ASTREDHOR Loire-Bretagne et ASTREDHOR Sud-Ouest ont souligné les bénéfices potentiels d'utilisation

de micro-organismes bénéfiques pour améliorer la qualité sanitaire des jeunes plants et leur développement général. Cependant, ces résultats restent très dépendants de l'installation et du développement des micro-organismes dans le substrat, sous l'influence des conditions environnementales. Ainsi, l'incorporation de *Gliocladium catenulatum* (PRESTOP®) peut retarder de façon significative le développement de *Phytophthora* spp. sur la plante. Par ailleurs, il est possible de montrer des efficacités différentielles des agents de biocontrôle contre l'agent pathogène (par exemple *Phytophthora* spp.) en fonction de la pression parasitaire mais aussi en fonction de l'état de stress (abiotique), dans laquelle se trouve la plante au moment du traitement.



Figure 4 : Attaque *Phytophthora* sur lavande.

## CONCLUSION

---

Les différents essais réalisés mettent en évidence l'avantage d'utiliser la biotisation des substrats en tant que moyen de lutte contre des pathologies en contexte horticole. Toutefois, les résultats obtenus montrent une efficacité variable d'une année sur l'autre, probablement en raison des conditions de culture appliquées. Pour une utilisation optimale de la biotisation, il convient donc de déterminer de façon précise l'action des paramètres de culture sur les organismes mis en œuvre et donc, au final, sur le succès de la procédure.

Les perspectives de recherche seront notamment de déterminer les conditions de culture favorables à la fois à la croissance des plantes mais aussi à la colonisation des substrats par les micro-organismes bénéfiques tout au long de la culture, tout en évaluant le potentiel de protection contre les maladies telluriques pour les conditions de culture et de biotisation identifiées. D'autres perspectives seront de travailler les notions de consortium bénéfiques (cocktails d'organismes bénéfiques, issus de compost par exemple), plutôt que des agents isolés, ayant un effet reconnu sur la vigueur des plantes et assurant leur protection contre les maladies. Ces consortia bénéfiques devront être intégrés, non plus dans une approche classique d'étude d'une plante hôte face à un pathogène, mais en considérant le système dans sa globalité au niveau de la rhizosphère : la plante accompagnée de son cortège microbien face à un consortium de plusieurs agents pathogènes.

Ces travaux présentent également un intérêt pour le secteur et les métiers du paysage, dans le sens où les sols urbains ont souvent la particularité d'être peu fertiles pour la croissance des végétaux, avec des problèmes de tassement, de volume restreint, de ruissellement, de circulation de l'eau et de l'air réduites, d'une fertilisation faible, et de pollutions fréquentes. Biotiser le substrat

des végétaux qui seront introduits dans ces milieux contraints permettra de générer un végétal bien raciné avec un cortège microbien associé d'intérêt pour la plante et le site urbain à revégétaliser.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Cannesan M.A., Manasfi Y., Riah-Anglet W., Bressan M., Vicré M., Trinsoutrot-Gattin I., 2018. Protéger l'oranger du Mexique de *Phytophthora parasitica*. *Phytoma*, 711, p. 19-23.

Deogratias J.M., Darles B., Triolet M., Jouannic R., Gerbore J., 2015. *Evaluation de l'efficacité de différents produits de biocontrôle à base de microorganismes antagonistes, pour lutter contre la fusariose du Dipladenia*. 5<sup>e</sup> conférence internationale sur les méthodes alternatives de protection des cultures. AFPP, Lille, 11-13 mars 2015.

Fortin J.A., Plenchette C., Piché Y., 2015. *Les mycorhizes, l'essor de la nouvelle révolution verte*. Editions Quae, Versailles, 184 p.

Hervouet C., Michel J.C., 2013. Micro-organismes et substrats : une complexité à maîtriser. *Le Lien horticole*, 843, p. 10.

Lecomte C., Alabouvette C., Jeannin N., Edel-Hermann V., Cordier C., Cannesan MA. et al., 2016. Fusariose du cyclamen : travaux sur la lutte biologique. *Phytoma*, 691, p. 17-21.

Manasfi Y., Cannesan M.A., Riah W., Bressan M., Laroche-Ajzenberg E., Castel L., Vicré-Gibouin M., Trinsoutrot-Gattin I., 2018. Is biocontrol an alternative solution for *Choisya ternate* root rot disease caused by *Phytophthora parasitica*? Accepted EJPP.

*Ces travaux de recherche ont été soutenus financièrement par la Chambre régionale d'agriculture d'Ile-de-France, FranceAgriMer, les Régions Nouvelle Aquitaine, Ile-de-France, Normandie, Pays de Loire et Bretagne, les fonds CasDar / ANRT (thèse CIFRE n°2012/2833), le Grand Réseau de Recherche Normand VASI.*



# Les outils de détection précoce des pathogènes

Marc-Antoine Cannesan (ASTREDHOR Seine-Manche) et Charline Lecomte<sup>1</sup>

Les agents pathogènes des cultures sont responsables de nombreux dégâts que ce soit en production, pendant une étape de conservation ou chez le consommateur. Si différents moyens de lutte sont aujourd'hui disponibles, plusieurs maladies restent encore problématiques soit par manque de moyens de lutte existant, soit en raison d'un manque global de connaissances sur la maladie.

Dans ce contexte, le développement d'outils de détection des agents pathogènes permet :

- d'anticiper le développement de la maladie.
- de limiter l'utilisation de produits phytopharmaceutiques.
- de limiter le contournement de résistance variétale.
- d'adapter les méthodes de prévention et/ou de lutte.
- de certifier la qualité sanitaire des produits végétaux.
- d'améliorer les conditions de travail des ouvriers agricoles.

Cependant, il peut être assez difficile de diagnostiquer et de détecter les agents pathogènes présents sur des végétaux, que ce soit en production ou sur les végétaux plantés dans un environnement donné. En effet, lors d'une évaluation de la qualité sanitaire d'une plante, la recherche de symptômes caractéristiques est primordiale sur tous les organes de la plante, qu'ils soient facilement observables (face supérieure des feuilles, tige) ou non (face inférieure des feuilles, système racinaire). De plus, il peut être nécessaire de détruire le végétal pour l'observation de certains organes. Dans d'autres cas encore plus insidieux, l'expression des symptômes ne se fera que plusieurs mois après l'installation du pathogène (cas de certains pathogènes telluriques). La présence du pathogène peut alors se manifester par un ralentissement de la croissance de l'individu infesté.

Idéalement, il faudrait être capable d'identifier et de quantifier les pathogènes présents avant même l'apparition des symptômes afin de pouvoir anticiper une stratégie de lutte efficace. C'est dans ce cadre que depuis plusieurs années, ASTREDHOR s'implique dans la recherche et le développement de tels outils.

## PRINCIPES GÉNÉRAUX

---

### QUELS SONT LES OUTILS DE DÉTECTION ?

La première étape, la plus basique, est l'identification visuelle (œil nu, loupe, loupe binoculaire) des ravageurs repérés sur les plantes. Cette technique est utilisée pour les macro-organismes (insectes, nématodes...) et pour certaines maladies. Lorsque le pathogène ne peut pas être identifié à l'œil nu, des méthodes d'isolements microbiologiques sur milieux spécifiques le permettent.

---

<sup>1</sup> Docteur en Sciences de la vie, auteur d'une thèse réalisée au sein d'ASTREDHOR "Fusariose du cyclamen : détection préventive du risque et contrôle biologique".



Maladie	Plante-hôte	Agent pathogène	Outil de détection
Pourriture du collet	Echalote	<i>Botrytis allii</i> (champignon)	ELISA
Virus de l'artichaut	Artichaut	AILV et ALV (Virus)	ELISA
Virus de la mosaïque de la luzerne	Lavande	AMV (Virus)	ELISA
Virus de l'ail	Ail	OYDV et LYSV	ELISA
Virus de la tomate	Tomate	ToMV, TMV, Pepino et TSWV	ELISA
Chancre bactérien du marronnier	Marronnier	<i>Pseudomonas syringae</i> pv <i>aesculi</i> (bactérie)	PCR
Chancre bactérien	Tomate	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> (bactérie)	PCR
Mildiou de l'artichaut	Artichaut	<i>Bremia lactucae</i> (oomycète)	PCR
Phytophthora des solanacées	Tomate et pomme de terre	<i>Phytophthora infestans</i> (oomycète)	PCR
Galles du collet et hairy root disease	Tomate, concombre, aubergine...	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> <i>Agrobacterium rhizogenes</i> (bactérie)	PCR
Botrytis de la tomate	Tomate	<i>Botrytis cinerea</i> (champignon)	PCR
Oïdium de la tomate	Tomate	<i>Leveillula taurica</i> (champignon)	PCR
Dépérissement des lavandes et lavandins	Lavande et lavandin	Phytoplasmes de Stolbur	PCR

Liste non exhaustive

Tableau 1 : Les outils existants, disponibilité auprès des professionnels producteurs et paysagistes.

## DÉVELOPPEMENT D'UN OUTIL MOLÉCULAIRE : TROIS EXEMPLES EN CONTEXTE HORTICOLE

### La fusariose du Cyclamen

Un projet de recherche porté par ASTREDHOR et mené en collaboration avec l'INRA de Dijon et la société Agrene a permis de développer un outil de détection précoce pour lutter contre l'agent de la fusariose du cyclamen. Cette maladie, induite par le champignon *Fusarium oxysporum* f. sp. *cyclaminis* (Focy), est l'une des maladies les plus préjudiciables sur cyclamen. Lorsque les premiers symptômes sont visibles, la plante est condamnée et doit être rapidement extraite des cultures. La gestion de cette maladie s'avère difficile et les producteurs se trouvent démunis face à cet

agent pathogène. Le développement d'un outil de détection spécifique de Focy s'est déroulé en plusieurs étapes :

- étudier et caractériser la diversité génétique de Focy.
- rechercher un fragment d'ADN présent uniquement chez Focy.
- développer et mettre au point un outil de détection basé sur le fragment d'ADN spécifique de Focy.

Le développement de l'outil de détection spécifique de Focy a d'abord nécessité la constitution d'une collection de souches représentatives de la diversité de cette forme spéciale. Le pouvoir pathogène des souches ou isolats collectés a été vérifié par des tests d'inoculation sur plantes, et leur identité vérifiée au niveau du genre grâce à leur ADN. Ensuite, la diversité génétique de Focy a été caractérisée pour permettre l'identification de zones d'ADN spécifiquement présentes chez cette forme spéciale. La mise au point d'un outil de détection et de quantification a été effectuée en suivant l'approche dite RAPD-SCAR (Random Amplification of Polymorphic DNA-Sequenced Characterized Amplified Region). Ces travaux ont permis d'identifier une région d'ADN spécifique de Focy qui, par amplification, peut permettre une détection spécifique pour en faire un outil de diagnostic. Cet outil permet ainsi la détection et la quantification de Focy à partir d'échantillons de *Cyclamen* à un seuil de 1 pg d'ADN (soit 0,00000001 mg d'ADN). Cette technique est désormais disponible pour les professionnels, notamment auprès du laboratoire partenaire de ces travaux. Des échantillons de cyclamen peuvent être envoyés pour analyse, et à partir d'extraits contenant de l'ADN, le fragment d'ADN spécifique de Focy peut être recherché (figure 2).



Figure 2 : Test indiquant la présence (bande blanche) ou l'absence du morceau d'ADN spécifique de Focy (absence de bande blanche) chez différents micro-organismes. Les noms « en bleu » correspondent à différentes souches de Focy. Les témoins négatifs correspondent à un traitement à l'eau stérile. Les autres noms correspondent à d'autres formes spéciales de *F. oxysporum* (f. sp. *raphani* pathogène du radis, et f. sp. *cubense* pathogène du bananier) et d'autres espèces appartenant au genre *Fusarium*.

### Le *Phytophthora* sur *Choisya*

Le *Choisya ternata*, plante de pépinière d'intérêt économique, est particulièrement sensible aux pathogènes du sol et à l'asphyxie racinaire. Un mauvais contrôle de l'itinéraire cultural de ce dernier induit un développement hétérogène des plantes dans les parcelles et une baisse de la floribondité. Cela altère la qualité commerciale des lots et induit un accroissement des maladies telluriques, notamment causées par les oomycètes *Phytophthora* spp. et *Pythium* spp. et par des champignons de type *Fusarium* spp. Ces problèmes peuvent aboutir à des pertes de plus de 80 % de la culture. Notons que lorsque le *Choisya* est implanté dans un cadre paysager, les dépérissements causés par des pathogènes telluriques sont beaucoup plus rares qu'en production ; l'hypothèse étant que le cortège microbien associé à la rhizosphère des plantes en sol permettrait la résistance aux pathogènes du sol. C'est dans ce contexte qu'un projet de recherche a été porté par ASTREDHOR Seine-Manche en partenariat avec l'Université de Rouen et UniLaSalle. Les

objectifs étaient d'identifier les espèces du genre *Phytophthora* pathogènes de *C. ternata*, d'étudier des facteurs de défense au niveau racinaire et de développer une approche de lutte alternative aux produits phytosanitaires.

Le développement de ce test moléculaire a été réalisé et adapté au contexte horticole (adaptation de la méthode sur du substrat) et a permis l'identification des espèces pathogènes de *Phytophthora* par l'amplification et le séquençage de la région ITS. Cet outil opérationnel, validé sur plusieurs espèces pathogènes, permet par exemple de détecter et de quantifier facilement la présence de *Phytophthora parasitica*, l'une des espèces pathogènes majeures du *Choisya* (figure 3). L'outil moléculaire venant d'être publié, il pourra être transféré vers des laboratoires de diagnostic phytopathologique et est d'ores et déjà utilisé en prestation de service par UniLaSalle, l'un des partenaires du projet.

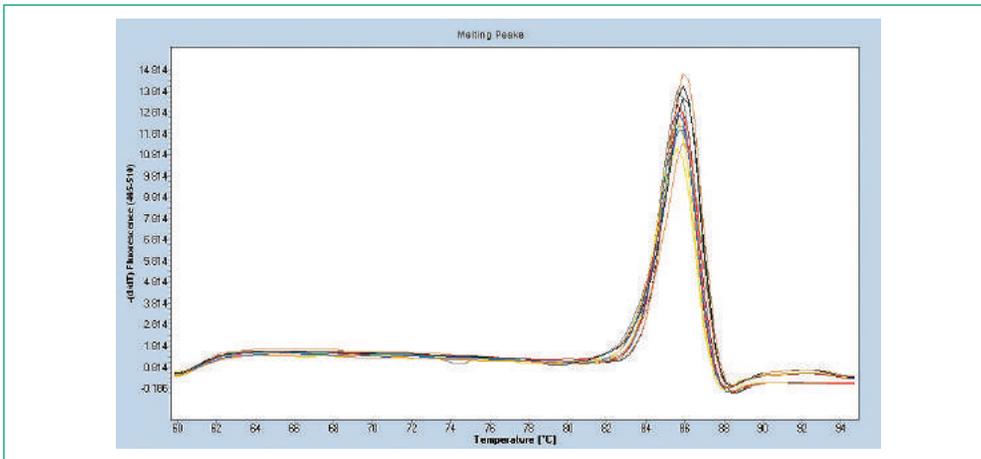


Figure 3 : Mise au point de la qPCR sur *Phytophthora* pathogène de *Choisya ternata*, avec les amorces YPh1F-YPh2R, cible : *ypt1*. L'outil indique une bonne spécificité de ces amorces d'ADN et une efficacité de 100 %.

### La rouille blanche du chrysanthème

Un test de détection moléculaire de l'agent pathogène *Puccinia horiana*, responsable de la rouille blanche du chrysanthème, a été développé en conditions de laboratoire dans le cadre d'un projet collaboratif porté par ASTREDHOR. Cette méthode de détection développée en partenariat avec le GEVES et Vegenov est basée sur l'utilisation d'un marqueur moléculaire reconnaissant une région spécifique de l'ADN ribosomique du pathogène. La spécificité de l'outil moléculaire du pathogène a été vérifiée sur un panel de souches de *Puccinia horiana* et sur des souches d'autres types de rouilles (jaune, brune et couronnée). Cette spécificité a été confirmée puisque seules les souches de rouille blanche sont détectées et amplifiées par le marqueur moléculaire mis au point. La sensibilité de l'outil a été également vérifiée, ce qui permet d'observer la finesse du test. Cette sensibilité est importante puisqu'il est possible de détecter la présence d'une seule pustule de rouille blanche pour 200 grammes de feuilles saines de chrysanthème en mélange.

Ce test de détection moléculaire de *Puccinia horiana* offre donc des perspectives très intéressantes pour la détection précoce de cet agent pathogène, avant l'apparition des symptômes sur les plants de chrysanthème et d'une manière non destructrice (figure 4). Cet outil moléculaire est proposé sous la forme d'une prestation réalisée par le laboratoire Vegenov pour les producteurs comme pour les obtenteurs.

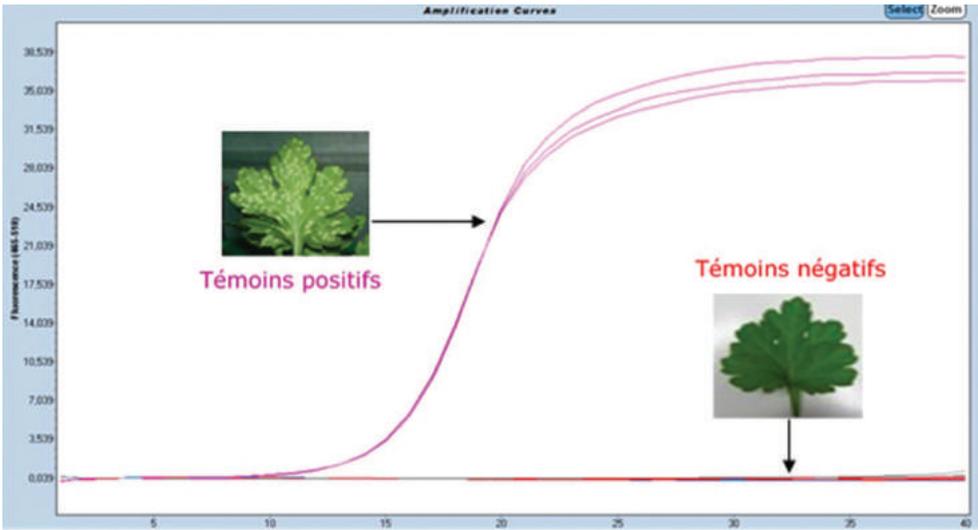


Figure 4 : Mise au point du test de détection moléculaire par PCR quantitative de la rouille blanche sur chrysanthèmes sains (courbes rouges) et contaminés par *Puccinia horiana* (courbes roses).

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'ensemble des travaux de recherche appliquée de l'Institut mettent en évidence l'avantage d'utiliser des outils de détection précoce des pathogènes afin de pouvoir anticiper les mesures de protection préventives diminuant les risques d'infestations pathogènes et de diminuer les pertes économiques associées. Ils montrent aussi l'efficacité des outils moléculaires par rapport aux autres techniques. Ces techniques de biologie moléculaire sont disponibles pour de plus en plus de couples hôtes/pathogènes. Elles sont disponibles tant pour la production que pour le paysage.

Plus récemment, des nouvelles technologies et pistes de recherches sont apparues. Citons par exemple le projet VIGISPORES qui permet de déclencher un réseau d'alertes à destination des producteurs d'échalotes en Bretagne grâce à un dispositif associant des capteurs de spores à des tests de détection et de quantification moléculaire de trois champignons. Cet outil permettra de prévenir les producteurs de l'émission de pics de spores supérieurs à un seuil de nuisance pour les trois maladies fongiques cibles. La détection précoce de maladies par traitement d'images constitue une autre piste explorée. Cette dernière, conduite en agriculture et en viticulture, repose sur la définition de méthodes d'acquisition et de traitement des images (caméra thermique, indice de fluorescence, espaces colorimétriques...) pour la détection précoce de maladies foliaires, comme le mildiou par exemple.

Les prochains travaux d'ASTREDHOR s'orientent vers des projets de création d'outils permettant la détection et la quantification de pathogènes telluriques tels que *Fusarium* sp. et *Pythium* sp. pathogènes de plants de pépinière, mais également d'outils moléculaires permettant le suivi d'agents de biocontrôle bénéfiques dans le sol ou le substrat.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Cannesan M.A., Lecomte C., 2015. Fusariose du cyclamen : connaître, détecter et prévenir. *Le Lien horticole*, 951, p. 9-13.

Cannesan M.A., Manasfi Y., Riah-Anglet W., Bressan M., Vicré M., Trinsoutrot-Gattin I., 2018. Protéger l'oranger du Mexique de *Phytophthora parasitica*. *Phytoma*, 711, p. 19-23.

Cerafel, 2017. Lancement du projet VIGISPORES : développement d'un outil d'aide à la décision (OAD) pour la gestion de trois maladies fongiques de l'échalote. Communiqué de presse [en ligne]

Han S., Cointault F., 2013. Détection précoce de maladies sur feuilles par traitement d'images. Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur. Orasis, Cluny, 10-14 juin 2013.

Manasfi Y., Cannesan M.A., Riah W., Bressan M., Laroche-Ajzenberg E., Castel L., Vicré-Gibouin M., Trinsoutrot-Gattin I., 2018. Is biocontrol an alternative solution for *Choisya ternata* root rot disease caused by *Phytophthora parasitica*? Accepted EJPP.

*Ces travaux de recherche ont été soutenus financièrement par les Chambres d'agriculture régionales, FranceAgriMer, les fonds CasDar / ANRT (thèse CIFRE n°2012/2833), le Grand Réseau de Recherche Végétal, Agronomie, Sols, Innovation (GRR de Normandie VASI), CTPS-DGAL et les adhérents d'ASTREDHOR.*



# La stimulation mécanique pour réguler la croissance et le développement des végétaux

Emilie Maugin (ASTREDHOR Sud-Ouest)  
et Alain Ferre (ASTREDHOR Loire-Bretagne)

La régulation de la croissance des végétaux s'opère principalement, en situation de paysage, par la taille des haies et des arbustes. En revanche, en production horticole, les enjeux et méthodes sont très différents et ont souvent conduit les professionnels à faire appel à des produits phytopharmaceutiques d'une classe spécifique appelés « régulateurs de croissance », qui ne sont pas utilisés par les gestionnaires d'espaces verts ou d'aménagements paysagers. Pour la filière horticole, la question des alternatives aux régulateurs de croissance est donc spécifique à la production.

Les régulateurs de croissance de synthèse présentent fréquemment des profils toxicologiques défavorables. Leur trouver des alternatives, ou au moins permettre de réduire significativement leur utilisation, est par conséquent un enjeu fort pour la santé au travail des producteurs et de leurs salariés. ASTREDHOR a donc conduit depuis plusieurs années de nombreux travaux sur une alternative très prometteuse : la régulation par stimulation mécanique. Bien qu'il reste encore des améliorations à apporter à cette technique, elle donne des résultats tout à fait probants que des horticulteurs et pépiniéristes mettent déjà en œuvre avec succès au sein de leur entreprise. Les principes généraux de cette méthode et les principaux leviers techniques pour optimiser sa mise en œuvre sont ici présentés.

## PRINCIPES GÉNÉRAUX

---

Les alternatives aux régulateurs de croissance traditionnellement utilisés par les producteurs consistent essentiellement à placer les plantes dans des conditions de carence (carence en phosphore, stress hydrique) ou en situation d'excès (excès de fertilisation, excès de lumière). L'une des pratiques, une approche biomimétique, joue sur un tout autre levier. Elle vise ainsi à recréer l'effet naturel des stress mécaniques que subissent les plantes dans la nature, notamment le vent. Les plantes réagissent en effet par une moindre croissance (entre-nœuds plus courts pour les tissus verts), par des adaptations physiologiques au sein de leurs tissus (consolidation des vaisseaux du bois chez les ligneux). C'est ce principe qui explique la forme des arbres en bord de mer, au bord des routes ou encore en bordure de passage régulier d'animaux. Ce principe s'appelle la thigmomorphogénèse (de thigmo = toucher, morpho = forme, génèse = création, soit la création de la forme des plantes par le toucher).

Ce procédé a été décrit au début des années 1970 (Boyer, 1967 ; Jaffe 1973) comme une modification de la croissance des plantes en réponse à une stimulation mécanique externe. Celle-ci induit une réduction de la croissance apicale et un développement des ramifications (figure 1). Les travaux conduits par ASTREDHOR ont permis de mettre en évidence une réduction moyenne de hauteur de 10 à 25 % (selon les espèces et les conditions de cultures) par rapport à un témoin non régulé, ainsi qu'une multiplication par deux de la ramification avec des rameaux secondaires plus longs.

L'objectif poursuivi par les régulateurs est ainsi atteint en réduisant voire éliminant quelques inconvénients comme le blocage des plantes ou la toxicité sur l'Homme des produits utilisés (qui sont souvent suspectés d'effets de type perturbation endocrinienne). En situation réelle de production, les itinéraires techniques incluant ce type de stimulation mécanique permettent actuellement de gagner 2 à 3 passages de régulateurs chimiques. Pour de nombreuses cultures comme certaines plantes à massif, les applications de régulateurs ne sont plus nécessaires.



Figure 1 : *Dipladenia* stimulé (à gauche) et plante témoin sans stimulation (à droite).

En général, la floraison des plantes n'est pas affectée par la stimulation mécanique ; parfois une floraison plus précoce est observée par rapport à un témoin traité par un produit classique, du fait de l'absence ou de la réduction de l'usage des hormones végétales et/ou du stress. Les résultats d'essais montrent ainsi un gain de précocité d'environ une semaine sur géranium et chrysanthème, couplée à une augmentation de la floribondité. Les calendriers de culture restent néanmoins souvent inchangés, ou très peu modifiés, lorsque cette technique est mise en œuvre.

La méthode de stimulation est simple. Un chariot automatique (chariot spécifique ou chariot d'irrigation existant réglé sur une vitesse d'avancement de 5 à 8 km/h) est équipé d'une bêche ou d'une barre, appelées matériaux de stimulation. Il passe régulièrement au-dessus des cultures et le matériau de stimulation va alors toucher les apex, tordre les pétioles et les tiges (figure 2). Comparée à un régulateur de croissance, la stimulation mécanique permet d'obtenir un résultat bien plus homogène, ce qui accroît la valeur commerciale des lots, même dans les cas où la réduction de croissance est moins efficace.



Figure 2 : Bêche de stimulation installée sur un chariot d'irrigation en culture de chrysanthème.

De plus, lorsqu'il est couplé à des bandes en-glueées, le passage du chariot permet un pié-geage de masse efficace et optimisé, mais non sélectif, des insectes présents sur les végétaux, car le matériau de stimulation dérange les insectes qui s'envolent à son passage et sont pié-gés par les bandes (figure 3).

Le principal inconvénient de cette technique réside dans le fait que le matériel de stimulation nécessite un investissement si l'entreprise n'est pas équipée d'un chariot d'irrigation (de l'ordre de 2 000 à 15 000 euros selon la performance et les options souhaitées). Certains fournisseurs de matériel horticole proposent désormais du matériel de stimulation dédié. Si l'entreprise dispose déjà de chariots d'irrigation, ces derniers vont être plus souvent sollicités que pour leur usage classique et il faudra prévoir une maintenance plus régulière voire une réduction de la durée d'amortissement.

Par ailleurs, il faut noter que la stimulation mécanique appliquée à des plantes en boutons colorés ou en fleur peut provoquer des brûlures de pétales. Cette méthode nécessite donc de la vigilance à l'approche de certains stades phénologiques (coloration des boutons floraux).



Figure 3 : Robot multifonction, arrosage, traitement, stimulation et piégeage massif.

## OPTIMISATION DE LA MISE EN ŒUVRE

---

### MODALITÉS D'APPLICATION DE LA STIMULATION

Une durée minimale de stimulation d'un mois est nécessaire pour observer des effets probants. Les résultats les plus intéressants sont obtenus pour des plantes vigoureuses, et la méthode s'avère plus avantageuse pour des cultures à cycle long.

La fréquence de passage du matériau de stimulation sur les plantes est une composante importante de l'effet obtenu. Elle définit ce que l'on appelle l'intensité du stress. L'unité de mesure proposée pour mesurer cette intensité est la fréquence journalière de passage x nombre d'allers-retours par passage, c'est-à-dire le nombre total de passages du matériau de stimulation par jour. L'intensité utilisée est en général de l'ordre de 10. Dans la pratique, les intensités varient de 4 à 20 ce qui représente de 2 à 10 allers-retours/jour, et la stimulation doit être appliquée au moins 5 jours/semaine pour obtenir un résultat satisfaisant. Les essais conduits par ASTREDHOR ont en effet permis d'établir que la stimulation peut ne pas être appliquée durant les week-ends, sans perdre pour autant en efficacité de manière perceptible.

Les essais conduits par ASTREDHOR montrent également que les plantes semblent plus sensibles aux effets d'une stimulation appliquée le matin. Toutefois, il convient de souligner que les horaires d'application de la stimulation doivent être adaptés aux interventions culturales et aux phases de préparation de commande pour éviter de désorganiser les équipes techniques.

### EFFET DES AUTRES COMPOSANTES DE L'ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Le résultat d'une stimulation mécanique est très dépendant des autres conditions de l'itinéraire technique. L'effet est bien sûr moindre si des pratiques régulatrices d'autres types sont déjà mises

en œuvre, comme une culture en stress hydrique ou à froid. *A contrario*, si la croissance est fortement stimulée par des températures élevées, la stimulation mécanique permet de limiter efficacement la pousse.

## RÉACTIONS SELON LES PLANTES

Les différentes espèces sont plus ou moins sensibles à la stimulation mécanique : certaines réagissent très bien, comme l'hibiscus, d'autres sont plus difficiles à réguler par cette méthode, comme le rosier (tableau 1). Avec les espèces moins sensibles, on obtient un meilleur effet en alourdissant les bâches utilisées (par le choix d'un matériau plus épais ou en multipliant les épaisseurs), en utilisant une barre ou en augmentant les fréquences de passage. Le seuil reste à déterminer en fonction des plantes, de la vigueur des cultivars et de l'itinéraire technique ; chaque exploitation devra donc adapter la méthode à ses propres conditions de production.

Culture	Matériau de stimulation	Intensité	Effet
Hibiscus rosa-sinensis	Barre PVC	12	++
Pélargonium LS+Z	Voile d'hivernage type P30	2	++
Pélargonium LD+Z	Franges plastiques 150g/m <sup>2</sup> (3 épaisseurs)	16	++
Pélargonium LS	Franges plastiques 150g/m <sup>2</sup>	8	+
Pélargonium LS+LD	Franges plastiques 100g/m <sup>2</sup> (3 épaisseurs)	4	+
Chrysanthème GF	Franges plastiques 2 kg/m <sup>2</sup>	16	+
Chrysanthème GF	Franges plastiques 150 g/m <sup>2</sup> (3 épaisseurs)	20	+
Chrysanthème GF	Goutteurs suspendus (2 lignes)	16	++
Dipladénia	Franges plastiques 480 g/m <sup>2</sup>	12	+
Poinsettia	Franges plastiques 480 g/m <sup>2</sup>	12	+/- *
Perovskia	Franges plastiques 150 g/m <sup>2</sup> (2 épaisseurs)	10	+ **
Basilic	Papier	2	+
Rosier	Franges plastiques 2 kg/m <sup>2</sup>	20	+

LS = lierre simple, LD = lierre double, Z = zonal, GF = grosses fleurs.

\* Obtention d'un effet « boule » pas forcément souhaitable.

\*\* Gain de ramification : +30 %.

Tableau 1 : Exemples de résultats obtenus sur différentes espèces, en station d'expérimentation ou sur site de production, en fonction du matériau de stimulation retenu et de l'intensité du stress appliqué (exprimé en nombre de passages par jour sur les végétaux).

## MATÉRIAUX DE STIMULATION

Plusieurs types de matériaux ont été testés. On peut distinguer :

- le matériel horticole de récupération : voile de forçage P30 (mais ce type de matériau accroche beaucoup le feuillage et a tendance à emporter les pots légers), bâche de tunnel 200 µm translucide, goutteurs (figure 4), etc.
- le matériel dédié : bâche en PVC de 1 mm (de type lanières de porte de réfrigérateur), bâche en EPDM, barre métallique, tube en PVC (figure 5).

Le choix du matériau de stimulation dépend principalement de la réceptivité de la plante et des conditions d'application de la stimulation, en serre ou en extérieur.



Figure 4 : Système de stimulation mécanique équipé de deux lignes de tuyaux de goutteur.



Figure 5 : Système de stimulation mécanique équipé d'un tube en PVC.

## POINTS D'ATTENTION POUR L'UTILISATION DES BÂCHES

Il est préférable de laisser les bâches traîner sur les plantes en prévoyant une traine de 50 à 100 cm. Cette longueur permet de prolonger la stimulation le temps que la bâche passe entièrement sur les végétaux. Il est également conseillé de découper des lanières dans la bâche afin de la franger. Cela permet de stimuler également les ramifications axillaires d'où un effet « boule » plus prononcé en fin de culture. La largeur des franges dépend de la taille finale souhaitée des plantes ; en général, elle est comprise entre 5 à 15 cm.

Plusieurs épaisseurs de matériau peuvent être superposées pour augmenter la pression exercée sur les plantes. En général, on cherchera à obtenir un matériau souple et frangé qui pèse au moins 400 g/m<sup>2</sup>. Enfin, les bâches peuvent renverser des tuteurs, étiquettes ou chromos. L'utilisation d'accessoires bas ou bien accrochés au pot permet d'éviter les déconvenues.

## PERSPECTIVES DE RECHERCHE

L'automatisation du procédé est un élément clé pour la diffusion de la technique. Certains fournisseurs proposent déjà des chariots aériens adaptés spécifiquement à cet usage. Ceux-ci présentent un intérêt particulièrement marqué lorsqu'ils sont polyvalents et permettent de coupler l'irrigation, la stimulation mécanique, le piégeage des ravageurs ailés, les éventuels traitements phytosanitaires et la fertilisation. L'investissement est alors optimisé. Des outils de ce type sont en cours de test dans les stations d'expérimentation d'ASTREDHOR dans le cadre du programme de recherche DEPHY du programme national Ecophyto.

Par ailleurs, un couplage avec des LEDs rouges ou des lampes à UV-B positionnées sur les chariots permettrait de contrôler en même temps certaines maladies. ASTREDHOR a également engagé des travaux préliminaires pour tester cette possibilité.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Boyer N., 1967. Modifications de la croissance de la tige de Bryone (*Bryonia dioica*) à la suite d'irritations tactiles. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*, 264 série D, p. 2114-2117.

Ferre A., 2014. Réguler les plantes en les touchant, une alternative inattendue. *Phytoma*, 671, p. 24-29.

Jaffe M.J., 1973. Thigmomorphogenesis : The response of plant growth and development to mechanical stimulation. *Planta*, 114(2), p. 143-147.

*Les essais conduits par ASTREDHOR dans le domaine de la stimulation mécanique des plantes ont été soutenus financièrement par le Ministère en charge de l'agriculture (CasDar), FranceAgriMer, l'Onema puis l'Agence Française de la Biodiversité, la Région Nouvelle-Aquitaine, la Région Pays de Loire, l'Union européenne (FEADER) et les adhérents d'ASTREDHOR.*





# Chapitre 2

---

## PROTECTION CONTRE LES RAVAGEURS



# Le piégeage des ravageurs

Marie-Laure Winocq (ASTREDHOR Seine-Manche)

Quelles que soient les méthodes de protection des cultures mises en œuvre (Protection Biologique Intégrée, lutte chimique raisonnée...), le déclenchement d'une lutte contre une infestation de ravageurs passe par une observation préalable des végétaux. Cette phase est primordiale et contribue au bon état sanitaire de la culture.

Les dispositifs et accessoires de piégeage informent sur la présence d'insectes ravageurs et sur l'importance de leurs populations. Ils peuvent être utilisés à plusieurs fins :

- outil de suivi des populations : détection précoce des premiers pics de vols, observations de l'évolution des populations de ravageurs (cartographie de leur extension, distribution géographique, niveau de pullulation...). Cette détection précoce permet de déclencher un traitement approprié (biologique et/ou chimique).
- outil de lutte (piégeage de masse) : capture d'un maximum de ravageurs permettant dans une moindre mesure de diminuer les populations et d'empêcher leur reproduction.

Dans les deux cas, le suivi de ces outils doit être complété par des observations régulières des cultures.

Plusieurs types de pièges sont utilisables en horticulture, pépinière et paysage : pièges englués chromo-attractifs, pièges à phéromones et pièges lumineux.

Dans le cadre du réseau d'épidémiosurveillance, la surveillance de nombreux ravageurs est mise en place dans différentes régions de France (par exemple *Duponchelia*, pyrale du buis, tordeuse de l'œillet, processionnaire du pin, mineuse du marronnier...).

Les observations sont réalisées au sein d'entreprises, collectivités, lycées agricoles, stations d'expérimentation... L'information (données et courbes de piégeage...) est ensuite diffusée aux professionnels dans les différents *Bulletins de Surveillance du Territoire* (BSV). Ces bulletins sont accessibles à tous sur les sites internet des Directions Régionales de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF).

## LES PANNEAUX CHROMATIQUES ENGLUÉS

Ces pièges sont bien adaptés à une utilisation en milieu fermé et pour des ravageurs volants. Les ravageurs non ailés (acariens, cochenilles femelles, etc.), ne seront pas piégés et ne seront de fait pas repérés.

Les insectes volants sont souvent attirés par des couleurs spécifiques, notamment le bleu et le jaune (tableau 1).

Couleurs	Ravageurs
Jaune	aleurodes - pucerons ailés – thrips – cicadelles – mineuses - sciarides...
Bleu	thrips
Orange	aleurodes
Rouge	scolytes - xylébores

Tableau 1 : Attraction des ravageurs sur panneaux chromatiques.

Les panneaux colorés englués sont utilisés pour le suivi des dynamiques de populations mais aussi pour le piégeage de masse. L'observation des pièges ne doit pas se substituer à l'observation des plantes. Pour que le piégeage soit efficace, il est nécessaire de bien adapter la densité de pièges ainsi que leur implantation. Ces pièges ne sont pas forcément très sélectifs et par conséquent des espèces auxiliaires peuvent également y être capturées. Il y a donc un compromis à trouver entre le nombre de pièges et le risque de capture des auxiliaires.

Pour cibler davantage une espèce de ravageurs et/ou renforcer l'attraction, les pièges chromatiques peuvent être associés à des phéromones.

Présentation de quelques modèles utilisés ci-après :

	Panneaux	Rouleaux adhésifs
<b>Description</b>		
<b>Taille</b>	Petits : 10 x 25 cm Grands : 25 x 40 cm	15 / 30 cm x 100 m
<b>Préconisations</b>	<p>Quantité : 1 panneau de 10 x 25 cm suffit pour 200 à 500 m<sup>2</sup>  Suspendre 20 à 30 cm au-dessus des cultures  Les bandes jaunes peuvent être placées le long des rampes des :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● chariots d'irrigation .</li> <li>● et/ou chariot de stimulation mécanique (ou thigmomorphogénèse).</li> </ul> <p>Les essais menés par ASTREDHOR Loire- Bretagne (Stepp) en 2016/2017 montrent une bonne efficacité du piégeage des insectes volants (papillons, thrips, aleurodes, mouches des terreaux) par ce balayage sur les cultures de chrysanthèmes et plantes de diversification.</p>	
		 Chariot de stimulation mécanique par balayage

# LES PIÈGES SÉMIOCHIMIQUES

---

## LES DIFFÉRENTES SUBSTANCES CHIMIQUES

Les phéromones sont des substances qui :

- agissent comme des signaux entre les organismes vivants.
- sont émises par les insectes et par d'autres animaux et déclenchent une réponse chez les individus de la même espèce.

Le principe des pièges à phéromones est fondé sur l'emploi de phéromones sexuelles, produites par les femelles dans le but d'attirer les mâles. Les phéromones sexuelles sont en principe spécifiques à une espèce.

Différentes des phéromones, les kairomones sont des substances allélochimiques échangées entre animaux ou plantes appartenant à des espèces différentes. Elles attirent aussi bien les mâles que les femelles. Par exemple, LUREM-TR (KOPPERT) est efficace pour diverses espèces de thrips, notamment *Frankliniella occidentalis* et *Thrips tabaci*. Les tests menés en cage ont montré que l'utilisation de la kairomone en complément d'un panneau englué était plus attractive que la phéromone seule dans le piégeage du thrips *Frankliniella occidentalis* (ASTREDHOR Sud-Ouest en 2014).

Pour l'utilisation des phéromones et kairomones, quelques consignes sont à respecter, notamment :

- éviter de toucher les capsules avec les doigts car il y a risque de déposer par mégarde des phéromones à différents endroits et ainsi réduire l'efficacité du piège.
- respecter les renouvellements des capsules.
- remplacer toujours les capsules d'un piège avec le même type de phéromone.
- respecter les consignes de stockage des phéromones (réfrigérateur, congélateur...).

## LES PRINCIPAUX TYPES DE PIÈGES

Les phéromones et kairomones sont utilisées à l'aide de dispositifs de piégeage. Le choix du modèle dépend de la taille du ravageur et de l'objectif de piégeage (piégeage de masse et/ou suivi des populations). Il convient de respecter une distance minimale d'une dizaine de mètres entre chaque piège pour éviter les problèmes d'interférence entre les phéromones.

## Pièges à suspendre

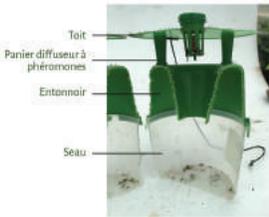
Pièges delta	Conditions d'utilisation	Cibles
<ul style="list-style-type: none"> <li>● en forme de tente canadienne avec un fond englué</li> <li>● capsule de phéromone sur le fond</li> </ul>	<p>Placés 10 cm au-dessus des végétaux</p> <p>2-4 pièges / ha pour les lépidoptères</p> <p>Renouvellement de la phéromone toutes les 4-5 semaines à ajuster selon l'insecte cible (voir les conditions d'emploi).</p>	<p>Utilisés sous abri ou en extérieur</p> <p>Plus adaptés aux petits lépidoptères (&lt; 25 mm)</p> <p>Saturation possible si le nombre de papillons est trop important</p> <p>Cochenilles mâles ailés : <i>Planococcus citri</i></p>



Figures 1 et 2 : Pièges delta pour le piégeage de *Duponchelia fovealis* sur culture de *Cyclamen*.

Figures 3 et 4 : Pièges delta pour le piégeage de *Cacoecimorpha pronubana* sur culture de *Choisya*.

Pièges à entonnoir	Conditions d'utilisation	Cibles
<ul style="list-style-type: none"> <li>● constitués de quatre parties : toit, entonnoir, seau, et petit panier ajouré contenant la capsule de phéromones</li> <li>● il existe de nombreux modèles selon les fournisseurs (Buxatrap®, Cameratrap®, Lepidatrap® ...).</li> </ul>	<p>Mettre de l'eau additionnée de détergent ou pas dans le fond du seau selon les modèles de pièges (voir conditions d'emploi).</p>	<p>Utilisés sous abri ou en extérieur</p> <p>Adaptés aux plus gros lépidoptères (&gt; 25 mm) : noctuelle, mineuse...</p>



Figures 5 et 6 : Pièges à entonnoir pour le piégeage de la pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*)

Figure 7 : Installation du piège à entonnoir pour le piégeage de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*).



Figures 8 et 9 : Piège à entonnoir pour le piégeage de la mineuse du marronnier (*Cameraria ohridella*) – zoom sur le piège.



Figures 10 et 11 : Piégeage d'*Autographa gamma* dans une parcelle de chrysanthèmes extérieur – papillon *Autographa gamma*.

## Pièges à poser

Pièges à eau	Conditions d'utilisation	Cibles
<ul style="list-style-type: none"> <li>constitués d'une coupelle</li> <li>panier ajouré pour la capsule de phéromones</li> </ul>	<p>Distance minimum entre chaque piège de 15-20 m</p> <p>A poser sur tablette ou au sol</p> <p>Mettre de l'eau additionnée d'un peu de détergent dans la coupelle</p>	<p>Sous abri</p> <p>Piège breveté pour <i>Tuta absoluta</i></p> <p>Piège pour la capture de masse de lépidoptères</p>



Figures 12 et 13 : A gauche, piège à eau Tutasan – à droite, piège à eau fabrication maison pour le piégeage de *Duponchelia* en culture de *Cyclamen*.

Piège spécifique *Rhynchophorus ferrugineus* / palmier  
 Seau collecteur avec toit, capsule à phéromone, ou sachet de kairomone à mettre sous le couvercle (système d'accroche).  
 Leurre ou appât végétal à mettre au fond du piège.

Piège Rhynchonex® à enterrer à mi-hauteur à proximité des palmiers.



## EXEMPLE 1 : PIÉGEAGE DE LA PYRALE DU BUIS

Depuis 2014, des comparaisons de modèles de pièges et screening de phéromones sont étudiés dans le cadre du programme SaveBuxus® piloté par ASTREDHOR et Plante & Cité.

Des différences entre les diffuseurs que ce soient en terme d'attractivité, de persistance d'action et de dynamique des captures ont été observées. La formulation de la phéromone et la conception du diffuseur jouent tous les deux sur cette efficacité. En 2016, les essais ont montré que les

phéromones commercialisées en France sont attractives mais, qu'en cas de forte infestation, le piégeage de masse ne suffit pas à protéger efficacement les buis. En 2017, deux pièges ont été comparés :

- Cameratrapp® (piège généraliste avec eau et détergent) est adapté pour le suivi mais un entretien hebdomadaire reste nécessaire.
- Buxatrapp® (piège généraliste sans eau) est quant à lui plus adapté pour le piégeage de masse mais ne permet pas une détection précoce des vols.

### EXEMPLE 2 : PIÉGEAGE DE LA MINEUSE DU MARRONNIER

Le piège Delta est l'outil idéal pour réaliser le suivi des populations de ravageurs et déceler les vols pour caler une intervention. La capacité du piège delta étant relativement faible, il peut y avoir saturation si la population du ravageur est importante. Il sera préférable de choisir des pièges à entonnoir (d'efficacité relativement similaire) pour un piégeage de masse, avec un niveau de saturation supérieur.

### EXEMPLE 3 : PIÉGEAGE DE DUPONCHELIA

Chaque entreprise peut tester différents types de pièges à phéromones (piège englué avec phéromones, piège delta, piège à eau) et utiliser ainsi le plus performant.

### EXEMPLE 4 : PIÉGEAGE DE AUTOGRAPHHA GAMMA - MAMESTRA BRASSICAE

Les essais conduits par ASTREDHOR Seine-Manche en 2016/2017 avec des pièges posés sous abri (culture de cyclamen et chrysanthème) et à l'extérieur (culture de chrysanthème) ont montré l'intérêt des piégeages dans le but de détecter les premiers vols de papillons. Toutefois, il n'a pas été établi de correspondance entre les pics de vols et les dégâts occasionnés sur les cultures. Il a été globalement plus piégé de papillons *Mamestra* et *Autographa* à l'extérieur que sous abri, *Autographa gamma* ayant été noté présent sur les entreprises.

## ECOPIÈGES : LUTTE CONTRE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* (PROCESSIONNAIRE DU PIN)

Ce sachet collecteur de chenilles (préalablement rempli de terre) est posé autour du tronc de l'arbre avec une collerette réglable. Ce piège est utilisé pour intercepter les chenilles lors de leur descente le long du tronc de l'arbre. Arrivées dans la collerette, elles sont dirigées dans le sachet rempli de terre dans lequel elles vont s'enfouir et se transformer en chrysalide. A la fin des processions, l'utilisa-



Figure 14 : Ecopiège.



Figure 15 : Processionnaire du pin.

teur décroche le sachet plastique contenant les chrysalides et peut le détruire après s'être assuré de la mort des chenilles ou chrysalides à l'intérieur du sachet. Cette méthode de lutte est particulièrement intéressante dans les jardins et sur les arbres isolés dans les secteurs fréquentés par le public. Préconisations : 1 piège/arbre infesté.

## LES PIÈGES LUMINEUX



Figure 16 : Pièges lumineux INOXATRAP®.

Les pièges lumineux utilisent des rayons ultraviolets pour attirer papillons et teignes jusqu'à une grille électrifiée. Les insectes sont tués dès qu'ils entrent en contact avec celle-ci. Cette méthode permet d'indiquer le nombre de papillons présents dans la culture mais l'identification reste impossible.

D'autres pièges lumineux sont dotés de néons à proximité de plaques engluées jaunes où se colleront les différents ravageurs. On peut ajouter à ce système des phéromones sur la plaque engluée pour augmenter l'efficacité du piégeage. Attention à fermer les ouvrants de la serre car il s'agit d'un système de piégeage massif qui risque de faire rentrer davantage de papillons nuisibles dans les serres. Les essais d'ASTREDHOR Seine-Manche réalisés en 2016/2017 ont porté sur des pièges lumineux posés sous abri. Plus de 500 papillons ont été dénombrés, représentant une quarantaine d'espèces identifiées. Un travail de bibliographie est en cours pour vérifier s'ils sont hôtes potentiels pour nos cultures ornementales.

## NOUVEAUTÉS

### ENCAPSULATION DES PHÉROMONES

Pour contourner la difficulté actuelle de pose de diffuseurs de phéromones et de coût de main d'œuvre, la solution envisagée est celle développée par Mzi Life Science. Elle consiste à encapsuler dans des microparticules, les molécules phéromonales dans un dispositif biodégradable à base de cires naturelles, permettant ainsi le relargage contrôlé des phéromones. Ces capsules sont ensuite placées dans les arbres par un tir au paintball.

### LES PIÈGES CONNECTÉS

Le principe est d'utiliser un piège chromatique qui analyse le nombre d'insectes piégés et émet des alertes lorsqu'un vol d'insectes est détecté ou lorsque la feuille gluante est saturée. Il envoie une alerte par email et/ou SMS si une invasion est détectée.

La société AdvanSEE a mis au point e-GLEEK, un piège (SIVAL de Bronze, 2017) connecté qui effectue le comptage des insectes piégés plusieurs fois par jour. Lors d'une apparition massive d'insectes (un vol), le système déclenche automatiquement une alerte qui est envoyée vers un



Figure 17 : Piège connecté en culture de poireaux, AdvanSEE.

destinataire enregistré. Son installation est très facile. Le système est livré avec un ensemble d'accessoires permettant de régler hauteur et orientation du piègeage.

## CONCLUSION

Il existe sur le marché une gamme très complète de pièges et d'attractifs. Un piègeage de qualité est essentiel à la bonne compréhension du ravageur présent. Celui-ci permet de définir des stratégies de (bio)contrôle adaptés à la situation. Toutefois, il faut savoir adapter le piègeage à la pression et à la nature du ravageur, à la culture concernée, à sa densité... Il ne faut pas s'interdire de tester différents types de pièges, et/ou origines de phéromones pour un ravageur donné selon les situations.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Brinquin A.S., Martin J.C., s.d. *Guide technique sur la gestion de la processionnaire du pin*. Inra, Plante & Cité. Poster [en ligne].

Guérin M., 2012. *Le piègeage en espaces verts*. Plante & Cité, Angers, 12 p.

Guérin M., 2015. *Synthèse 2014 · Programme SaveBuxus - volet « pyrale »*. ASTREDHOR, Paris, Plante & Cité, Angers, 8 p.

Guérin M., 2016. *Synthèse 2015 · Programme SaveBuxus - volet « pyrale »*. ASTREDHOR, Paris, Plante & Cité, Angers, 8 p.

Guérin M., 2017. *Synthèse 2016 · Programme SaveBuxus - volet « pyrale »*. ASTREDHOR, Paris, Plante & Cité, Angers, 8 p.

Guérin M., 2018. *Synthèse 2017 · Programme SaveBuxus - volet « pyrale »*. ASTREDHOR, Paris, Plante & Cité, Angers, 8 p.

Hastings C., Jullien J., 2006. Dossier phéromones : utilisation des phéromones en culture légumière et en ornement. *PHM*, 486, p. 11-20.

Martin J.C., Brinquin A.S., Chambras M., 2014. *Programme ALTERPRO : mise au point de stratégies de piègeage combinées pour la gestion de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*, appliquées au Zones Non Agricoles*. Inra, Plante & Cité, Onema, Ecophyto, 51 p. [en ligne]

Martin J.C., Mazet R., Correard M., Morel E., Brinquin A.S., 2012. Nouvelles techniques de piègeage pour réguler la processionnaire du pin. *Phytoma*, 655, p. 17-22.

Piasentin J., 2009. *L'application de la Protection biologique intégrée sous serre*. ASTREDHOR, Paris, 22 p.

Sileban, Ctifl, s.d. *PICOLEG : développement d'un piège connecté pour le suivi des populations de bioagresseurs aériens en cultures légumières*. Poster.

Thiery C., 2010. Protection biologique intégrée. Développement des pièges avec hormones. *Lien horticole*, 3, p. 9-12.

*Ces travaux de recherche ont été financés par le Ministère en charge de l'agriculture, les Chambres d'agriculture régionales, FranceAgriMer, les Conseils régionaux, le Sileban, Koppert, Plante & Cité, ONEMA, VAL'HOR et les adhérents d'ASTREDHOR.*

# Les nouveaux auxiliaires des plantes : détection, description et validation

Tom Hebbinckuys et Alain Ferre (ASTREDHOR Loire-Bretagne)

Il serait anthropocentrique de qualifier de « nouveaux » ces auxiliaires. Ils n'ont en réalité de nouveau que la découverte par l'observateur de leur présence dans l'environnement et/ou de leurs relations trophiques. Mais ils font leur besogne depuis longtemps. Et ils la font bien !

Cependant, consciemment ou non, nous avons tendance à sous-estimer le travail de fond réalisé par les auxiliaires indigènes. Or, la Protection Biologique Intégrée (PBI), de plus en plus appliquée en production horticole, ne se résume pas uniquement aux lâchers massifs d'auxiliaires commercialisés. Quant au secteur du paysage, l'interdiction d'appliquer des produits phytosanitaires dans les lieux publics rend primordiale une meilleure utilisation de ce cortège naturellement présent dans l'environnement. Il convient donc de le favoriser là où il nous est le plus utile.

ASTREDHOR s'est donc attaché depuis quelques temps à développer ces auxiliaires non encore commercialisés. Ces derniers sont très fréquemment observés dans notre environnement proche et semblent tout aussi efficaces, voire plus, que ceux présents actuellement sur le marché. Ils permettront *a minima* de compléter les gammes d'auxiliaires disponibles, et quelques fois restreintes, contre certains ravageurs (pucerons, aleurodes, acariens...), ou encore de proposer des auxiliaires pour la gestion de bio-agresseurs là où aucune solution n'existait jusqu'ici.

## DÉFINITIONS

<b>Auxiliaire</b>	Tout organisme vivant qui apporte une aide à la bonne réussite de la culture.
<b>Indigène</b>	Originaire du pays où il vit.
<b>Protection Biologique Intégrée</b>	La PBI est une stratégie alternative à la lutte chimique conventionnelle contre les ravageurs des cultures. Cette stratégie privilégie les méthodes biologiques pour lutter contre les bio-agresseurs des cultures et n'a recours aux traitements chimiques qu'en cas d'extrême nécessité.
<b>Auxiliaire prédateur</b>	Auxiliaire qui consomme le ravageur.
<b>Auxiliaire parasitoïde</b>	Auxiliaire qui va pondre dans ou sur le ravageur, se développer à ses dépens et provoquer sa mort.
<b>Momie</b>	Nom donné à la larve du ravageur parasitée par un auxiliaire parasitoïde.

# EXEMPLE DE PROCESSUS D'IDENTIFICATION ET DE VALIDATION D'UN NOUVEL AUXILIAIRE DES CULTURES

Observation et curiosité, ces deux mots clefs sont la base de la détection de nouveaux auxiliaires.

## PREMIÈRE ÉTAPE : L'OBSERVATION DES VÉGÉTAUX

A moins d'un heureux hasard, un nouvel auxiliaire ne va pas de lui-même atterrir sur un bureau, se prétendre d'utilité publique et demander à être étudié. Il faut, pour le détecter, aller sur le terrain (figure 1) et repérer des coïncidences répétitives ou des « anomalies », telles que des formes,

des couleurs, des comportements, des structures qui sortent de l'ordinaire, différents de ce que l'on observe habituellement ou de ce à quoi on s'attendait.

Prenons l'exemple de l'hyménoptère parasitoïde (*Tamarixia upis*) du psylle de l'*Elaeagnus* (*Cacopsylla fulguralis*). L'espèce est probablement présente en France depuis toujours. Il aura cependant fallu attendre 2011 pour identifier son rôle d'auxiliaire des cultures.

Et pour cause ! La différence entre une larve de psylle « normale » et une larve parasitée est très subtile. La photo ci-contre (figure 2) montre une larve non parasitée et une larve parasitée. Dans un premier temps, seule l'excroissance noire à l'extrémité de l'abdomen est repérable. Puis avec le temps, ou en regardant de plus près, un socle de soie apparaît sous la larve parasitée.

Pour l'observateur assidu des végétaux hôtes du psylle, la présence de cette excroissance noire doit stimuler la curiosité.



Figure 1 : Entomologiste d'ASTREDHOR observant un *Elaeagnus x ebbingei* 'Gilt Edge' pour détecter de nouveaux auxiliaires.



Figure 2 et 3 : A gauche, larve de psylle non parasitée - à droite, larve parasitée avec présence du «boudin noir» à l'extrémité de l'abdomen et le socle de soie.

L'observateur alerté va alors prélever les feuilles hébergeant ces larves atypiques, les mettre en cage et observer ce qu'il advient. Dans notre cas, au bout de quelques jours en cage, un hyménoptère parasitoïde jamais observé auparavant a montré le bout de ses antennes ! Un nouvel auxiliaire a ainsi pu être répertorié.

## DEUXIÈME ÉTAPE : L'ÉLEVAGE ET LA DESCRIPTION DU NOUVEL AUXILIAIRE

La suite logique de cette découverte a donc été la mise en élevage de ce nouvel auxiliaire afin de le conserver et de l'observer. Une large prospection a été réalisée sur le terrain afin d'obtenir un maximum d'individus pour créer une population génétiquement diversifiée et ainsi limiter les problèmes de consanguinité.

Toutefois, par définition, les auxiliaires, qu'ils soient prédateurs ou parasitoïdes, ont besoin d'hôtes afin de se développer. De ce fait, il est indispensable d'élever également leurs hôtes dans des conditions propices à leur bon développement. Plus il y a d'hôtes plus il y a d'auxiliaires. Or la nature est une vaste chaîne trophique où chaque élément a besoin du maillon trophique inférieur pour se multiplier et assurer la survie de son espèce. Ainsi, tout comme les auxiliaires, leurs hôtes ont besoin de nourriture, et celle-ci est une plante. Il faut donc conduire avec succès un système « tripartite » : plante-ravageur-auxiliaire, dont la gestion peut présenter un certain nombre de difficultés. Certains ravageurs peuvent toutefois être élevés sur substrat artificiel, ce qui limite les problèmes liés à la difficulté de faire survivre des plantes en milieu confiné et envahi de ravageurs et ramène l'élevage à un système simplifié, « bipartite ». Dans le cas de *Tamarixia upis*, un élevage sur substrat artificiel n'a pas été testé. Le schéma plante-ravageur-auxiliaire classique a été conservé ; ici *Elaeagnus* – psylle – auxiliaire.

Une fois ces questions trophiques résolues et l'élevage suffisamment prospère, une étude de la biologie de cet auxiliaire a pu démarrer. En effet, connaître la biologie du parasitoïde (fécondité, longévité à différentes températures, stades de ravageurs consommés ou parasités...) est indispensable pour comprendre comment utiliser au mieux l'auxiliaire (moment de l'année propice, dose, vitesse d'action, persistance...).

Ces études ont permis de montrer que pour *Tamarixia upis* :

- la femelle pond des œufs non fécondés dans les larves de psylle de stade 4. Ces pontes aboutissent à l'émergence de mâles parasitoïdes. Les œufs fécondés sont, quant à eux, pondus dans les larves de stade 5, plus gros, et donneront des femelles.
- le sexe-ratio est d'environ 3 : 1 en faveur des femelles.
- une femelle a une durée de vie d'environ quarante jours contre une dizaine de jours pour le mâle.
- l'espèce réalise une diapause par an, en hiver lorsque les températures passent régulièrement en dessous de 5° C. Cette diapause sous forme de momie permet de mieux résister aux intempéries et d'attendre que les conditions soient à nouveau propices pour émerger et se remettre à pondre.

Il a ainsi été possible de caractériser le cycle biologique du parasitoïde. La femelle parasitoïde prospecte au sein des colonies de psylles et pond ses œufs sous les larves après s'être accouplée avec un ou plusieurs mâles. Une fois que l'œuf éclot, la larve du parasitoïde s'accroche à l'abdomen de son hôte et s'en nourrit tout en le conservant en vie jusqu'à la nymphose. En effet, à la fin de son développement, la larve de psylle meurt et libère alors une déjection déshydratée, la fameuse

« excroissance noire ». C'est alors que la nymphe du parasitoïde commence à tisser sa toile sous le cadavre de son hôte et que des filaments blancs sont visibles autour de la momie (figure 3). Ce phénomène commence environ 5-6 jours après la ponte. Cette toile assure un ancrage de la momie de la larve de psylle à la feuille du végétal, tout en permettant au *Tamarixia* de se protéger des agressions extérieures.

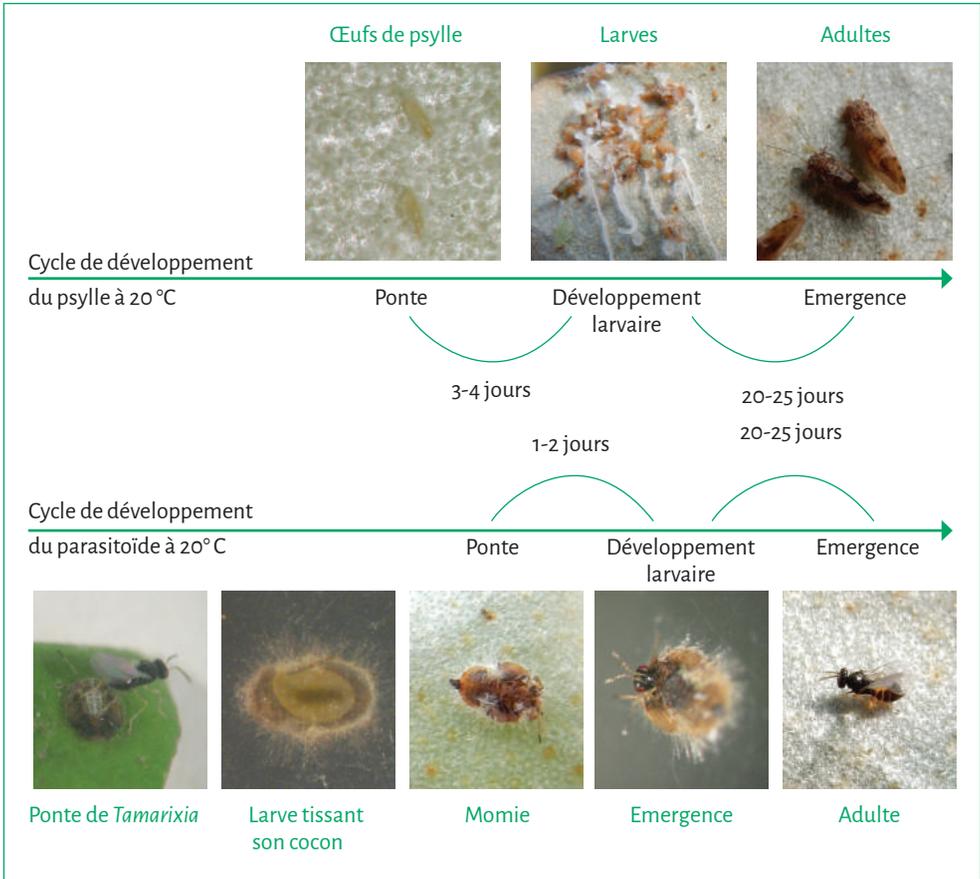


Figure 4 : Cycles de développement comparés du psylle et de son parasitoïde.

### TROISIÈME ÉTAPE : LA VALIDATION DE L'INTÉRÊT DU NOUVEL AUXILIAIRE POUR LE BIOCONTRÔLE

Une fois ces données biologiques acquises, des tests en conditions expérimentales ont été réalisés. Ceux-ci ont été mis en place sous tunnels froids de 50 m<sup>2</sup> en culture d'*Elaeagnus x ebbingei* 'Gilt Edge'. Cette variété a été choisie car elle est extrêmement sensible au psylle, ce qui permet d'offrir un nombre suffisant de proies au parasitoïde et ainsi de bien observer son évolution. Les auxiliaires ont été lâchés à plusieurs reprises à l'automne, sous forme adulte. Les observations se sont déroulées tous les 15 jours jusqu'au moment de la sortie des plantes, soit début mai. Cet essai a permis de montrer que des lâchers répétés du parasitoïde à l'automne permettent d'installer une population avant la diapause hivernale, dont l'effet de contrôle du ravageur sera davantage visible dès le mois de mars suivant.

Depuis cette validation, *Tamarixia upis*, hyménoptère parasitoïde du psylle de l'*Elaeagnus*, est désormais disponible à la vente auprès d'ASTREDHOR Loire-Bretagne (Arexhor Pays de la Loire).

## BILAN ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

---

Après sept années de travail sur les auxiliaires indigènes, ASTREDHOR Loire-Bretagne a identifié, décrit et validé pour le biocontrôle six espèces d'auxiliaires :

### DES PARASITOÏDES

- du psylle de l'*Elaeagnus* : *Tamarixia upis*.
- du puceron des Apiacées : *Aphidius salicis*.
- de plusieurs espèces d'aleurodes dont l'aleurode des serres et celui du tabac : *Encarsia inaron*.
- et tout récemment, de *Duponchelia fovealis*.

### DES PRÉDATEURS

- d'acarien du bambou : *Euseius stipulatus*.
- du tétranyque tisserand : *Oligota* sp.



Figure 5 : *Aphidius salicis*



Figure 6 : *Encarsia inaron*



Figure 7 : *Oligota* sp.



Figure 8 : *Euseius stipulatus*

Cette abondance est la preuve que les auxiliaires sont bien présents dans l'environnement, et souvent plus nombreux qu'on ne le pense. Des aménagements agro-écologiques peuvent (doivent !) ainsi être mis en œuvre pour les favoriser, comme par exemple la plantation de haies ou l'utilisation de plantes de services (voir article du chapitre 2 « Des plantes au service de la protection des cultures, ou comment tirer parti des interactions au sein des écosystèmes »). Certains résultats comme ceux obtenus avec *Encarsia inaron* ou *Tamarixia upis* sont en cours de transfert ou déjà transférés vers les professionnels. D'autres approches sont encore en cours d'expérimentation et de recherche approfondies (*Oligota* sp., *Aphidius salicis*...).

La Nature est riche ! Et il reste encore un grand nombre d'espèces à découvrir pas plus loin que dans nos productions, jardins et espaces verts.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Cocquempot C., Germain J.F., 2000. Un nouveau ravageur de l'*Elaeagnus x ebbingei* en France : *Cacopsylla fulguralis*. *PHM*, 416, p. 32-34.

Ferre A., 2017. *Tout l'intérêt d'identifier ses parasitoïdes*. 6e Conférence sur les moyens alternatifs de protection pour une production intégrée. AFPP, Lille, 21-23 mars 2017.

Ferre A. et Beaujean M., 2013. *Éléments de biologie du psylle de l'Elaeagnus, Cacopsylla fulguralis (Kuwayama, 1908) [Hemiptera : psyllidae] et relations avec ses auxiliaires spontanés*. Colloque ZNA. AFPP, Toulouse, 15-17 octobre 2013.

Ferre A., 2012. Des plantes fleuries pour protéger de futures fleurs en « PBI plein air ». *Phytoma*, 651, p. 21-24.

Ferre A., Denis A., 2011. *Éléments de biologie de Cacopsylla fulguralis [Hemiptera : Psyllidae] (psylle de l'Elaeagnus)*. 9ème Conférence Internationale sur les Ravageur en Agriculture. AFPP, Montpellier, 26-27 octobre 2011.

Ferre A., Gourlay A., 2011. *Utilisation de plantes-fleuries au sein de cultures non fleuries en protection intégrée par conservation*. 4e conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures. AFPP, Lille, 8-10 mars 2011.

Ferre A., 2010. Protection biologique intégrée en extérieur : principes et idées reçues. *PHM*, 520, p. 29-31.

Ferre A., 2008. La PBI en culture extérieure ou sous abri ouvert. *PHM*, 506, p. 26-32.

Malunphy C.P., Halstead A.J., 2003. *Cacopsylla fulguralis* (Kumayama), an Asian jumping plant louse (Hemiptera: Psyllidae), causing damage to *Elaeagnus* in Britain. *British Journal of Entomology and Natural History*, 16 (2), p. 89-93.

*Les travaux de recherche d'ASTREDHOR dans le domaine des nouveaux auxiliaires de culture ont été financés par les adhérents d'ASTREDHOR, FranceAgriMer et la Région Pays de la Loire.*

# Compléments alimentaires et habitats pour la faune auxiliaire

Ange Drouineau et Sophie Descamps (ASTREDHOR Méditerranée)

La lutte « 100 % chimique » contre les ennemis des cultures est dans l'impasse en raison de la réduction du nombre de substances actives autorisées, des résistances des ravageurs, de la toxicité pour les plantes et l'environnement et surtout pour préserver la santé des utilisateurs. Par conséquent, des méthodes alternatives plus respectueuses de l'Homme et des écosystèmes sont appliquées ; toutefois, celles-ci mettent parfois en difficulté la viabilité économique de l'exploitation en situation de production, ou n'atteignent pas toujours l'efficacité escomptée en situation de paysage. Ainsi, les enjeux sont à la fois environnementaux, agronomiques et socio-économiques.

Dans la filière horticole, il existe presque autant d'espèces florales que de systèmes de culture, chacune nécessitant une stratégie de protection adaptée. Des fleurs coupées et plantes en pot produites sous serre jusqu'à la plante des espaces verts ou des infrastructures agro-écologiques, le panel des systèmes de culture est très large, avec des besoins agronomiques et climatiques très différents d'une situation à l'autre. Le premier enjeu pour les professionnels est par conséquent de disposer de moyens de contrôle des bio-agresseurs adaptés à une large gamme variétale, à un coût supportable pour les différents types d'acteurs (producteurs, distributeurs, paysagistes, collectivités locales, aménageurs...). Il s'avère que de nombreux auxiliaires, distribués par les sociétés d'élevage, existent aux abords des cultures à l'état naturel. L'objectif est en outre de gagner en autonomie dans le choix des intrants et des stratégies de protection des plantes.

Au même titre que les cultures à forte valeur ajoutée maintenues plusieurs années en place sous un même abri chauffé, telles que la rose et le gerbera, toutes les espèces ornementales à cycle de production court, sous serre ou d'extérieur, comme tous les jardins, aménagements et espaces paysagers doivent pleinement bénéficier des avancées techniques en matière de protection innovante des végétaux. Toutefois, la Protection Biologique Intégrée des plantes (PBI), qu'elle soit réalisée par des lâchers d'organismes auxiliaires ou par conservation des auxiliaires spontanés, ne peut être efficace que si ceux-ci se maintiennent durablement dans les plantations. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'identifier et de mettre au point les solutions d'habitats naturels et de compléter les ressources alimentaires à destination des prédateurs et des parasitoïdes des ravageurs.

## PRINCIPE GÉNÉRAL

---

La PBI est un agencement de diverses méthodes de lutte qui privilégie notamment l'utilisation des macroorganismes auxiliaires, pour permettre d'atteindre les objectifs de diminution de l'utilisation des pesticides. En cultures protégées, la PBI est utilisée dans 15 % des cultures florales. Ces surfaces stagnent néanmoins depuis quelques années à cause de plusieurs verrous : coût important des lâchers d'auxiliaires (sortie des auxiliaires des systèmes de culture), impossibilité pour certaines cultures d'accueillir les auxiliaires (plantes peu attractives), etc. C'est pourquoi depuis 2016, des végétaux et des compléments alimentaires variés favorisant l'installation durable

d'auxiliaires ont été décrits et testés par diverses stations d'expérimentation d'ASTREDHOR dans le cadre d'un programme fédérateur, intitulé « HabAlim ». Ces travaux ont tout d'abord visé d'une part à caractériser la capacité de plantes ou de matériaux naturels à fournir un hébergement de qualité aux ennemis naturels des principaux ravageurs, sur le même principe que les désormais célèbres « hôtels à insectes » et, d'autre part, à évaluer l'effet de compléments alimentaires sur la colonisation des cultures et la capacité de contrôle des principaux ravageurs par les auxiliaires indigènes. Dans un second temps, le programme a testé différentes combinaisons des solutions d'habitat et d'alimentation, dans le cadre de stratégies de protection intégrée. Dans une troisième phase, ces résultats ont été mis en œuvre pour validation finale en conditions réelles dans des exploitations horticoles et des situations de paysage.

## DES RÉSULTATS PROBANTS

Plantes de service, plantes à pollen, plantes anémophiles (dont le pollen est dispersé par le vent et se dépose sur les plantes environnantes) et compléments alimentaires exogènes sont les pistes qui ont été testées par les stations d'expérimentation d'ASTREDHOR pour améliorer la protection biologique intégrée des plantes sous serre, de pépinière et du paysage (tableau 1).

Stratégie	Végétaux	Types d'essais
Ressources alimentaires	Pépinière, paysage	Recherche de plantes de service anémophiles pour leurs pollens consommés par les parasitoïdes des pucerons dans le centre de la France
	Pépinière, paysage	Etude de la plante anémophile <i>Sorbaria sorbifolia</i> pour la lutte biologique par conservation des agents de contrôle des pucerons dans l'Est de la France
Complément d'alimentation exogène	Plantes en pot	Evaluation de l'impact du nourrissage sur l'installation de phyto-seiides et de la lutte contre l'aleurode du tabac, <i>Bemisia tabaci</i> , dans une culture de <i>Poinsettia</i> en pot sous serre du Sud-Ouest de la France
	Fleurs coupées	Apport de compléments alimentaires exogènes sur lisianthus en fleurs coupée sous serre pour lutter contre le thrips californien dans le Sud-Est de la France
	Fleurs coupées	Nouveau concept de lutte biologique contre le thrips californien sur rose fleur coupée dans le Sud-Est de la France
Habitat	Pépinière, paysage	Etude d'une stratégie innovante de contrôle de l'acarien du bambou

Tableau 1 : Présentation générale du programme d'essais d'ASTREDHOR.

### UTILISATION DE PLANTES DE SERVICE ANÉMOPHILES

Les plantes de service que sont *Hypericum*, *Allium*, *Papaver* et *Pyracantha* produisent des pollens potentiellement consommés par les parasitoïdes indigènes de pucerons. La dispersion par le vent des pollens de ces plantes anémophiles dans une culture de *Spirea* a été observée sur un rayon de deux mètres pour l'*Hypericum* et d'un mètre pour l'*Allium*, le *Papaver* et le *Pyracantha* (figure 1).

L'effet bénéfique de ce pollen sur la conservation des agents de contrôle des pucerons a pu être confirmé lors d'un pic de population du ravageur. Ces résultats encourageants sont issus d'une comparaison avec une aire de culture témoin sans plante à pollen.

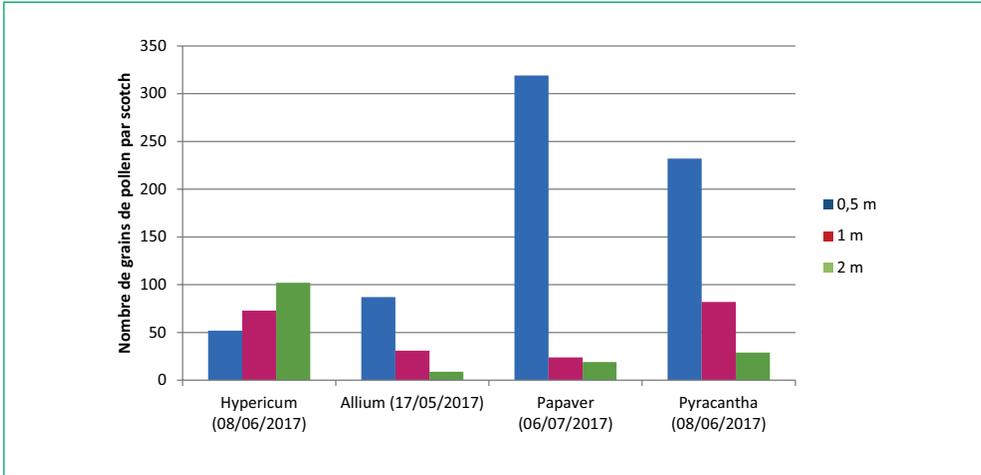


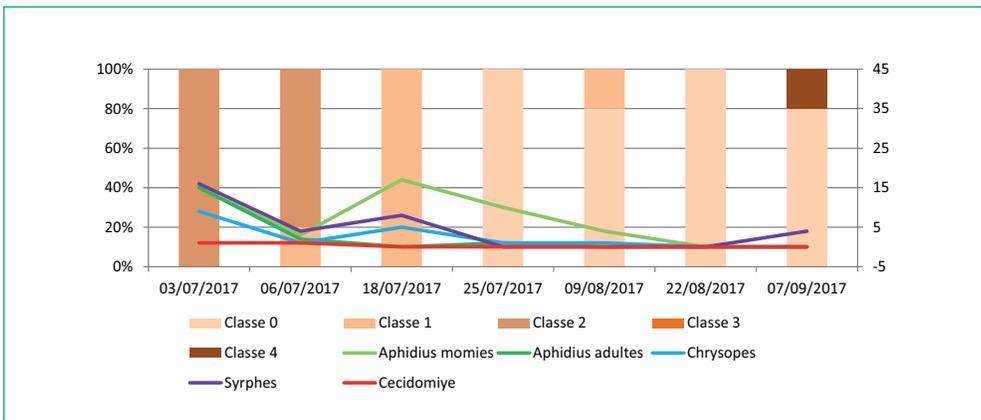
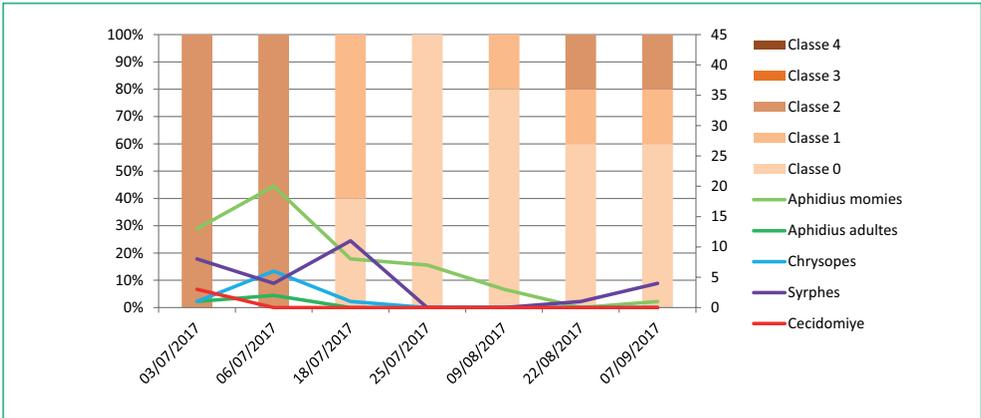
Figure 1 : Dispersion du pollen des plantes anémophiles étudiées en 2017.

D'autres travaux ont établi que, selon le même principe, le pollen de la plante anémophile *Sorbaria sorbifolia* (figure 2) se disperse, ce qui lui donne cette fonction de plante de service dans un cadre de lutte biologique par conservation, de la faune auxiliaire des cultures.



Figure 2 : Fleurs de *Sorbaria*, plante anémophile.

La présence des *Sorbaria* permet ainsi de soutenir la diversité et l'abondance de la faune auxiliaire participant au contrôle des pucerons dans une collection de rosiers de jardin. Le *Sorbaria* semble également favoriser le maintien d'*Amblyseius andersonii*, acarien prédateur de plusieurs espèces de tétranyques et d'ériophyides.



Figures 3 et 4 : Dynamiques des populations de pucerons sur rosier multi variétés sans plante à pollen et avec plantes à pollen en 2017.  
 Les classes de ravageurs sont : Classe 0= rien ; Classe 1= adulte isolé ; Classe 2= colonie 0 ailé o dégât ; Classe 3= colonie o ailé + dégât ; Classe 4= colonie + ailés, les populations d'auxiliaires sont exprimées en individu.

Afin de prolonger la production de pollen utile aux auxiliaires au-delà de la période de floraison du *Sorbaria*, d'autres plantes de service anémophiles ont été utilisées en complément dans l'itinéraire technique, comme la potentille et le thym. Dans les conditions de l'expérimentation, une faune auxiliaire abondante et diversifiée a bien été identifiée ; toutefois, son activité accrue serait probablement plutôt liée à la flore spontanée située aux abords de la parcelle d'essai. En effet, des analyses du contenu de l'appareil digestif des auxiliaires ont montré que ce sont surtout des pollens de *Daucus carota* (flore spontanée) qui ont été ingérés par les phytoseides du genre *Amblyseius* qui constituaient la principale population d'auxiliaires dans cet essai. Ce constat confirme néanmoins la pertinence de travaux complémentaires visant à identifier des gammes d'espèces anémophiles avec des floraisons étalées.

## APPORTS DE PRODUITS DE NOURRISSAGE EXOGÈNES

Une autre technique de nourrissage des auxiliaires consiste à effectuer des apports de compléments alimentaires exogènes, disponibles auprès de distributeurs spécialisés.

ASTREDHOR Sud-Ouest a ainsi évalué des pollens de massette (*Typha angustifolia*) commercialisés (marque Nutrimite®), dans une dizaine de stratégies en cultures sous serres. Des résultats très encourageants ont été obtenus sur une culture de *Poinsettia* en pot, au niveau tant technique (figure 5) qu'économique (figure 6). En effet, les itinéraires techniques mis au point ont permis de réduire significativement le nombre de lâchers d'auxiliaires par rapport à des témoins que sont les stratégies de lâchers de phytoseiides sans nourrissage. Ces améliorations techniques nous ont permis d'obtenir l'augmentation de la population de phytoseiides (dont *Amblyseius swirskii* et *Amblydromalus limonicus*). De plus, ces essais ont mis en évidence l'installation d'une faune auxiliaire indigène composée de parasitoïdes de l'aleurode, dont un agent utile du genre *Eretmocerus*.

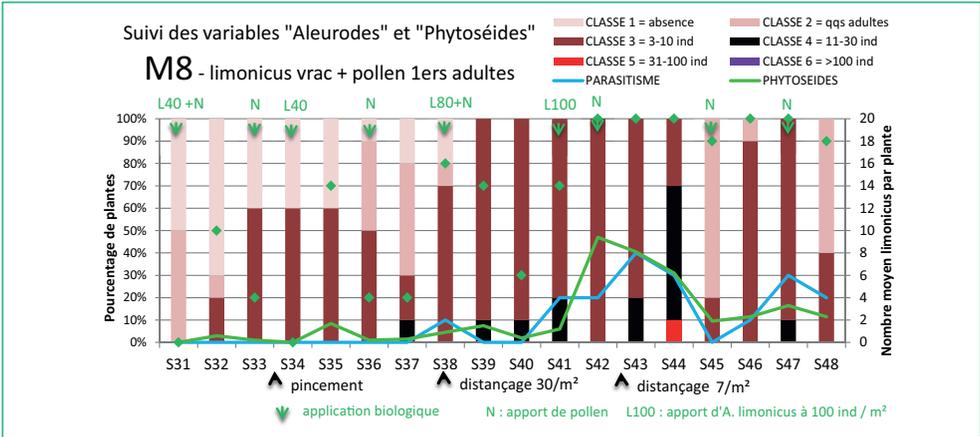


Figure 5 : Dynamique de population de phytoseiides (*A. limonicus*) et d'aleurode du tabac sur *Poinsettia* dans un itinéraire technique incluant un nourrissage au pollen de *Typha* en 2017.

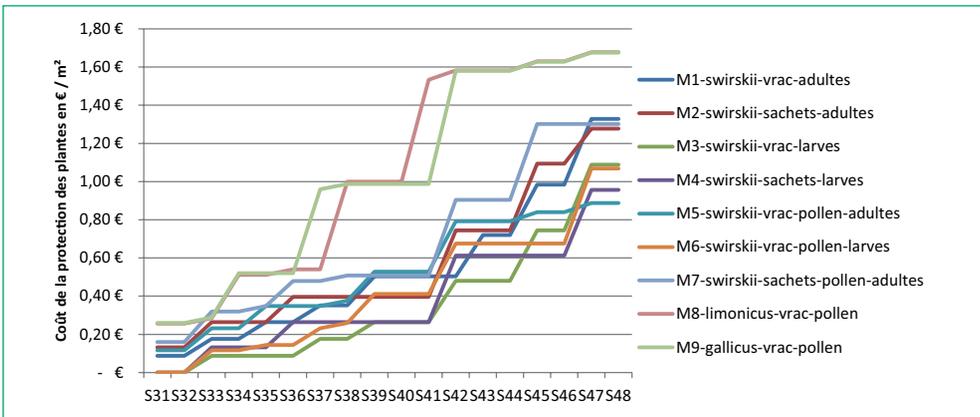


Figure 6 : Coûts de la protection des plantes pour les différents itinéraires techniques étudiés en 2017.

Enfin, l'intérêt économique de ce nouveau concept de protection semble particulièrement élevé, puisque le coût de la protection des plantes dans cet itinéraire technique ne dépasse pas 0,15 euros HT par plante.

D'autres essais, réalisés par ASTREDHOR Méditerranée, ont permis de tester la pertinence d'un nourrissage exogène des auxiliaires couplant des pollens et des œufs stérilisés de ravageurs. En production de lisianthus fleur coupée, le nourrissage des phytoseiides par des grains de pollens de *T. angustifolia* (Nutrimite®) et des œufs irradiés d'*Aleuroglyphus* (Prefix®) a permis d'optimiser la lutte biologique contre les thrips californien (figure 7).

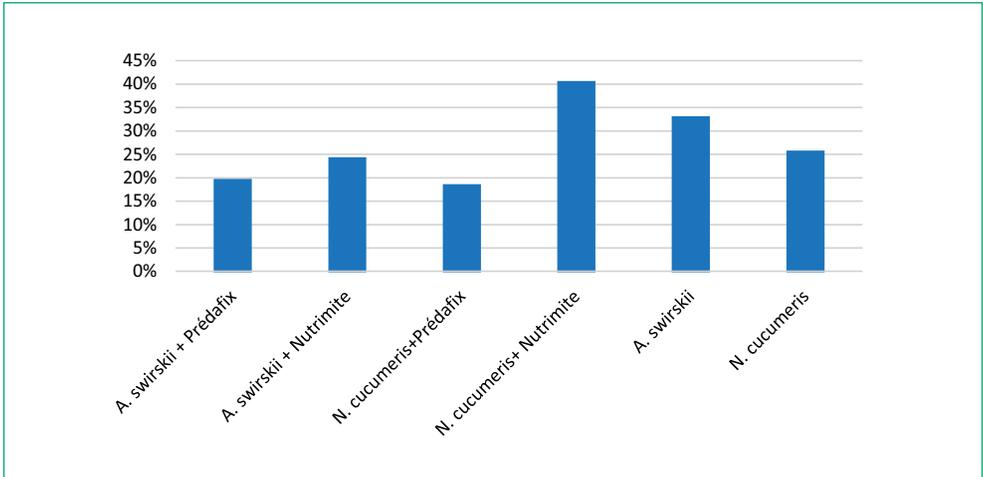


Figure 7 : Pourcentage des fleurs de lisianthus présentant des dégâts du thrips californien.

Dans cet essai, le meilleur agent de contrôle semble avoir été *Neoseiulus cucumeris* (figure 8), surtout avec l'apport d'œufs irradiés. Les analyses de contenu digestif des deux auxiliaires établies par des essais *in vitro*, confirment la consommation des deux produits apportés pour le nourrissage.

Toutefois, d'autres essais conduits sur rose fleur coupée par ASTREDHOR Méditerranée ont démontré que lorsque la pression des thrips est très élevée, le nourrissage de l'auxiliaire introduit (*Euseius gallicus*, figure 9) avec du pollen de *Typha* (Nutrimite®) ne suffit pas à le maintenir dans la culture à un niveau permettant de réguler le ravageur. L'auxiliaire commercialisé sous le nom dynamite G system®, *Euseius gallicus*, a besoin du complément alimentaire Nutrimite® qui rentre dans son régime varié : c'est sa particularité. Toutefois, bien que les préconisations de la firme détentrice des dits produits aient été suivies, l'auxiliaire dans le système de culture rose fleur coupée n'a pas contribué au contrôle biologique du thrips californien.



Figure 8 : *Neoseiulus cucumeris*, deux formes mobiles consommant le pollen du complément alimentaire Nutrimite® dans des conditions *in vitro* d'observation des populations – grossissement 20 (Amine S., 2017).

De même, il n'a pas été retrouvé dans le système lui-même. Ceci démontre toute la complexité des relations trophiques de la faune auxiliaire dès lors qu'elle est éloignée de ses conditions naturelles de prédation.



Figure 9 : *Euseius gallicus*, forme mobile isolée, grossissement x40 (Amine S., 2017).

En revanche, la caractérisation du régime alimentaire d'un échantillon de thrips a démontré que le pollen de *Typha* apporté n'étant pas consommé par le ravageur : *Typha angustifolia* ne contribue pas au développement de *Frankliniella occidentalis*, le thrips californien. D'autres pollens ont été identifiés dans les contenus digestifs des thrips, ils correspondent à la flore et aux essences forestières locales de plantain et des pins (Source Flor'Insectes).

Au regard des références bibliographiques et des résultats des essais, les compléments alimentaires étudiés intéressent une population d'auxiliaires suffisamment diversifiée

pour contribuer au contrôle de nuisibles de grande importance agronomique, comme l'indique le tableau récapitulatif. La plupart des auxiliaires sont indigènes tels Chrysopes, *Encarsia*, *Eretmocerus*, *Euseius*, *Neoseiulus*, *Stratiolaelaps* et Staphylin (tableau 2).

Auxiliaires	Pollens	Œufs irradiés	Cibles
<i>Eretmocerus mundus</i>	XX		Aleurode du Tabac
<i>Encarsia bimaculata</i>	XX		Aleurode du Tabac
<i>Encarsia mineoi</i>	XX		Aleurode du Tabac
<i>Chrysopes</i>	X		Pucerons, tétranyques
<i>Amblyseius swirskii</i>	X	X	Aleurode, thrips
<i>Euseius gallicus</i>	X	X	Thrips, aleurodes
<i>Amblydromalus limonicus</i>	XX	X	Thrips, aleurodes
<i>Neoseiulus cucumeris</i>	XX	X	Thrips
<i>Amblyseius montdorensis</i>		X	Thrips, aleurodes
<i>Neoseiulus californicus</i>		X	Tétranyques
<i>Stratiolaelaps scimitus</i>		X	Thrips, mouches
<i>Staphylin</i>		X	Thrips

Tableau 2 : Réponse des auxiliaires aux différents produits de nourrissage en culture de rosiers fleurs coupées.

## PLANTES RÉSERVOIRS, HABITATS À PROIES ET AUXILIAIRES

Plusieurs campagnes d'expérimentation ont conduit à souligner le service rendu par des phyto-seiides indigènes, qui s'imposent sur le plan économique face aux lâchers conventionnels d'auxiliaires. Des comparaisons réalisées par ASTREDHOR Loire-Bretagne entre différentes stratégies

basées sur les lâchers de *Neoseiulus californicus* combinées à différentes sources d'alimentation complémentaires (plante anémophile *Sorbaria sorbifolia*, pollen de *Typha latifolia*), ont montré que le contrôle biologique de l'acarien du Bambou, *Schizotetranychus celarius*, est en fait obtenu grâce à l'installation spontanée du phytoseiide généraliste *Euseius stipulatus*.

Pour les besoins de l'expérimentation, il a été nécessaire d'élever le nuisible. Ainsi, *S. celarius* a été volontairement favorisé sur des pousses de *Phyllostachys aureosulcata* (figure 10). Or, c'est au cours de cette étape de l'essai qu'un auxiliaire indigène a fait son apparition dans les nids de *S. celarius*. Il s'agit d'un *Phytoseiide* généraliste. L'acarien prédateur a contrôlé spontanément et très rapidement l'acarien du Bambou. *P. aureosulcata* pourrait ainsi être utilisé comme plante-réservoir de phytoseiides généralistes avec sa proie (figure 11).

Ainsi, de façon inattendue, ces travaux de recherche appliquée ont permis de mettre en lumière l'importance d'un agent de contrôle spontané et de mettre au point une technique d'élevage dans les conditions de la station d'expérimentation.



Figure 10 : Feuilles de *Phyllostachys aureosulcata* ayant servi à l'infestation des nids de *Schizotetranychus celarius*.



Figure 11 : Adulte d'*Euseius stipulatus* prédatant un nid de *Schizotetranychus celarius* sur le bambou *Phyllostachys aureosulcata*.

Par ailleurs, des travaux conduits par ASTREDHOR Méditerranée sur l'agrosystème du rosier ont suggéré que le maintien de l'auxiliaire *Neoseiulus cucumeris* à différents niveaux de ce système et sa cohabitation avec *Neoseiulus barkeri* et *N. californicus* dans le substrat de culture et la strate végétale constituent une piste d'amélioration prometteuse de la protection durable du rosier. En particulier, les cosses de sarrasin utilisées en paillage constituent pour cet auxiliaire un habitat de choix ; celui-ci est aisé à apporter sur le substrat, économique et renouvelable. Il présente donc un grand intérêt pour favoriser l'auxiliaire.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats des essais conduits par ASTREDHOR sur les habitats et les compléments alimentaires sont très encourageants dans la perspective du développement de méthodes de protection respectueuses de l'environnement répondant aux principes de l'agro-écologie et basées sur le concept des alliances inter et intra-cultures. Ils éclairent les possibilités de nourrissage et d'hébergement d'auxiliaires inféodés, pour favoriser la lutte contre les ravageurs de plusieurs cultures

ornementales et potentiellement maraîchères, comme en zones non agricoles (ZNA) pour la protection d'infrastructures ou d'espaces paysagers.

L'optimisation des combinaisons possibles des différentes méthodes favorables aux auxiliaires (capture de pollen, offre de lieu de ponte, abri contre la prédation, abri microclimatique) permet d'offrir à la fois « un gîte et un couvert » aux auxiliaires de culture et constitue une stratégie innovante de protection adaptée aux besoins de la filière horticole, de la production au paysage.

L'identification de plantes de service, de compléments alimentaires exogènes, d'habitats, et l'identification d'espèces auxiliaires indigènes doit donc se poursuivre pour sécuriser la protection biologique des végétaux dans un fonctionnement économiquement viable.

Les principaux axes de recherche à venir concernent :

- la sélection de gammes d'espèces avec des floraisons étalées qui permettent de couvrir toute la saison de végétation des plantes à protéger, et notamment les périodes du début de printemps où les premières attaques de ravageurs (puçerons en particulier) sont les plus dommageables.
- la recherche d'habitats associés aux compléments alimentaires doit être poursuivie tout en veillant à la faisabilité de l'application tant pratique qu'économique de ces solutions.
- la transposition de cette démarche à d'autres filières agricoles, notamment dans le végétal spécialisé.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Amine S., 2017. Contribution à la protection intégrée de la Rose fleur coupée contre le Thrips californien : Nourrissage d'*Euseius gallicus* et *Neoseiulus cucumeris* avec du pollen de *Typha spp.* En condition méditerranéenne. Mémoire de fins d'études d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage. Agrocampus ouest CFR Angers. Stage de fin d'études réalisé à ASTREDHOR Méditerranée Scradh de février à août 2017.

Bresch C., Bruno Paris, Pia Parolin, 2016. Microhabitats naturels et artificiels pour acariens prédateurs (Phytoseiidae). ISA - Equipe M2P2. Présentation au comité de pilotage du projet HabAlim à ASTREDHOR unité nationale le 26 janvier 2017.

Giordino L., (2015). Les auxiliaires en maraîchage biologique de plein champ : étude sur l'attractivité des aménagements autour des cultures. Maraîchage, l'agriculture biologique en Pays de Loire n°136 avril 2015, 4 pages.

Heraty J.M. and Polaszek A., (2000). Morphometric Analysis and Descriptions of Selected Species in the *Encarsia strenua* Group (Hymenoptera, Aphelinidae). In J. HYM. RES. Vol. 9(1), 2000, pp. 142-169.

Lambion, J. and Franoux, L. (2017). Agroecological infrastructures to enhance the presence of natural enemies against aphids. *Acta Hort.* 1164, 419-424

Neefjes H., 2018. Positieve resultaten in onderzoek en praktijk: bijvoeren roofmijt wordt standard [titre traduit : Résultats positifs dans la recherche et la pratique : le nourrissage des acariens prédateurs devient standard]. In *Vakblad voor de bloemisterij*. N° 11, p. 28-29 (2 p.).

Nomikou M, Sabelis MW, Janssen A. (2010). Pollen subsidies promote withefly control through the numerical response of predatory mites. *Bio Control* 55, 253-260.

Picault S., 2014. Biodiversité fonctionnelle en cultures légumières : vers une gestion agro-écologique des pucerons et des thrips (projet AGATH). Infos-Ctifl (3) n°300, p.45-55.

Ris, N., Ion-Scotta, M., Al Khatib, F., Lambion, J., Warlop, F., Bout, A., (2014). Biodiversités “utile” et “nuisible” dans les agrosystèmes : importance pour la lutte biologique par conservation. Mémoires de la SEF, n° 9, 2014, 35-43.

Villeneuve-Chasset J., & Denis A., (2013). Le pollen consommé par les chrysopes (*Neuroptera, chrysopidae*) et les syrphes (*Diptera, Syrphidae*). Symbioses. 29 17 20.

Villeneuve J., Thierry D., Al Mamun A., Lodé T. & Rat-Morris E. (2005): The pollens consumed by *Chrysoperla lucasina* and *Ch. affinis* (Neuroptera: Chrysopidae) in cabbage crop environment in western France. Aphidophaga 9 Proceedings. European Journal of Entomology 102 (3): 547-562.

Villeneuve J. (2006). Etude de la bio-écologie des névroptères dans une perspective de lutte biologique par conservation : relations entre l'environnement des cultures de choux (végétation et structure paysagère) et l'abondance, la distribution et le comportement, Thèse de Doctorat. Institut National d'horticulture d'ANGERS

Zhao J, Guo X, Tan X, Desneux N, Zappala L, Zhang F, Wang S. (2017). Using *Calendula o cinalis* as a floral resource to enhance aphid and trips suppression by the flower bug *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae). Pest Management Science 73:515-520.

*Les essais conduits par ASTREDHOR dans le domaine du nourrissage des auxiliaires ont été soutenus financièrement par le Ministère en charge de l'agriculture (CasDar), l'Interprofession VAL'HOR et les adhérents des stations d'expérimentation d'ASTREDHOR.*

*Les auteurs remercient la société Flor'Insectes et le laboratoire d'acarologie de Montpellier SupAgro qui ont effectué les identifications des agents auxiliaires et la caractérisation de leurs régimes alimentaires. Ils remercient également la société AgroSciences bioline pour l'expérimentation du complément alimentaire exogène dont elle est dépositaire.*

# Des plantes au service de la protection des cultures, ou comment tirer parti des interactions au sein des écosystèmes

Vincent Prod'homme (ASTREDHOR Sud-Ouest) et Alain Ferre (ASTREDHOR Loire-Bretagne)

Utiliser des « plantes compagnes » ? Ce concept est désormais bien connu du jardinier amateur, de plus en plus tourné vers les méthodes considérées comme naturelles. Et les plantes de services (PdS) ? Ce concept plus large demande, quant à lui, à être explicité car l'éventail des services écosystémiques que ces plantes peuvent rendre est varié : protection des sols et amélioration de leur fertilité, ou contrôle des bio-agresseurs (ravageurs, maladies et adventices). Dans le cadre du développement des modes de production agro-écologiques, les plantes de services constituent un levier de choix.

L'horticulture et le paysage, fortement impliqués dans cette transition, ne sont pas en reste et peuvent s'appuyer sur divers exemples concrets utilisant cette méthode originale. Certains résultats de recherche sont d'ores et déjà transférés ou en cours de transfert auprès des professionnels, d'autres nécessitent encore un travail d'expérimentation et de recherche approfondi.

Deux exemples de stratégies d'utilisation des PdS en horticulture et en situation de paysage sont ici exposés, après une présentation des diverses applications connues de ce concept.

## DEFINITION D'UNE PLANTE DE SERVICES ET DÉNOMINATION DES DIFFÉRENTS TYPES DE PLANTES INTERVENANT DANS LE CONTRÔLE DES RAVAGEURS

<b>Plantes de services</b>	Toute plante non commercialisée installée dans un agroécosystème et lui bénéficiant, que ce soit pour le contrôle des bio-agresseurs (adventices, ravageurs, maladies), pour le climat (ombrage) ou encore pour améliorer la qualité des sols.
<b>Plantes-fleuries</b>	Plantes à corymbe ou grande corolle ouverte attirant les auxiliaires dont les adultes sont floricoles (syrphes, chrysopes, mouches tachinaires...). Ces adultes, une fois attirés dans les cultures, vont y pondre, augmentant ainsi la population des larves prédatrices.
<b>Plantes-pièges</b>	Plantes hypersensibles à un ravageur polyphage. Placés au sein d'une culture moins sensible, les ravageurs vont se regrouper sur les plantes-pièges délaissant les cultures.
<b>Plantes-répulsives</b>	Plantes dont l'odeur éloigne les insectes.
<b>Plantes-réservoirs</b>	Plantes à ravageurs spécifiques attirant et permettant la reproduction des auxiliaires.
<b>Plantes-anémophiles (ou plantes-à-pollen)</b>	Plantes pollinisées par le vent. Le pollen est expulsé de la fleur et se dépose dans les cultures. Ce pollen nourrit les auxiliaires polyphages, principalement les acariens phytoseiides.

*Nota bene* : par convention, nous écrivons les noms de plantes de services avec un trait d'union pour éviter les éventuelles confusions.

## LES DIFFÉRENTS USAGES POSSIBLES DES PLANTES DE SERVICES

D'une manière générale, les infrastructures agro-écologiques (IAE : arbres, haies, bandes enherbées) permettent de créer des refuges et des réservoirs d'auxiliaires. Mais comment rendre la culture plus attrayante que l'aménagement mis en place ? Autrement dit, comment assurer la diffusion des auxiliaires dans la culture ? C'est là l'un des rôles de certaines PdS comme les plantes-fleuries ou encore les plantes-réservoirs.

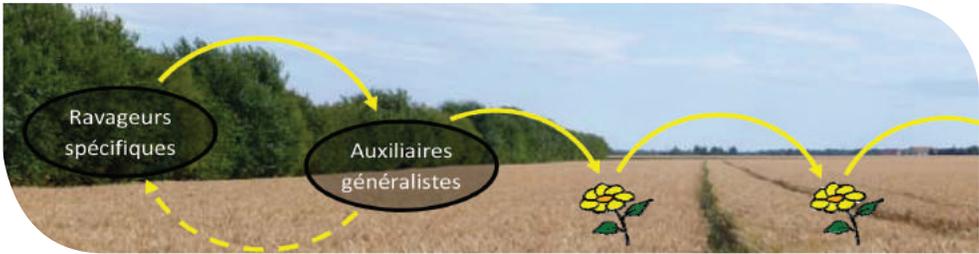


Figure 1 : Schéma des flux souhaités d'auxiliaires entre une IAE (ici une haie) et une culture (ici un champ de blé). Les fleurs symbolisent la présence de plantes de services attractives pour les auxiliaires (plantes-fleuries ou plantes-réservoirs).

Mais leur action ne s'arrête pas là. En tant qu'engrais verts, des PdS contribuent à améliorer la fertilité physique et biologique des sols. Certaines espèces présentent ainsi un intérêt remarquable dans des stratégies d'assainissement des sols : par exemple, l'implantation et l'enfouissement de moutarde brune se révèle être une technique de lutte efficace contre certains champignons telluriques.

Des PdS jouent aussi un rôle sur le climat, comme les végétaux mis en œuvre dans les haies brise-vent qui permettent de protéger les cultures en pépinière ou les Hommes en situation de paysage, ou comme l'effet - de plus en plus mobilisé - de réduction des îlots de chaleur en ville, obtenu par l'implantation d'arbres ou d'arbustes, qui bénéficient à l'ensemble de l'écosystème urbain (incluant l'Homme).

Vis-à-vis des maladies, d'autres PdS jouent en outre un rôle d'indicateur, comme dans le cas du rosier qui permet aux viticulteurs de repérer les périodes favorables à l'oïdium de la vigne.

En aménagement paysager, les plantes couvre-sol permettent de réduire, voire supprimer, le développement des adventices, que ce soit par effet de concurrence (pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs) ou par effet allélopathique (production par le végétal de substances naturelles phytotoxiques pour d'autres espèces). Ces plantes représentent une alternative au désherbage esthétique, efficace et durable qui est donc très prisée.

En production horticole, les PdS s'intègrent surtout, assez logiquement, dans des schémas de protection intégrée ou de lutte biologique. En agissant directement sur le ravageur cible, elles peuvent réguler les populations (plantes-pièges ou répulsives). En agissant sur les auxiliaires, elles favorisent leur installation, leur propagation et leur maintien au sein de la culture. Elles peuvent limiter *de facto* le coût de la Protection Biologique Intégrée (PBI), en réduisant les lâchers d'auxiliaires exogènes sinon en optimisant leur efficacité. Les bons résultats obtenus dans ce cadre méritent d'être aujourd'hui transposés en situation de paysage, ainsi que le suggèrent les deux exemples ci-après.

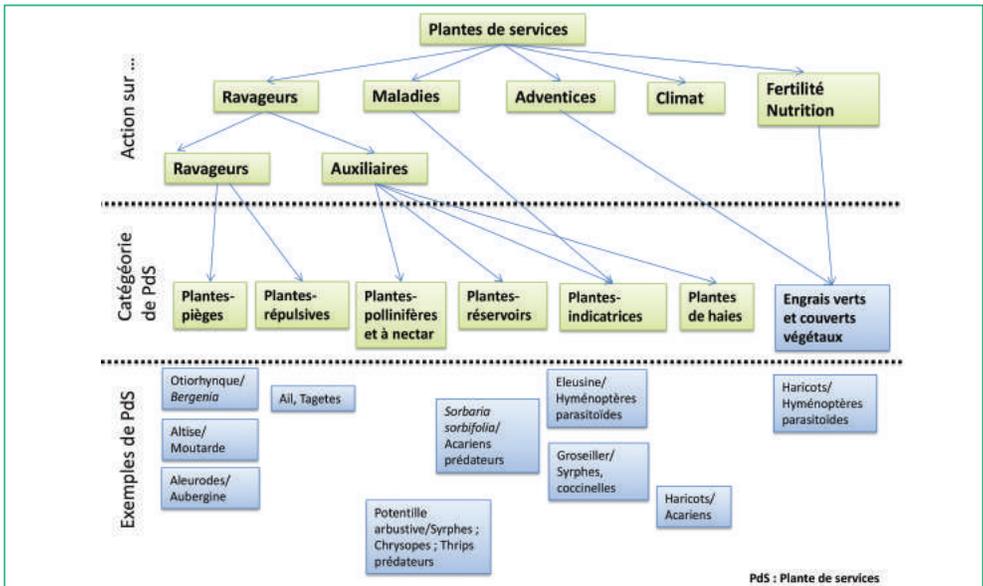


Figure 2 : Types de plantes de services et exemples opérationnels étudiés par ASTREDHOR.

## PLANTES-PIÈGES : UNE ALTERNATIVE SIMPLE ET EFFICACE AUX TRAITEMENTS INSECTICIDES

### PRINCIPE GÉNÉRAL DES PLANTES-PIÈGES

Les plantes-pièges sont des végétaux hypersensibles au ravageur ciblé. Pour que le couple plante-piège / ravageur fonctionne efficacement, le ravageur doit être mobile et polyphage. Disposées au sein ou autour des végétaux à protéger, les plantes-pièges attirent et concentrent les ravageurs. L'étape suivante consiste à détruire les plantes-pièges (et les ravageurs) ou bien à détruire de manière ciblée les ravageurs sur les plantes-pièges. La fréquence d'intervention est identique à la fréquence du cycle du ravageur. Ce type de PdS est donc d'autant plus aisé à mettre en œuvre que le cycle du ravageur est court.

### APPLICATION À LA GESTION DES OTIORHYNQUES

Voici un exemple efficace pour lutter contre l'otiorynque, ravageur problématique des pépinières et des jardins. Ce ravageur ayant un cycle biologique par an, les interventions à prévoir sont minimales avec la stratégie des plantes-pièges.

- Le cycle de l'otiorynque est le suivant : émergence des adultes en mai-juin, ponte de juin à octobre, mort des adultes pendant l'hiver et dormance des larves dans le sol, reprise d'alimentation l'année suivante et nymphose en avril-mai.
- Lorsque les femelles otiorhynques émergent en mai-juin, elles sont attirées préférentiellement par la plante-piège, ici *Bergenia cordifolia*, et négligent les autres végétaux présents.
- Les plantes-pièges sont disposées entre fin avril et début mai, à raison d'un pot tous les 5 mètres, selon une disposition en quinconce au sein des végétaux à protéger.

- Lors de l'émergence, les femelles vont pondre au collet des *Bergenia* épargnant ainsi les racines des plantes à protéger. Les adultes se nourrissent des *Bergenia* et les dégâts directs sur les autres végétaux sont réduits.
- A la fin de l'année, entre octobre et février, les pots de *Bergenia* sont retirés du site et recyclés par voie de compostage industriel (mais surtout ne pas les abandonner sur le « tas » de déchets végétaux de l'exploitation ou du centre de production, qui deviendrait un réservoir à otiorhynques en l'absence d'un procédé de compostage bien maîtrisé (montée en température, homogénéisation, etc.)).
- Ainsi, d'année en année, le niveau général d'infestation diminue.

## OPTIMISATION DE LA MÉTHODE

Les otiorhynques n'aiment pas pondre dans les paillages, en particulier dans la cosse de sarrasin. Par conséquent, en paillant les cultures mais pas les *Bergenia*, l'efficacité de la méthode est encore améliorée.

Par ailleurs, si la destruction des *Bergenia* en fin d'année s'avère impossible pour quelque raison que ce soit, l'ajout au substrat des plantes-pièges de champignons entomopathogènes de type *Metarhizium anisopliae* ou des applications de nématodes entomopathogènes à l'automne et en avril, permet de tuer une bonne partie des larves qui vont éclore dans les pots de plantes-pièges.

On évitera l'utilisation de cette stratégie sous abri (serres, tunnels...). En effet, le *Bergenia* est sensible au puceron polyphage *Macrosiphum euphorbiae* dont le cycle sous abri est généralement très rapide, et le risque de dissémination sur les autres végétaux est grand. En extérieur, ce puceron ne pose pas de problème majeur.

## LES PLANTES-FLEURIES : JOINDRE L'AGRÉABLE À L'UTILE

### PRINCIPE GÉNÉRAL DE L'UTILISATION DES PLANTES-FLEURIES

Cette stratégie se fonde à l'origine sur un constat empirique : le maintien des fleurs en culture de rosiers plein air attire un cortège d'auxiliaires spontanés (syrphes, chrysopes...) qui permet de contrôler rapidement les pucerons, mais aussi les thrips ou certaines punaises phytophages. De là est venue l'idée d'apporter des plantes-fleuries dans les cultures ou massifs non fleuris pour attirer des auxiliaires floricoles qui se nourrissent du pollen et/ou du nectar de ces végétaux. Bien



Figure 3 : *Bergenia* utilisés comme plantes-pièges d'otiorhynques au sein d'une culture de *Cupressocyparis*.



Figure 4 : *Potentilla fruticosa* 'Goldfinger' comme plantes-fleuries en culture de chrysanthème.

sûr, ces plantes de services ne doivent pas attirer les insectes potentiellement ravageurs de la culture ou des massifs à protéger. Un travail de sélection est nécessaire.

Plusieurs essais réalisés par les stations d'expérimentation d'ASTREDHOR ont permis de montrer l'efficacité des *Potentilla fruticosa* 'Goldfinger' dans cette stratégie, notamment du fait de leur longue durée de floraison et du large spectre d'auxiliaires attirés.

## APPLICATION À LA GESTION DES PUCERONS SUR CHRYSANTHÈMES ET ROSIERS

Les exemples de réussites les plus remarquables à ce jour concernent la gestion des pucerons en cultures de chrysanthèmes et de rosiers. Les potentilles doivent être disposées tous les 8 mètres, en quinconce, pour optimiser leur efficacité.

Points d'attention :

- Éviter d'utiliser des plantes-fleuries sous abri car elles peuvent augmenter dangereusement le risque lié aux thrips.
- Vérifier régulièrement que les plantes sont en bonne santé et en pleine floraison. Une plante-fleurie défleurie ne sert plus à rien...

## TABLEAU COMPARATIF DES COÛTS D'ITINÉRAIRES DE PRODUCTION AVEC PLANTES DE SERVICES

Le coût engendré par l'utilisation de plantes de services est souvent assez faible. En effet, l'absence de lâcher d'auxiliaires ou leur concentration sur les PdS réduit fortement les coûts. Dans certains cas, le coût de la pratique peut être inférieur à l'usage de produits phytosanitaires comme le montre le tableau 1.

Culture / ravageur	Plante de services	Coût en € / 1 000 m <sup>2</sup> / mois de culture	Itinéraire classique	Coût en € / 1 000 m <sup>2</sup> / mois de culture	Gain par mois pour 1 000 m <sup>2</sup>
Poinsettia / <i>Trialeurodes</i>	Plante-piège (aubergine)	46 €	Chimique	116 €	70 €
Poinsettia / <i>Bemisia</i>	Plante-piège (melon)	76 €	PBI « classique »	216 €	140 €
Pépinière / Otiiorhynque	Plante-piège ( <i>Bergenia</i> )	18 €	1 chimique + 1 nématode	60 €	42 €
Oranger du Mexique / Tétranyque	Plante-à-pollen	97 €	PBI « classique »	155 €	58 €

Tableau 1 : Coûts d'itinéraires avec plante de services comparés à un itinéraire classique.

## PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Les travaux en cours au sein d'ASTREDHOR visent tout d'abord à transposer la méthode des plantes-pièges à otiiorhynque à des situations de végétaux en plein sol. Ils concernent également d'autres couples plante/ravageur : œillet d'Inde / thrips, groseillier / puceron du cerisier, plantes anémophiles / acariens prédateurs.

Des programmes débutent également pour trouver des PdS adaptées à la réduction de la pression d'autres ravageurs, tels que *Duponchelia fovealis* ou *Heliethrips haemorrhoidalis*. Par ailleurs, d'autres types d'interactions plante/ravageur sont également à l'étude, comme l'effet des plantes-répulsives (par exemple *Tulbaghia violacea*) contre les thrips ou les cicadelles.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Ferre A., 2017. *Tout l'intérêt d'identifier ses parasitoïdes*. 6<sup>e</sup> conférence sur les moyens alternatifs de protection pour une production intégrée. AFPP, Lille, 21-23 mars 2017.

Ferre A., 2017. *Utilisation de plantes de services en culture de concombre bio*. 6<sup>e</sup> conférence sur les moyens alternatifs de protection pour une production intégrée. AFPP, Lille, 21-23 mars 2017.

Ferre A., 2016. Les plantes de service, pivot de la production alternative. *Phytoma*, 691, p. 22-26.

Ferre A., Hebbinckuys T., 2013. Plantes-pièges contre les aleurodes, l'aubergine est-elle bonne contrôleuse ? *Phytoma*, 661, p. 22-27.

Ferre A., 2012. Des plantes fleuries pour protéger de futures fleurs en « PBI plein air ». *Phytoma*, 651, p. 21-24.

Ferre A., 2011. *Utilisation de plantes-pièges pour contrôler Bemisia tabaci (Gennadius)*. 9<sup>e</sup> Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. AFPP, Montpellier, 26-27 octobre 2011.

Ferre A. et Gourlay A., 2011. *Utilisation de plantes-fleuries au sein de cultures non fleuries en protection intégrée par conservation*. 4<sup>e</sup> conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures. AFPP, Lille, 8-10 mars 2011.

Ferre A., 2010. Protection biologique intégrée en extérieur : principes et idées reçues. *PHM*, 520, p. 29-31.

Ferre A., 2008. Lutte contre les aleurodes grâce à des plantes-pièges. *PHM*, 507, p. 28-33.

Ferre A., 2008. La PBI en culture extérieure ou sous abri ouvert. *PHM*, 506, p. 26-32.

*Les travaux de recherche d'ASTREDHOR dans le domaine des plantes de services ont été financés par le Ministère en charge de l'agriculture (CasDar), FranceAgriMer et les Conseils régionaux des Pays de la Loire, de Bretagne, de Nouvelle Aquitaine, d'Ile-de-France, de PACA, et du Grand Est.*





# Chapitre 3

---

MAÎTRISE DES ADVENTICES,  
ALTERNATIVES AU DÉSHÉRBAGE CHIMIQUE



# Les techniques de paillage des végétaux horticoles

Sophie Bresch (ASTREDHOR Loire-Bretagne)  
et Anaïs Marie (ASTREDHOR Seine-Manche)

Le paillage consiste à recouvrir le sol ou le substrat au pied des plantes au moyen de matériaux, biodégradables ou non. Son objectif principal est de lutter contre les adventices et par conséquent de concourir à réduire l'utilisation des herbicides. Par ailleurs, sa durée d'action est généralement bien supérieure à celle d'un herbicide, dont la rémanence n'excède pas quelques mois.

Au-delà de son action contre les adventices, le paillage présente de nombreux autres avantages :

- il permet de réduire les arrosages par limitation de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol ou le substrat.
- il protège le sol ou le substrat contre les intempéries et maintient sa porosité.
- il améliore la précocité des cultures grâce à un effet d'isolant thermique.
- il contribue à l'amélioration de l'aspect visuel des produits lors de la commercialisation pour les cultures en pot.
- il favorise la vie microbienne du sol.
- enfin, il constitue un abri pour les auxiliaires des cultures durant la phase hivernale et favorise leur conservation au plus près des végétaux.

Cet article présente une synthèse des résultats des travaux de recherche conduits depuis plusieurs années par ASTREDHOR sur la comparaison de différentes techniques de paillage, d'une part pour les cultures hors-sol en production, d'autre part pour les végétaux en pleine terre, qu'il s'agisse de végétaux de pépinière ou de végétaux en situation de paysage.

## PAILLAGE DES CULTURES HORS-SOL

---

Le paillage des cultures en conteneurs s'est largement développé depuis quelques années. De nombreux types de paillis sont disponibles sur le marché avec des efficacités tout à fait satisfaisantes à condition de respecter certaines règles dans le choix des produits et d'utilisation.

### CRITÈRES DE CHOIX DU PAILLIS

Le choix du type de paillis d'une culture en conteneurs repose sur quatre critères :

- taille du conteneur : une granulométrie fine sera préférée pour les conteneurs de petit litrage. Les disques de paillage seront plutôt utilisés pour les conteneurs de grande taille.
- possibilité de mécanisation de l'application (figures 1 et 2) : certains paillis, même fluides, ne conviennent pas à une mécanisation, souvent à cause de leur granulométrie.
- systèmes de culture et tendance à la verse : certains paillis fluides n'adhèrent pas suffisamment à la surface du substrat et peuvent verser en dehors du conteneur si ces derniers tombent sous l'effet du vent.

- destination commerciale des plants : l'aspect esthétique des conteneurs en fin de culture est à considérer dans le cas d'une vente directement auprès du consommateur final. Un paillis qui noircit ou se dégrade durant la phase de culture pourra nuire à l'esthétique du produit final.



Figures 1 et 2 : Mécanisation de l'application pour les paillis fluides.

## PRINCIPAUX TYPES DE PRODUITS DISPONIBLES

On trouve actuellement trois principales familles de produits de paillage pour les végétaux en conteneurs :

- **les paillis en vrac** (figure 3), dont la pose est souvent mécanisable à l'aide d'une mulcheuse. Une faible granulométrie sera préférée pour les conteneurs de petit à moyen litrage avec une répartition homogène à la surface des pots. Une épaisseur de 2 à 3 cm minimum est nécessaire pour assurer une efficacité optimale et il est préférable d'utiliser un paillis dépoussiéré. Enfin, pour certains paillis livrés en balles compactées, il est nécessaire de prévoir une défourneuse en amont de la mulcheuse.
- **les disques de paillage** (figure 4) : la pose est manuelle, ce qui constitue un inconvénient majeur. Toutefois, si la pose est soignée, l'efficacité contre les adventices est optimale. Le diamètre du disque doit être adapté au contenant, un disque trop grand créant un effet «parapluie» défavorable à un arrosage efficace et un disque trop petit ne limitant pas le développement des adventices sur le pourtour du conteneur.
- **les paillis déshydratés** : leur mise en place est facile, rapide et mécanisable dans certains cas. Leur principal avantage tient dans leur tenue à la verse car une fois réhydratés, ils forment une croûte à la surface des pots. En revanche, il est primordial de les doser correctement car certains produits gonflent beaucoup après arrosage.



Figure 3 : Exemple de paillis fluide (coques de fèves de cacao).



Figure 4 : Exemple de disque de paillage (Thermodisc).

Les tableaux 1 à 3 (ci-après) présentent les caractéristiques d'un certain nombre de produits facilement disponibles dans le commerce.

<b>PAILLAGES EN VRAC</b>							
PRODUIT	COMPOSITION	APPLICATION	EFFICACITÉ	DEGRADATION	ESTHETIQUE	REMARQUES	INTERET*
Chanvre	Paillettes, copeaux de chanvre ou chènevotte	Facile et mécanisable sauf quand vendu en balle compacte 2-3 cm d'épaisseur	Bonne efficacité (si faible granulométrie et produit dépoussiéré)	Pas de tassement Pas de verdissement	Bonne Produit clair	Levée de chanvre possible Attire les oiseaux Peu sensible à la verse après 2-3 arrosages	+++
	Lin						
Miscanthus en copeaux	Paille de miscanthus différentes granulométries : 10-20 mm, 30-40 mm ...	Facile et mécanisable Plus ou moins poussiéreux 2-3 cm d'épaisseur				Peu sensible à la verse après 2-3 arrosages	+++
Coques de fèves de cacao	Coques de fève de cacao	Application facile et mécanisable Plus ou moins poussiéreux et odorant 2-3 cm d'épaisseur	Bonne efficacité Préférer produit dépoussiéré	Développement d'un feu-trage mycélien blanc en début de culture	Faible	Attire fortement les oiseaux Non sensible à la verse après 2-3 arrosages car s'agglomère Augmente la conductivité : jaunissements sur <i>Bixus</i> , <i>Taxus</i>	++

\* facilité d'application, tenue dans le temps, tendance à la verse, efficacité contre les adventices

PAILLAGES EN VRAC (SUITE)							
PRODUIT	COMPOSITION	APPLICATION	EFFICACITÉ	DEGRADATION	ESTHETIQUE	REMARQUES	INTERET*
Cosses de sarrasin	Cosses de sarrasin	Application facile et mécanisable mais poussièreux 1-2 cm d'épaisseur	Bonne efficacité	Pas de tassement Pas de verdissement	Moyenne Produit foncé	Léger et très fin Convient bien sur des petits litrages, vivaces et graminées Sensible à la verse Attire les oiseaux	++
Fibres de bois	Plaquettes de bois chauffées et défibrées	Application difficile, mécanisation possible si bien décompactée 2-3 cm d'épaisseur	Bonne efficacité	Tassement important Verdissement	Faible	Attire les oiseaux Non sensible à la verse Intéressant sur des gros litrages Fourni compacté	++
Ecorces de bois coloré	Copeaux de pin 2-10 mm Écorces de pin 10-25 mm et 20-40 mm	Application facile et mécanisable 2-3 cm d'épaisseur	Bonne efficacité	Peu de tassement Bonne tenue	Bonne Produit coloré brun	Peu sensible à la verse Verdit si stocké à l'humidité	+++
Plaquettes de bois	Plaquettes de bois calibrées (épicéa, pin, peuplier, chêne...) 4-10 mm, 0-20 mm 8-20 mm	Application facile et mécanisable notamment pour faible granulométrie 2-3 cm d'épaisseur	Préférer faible granulométrie	Pas de tassement Pas de verdissement	Bonne Produit clair Certains produits sont teintés	Attire les oiseaux Faible granulométrie Non sensible à la verse Traitement thermique pour certains produits Durée de vie variable entre 2 à 3 ans	+++ (++ à + si forte granulométrie)

\* facilité d'application, tenue dans le temps, tendance à la verse, efficacité contre les adventices

PAILLAGES EN VRAC (FIN)							
PRODUIT	COMPOSITION	APPLICATION	EFFICACITÉ	DEGRADATION	ESTHETIQUE	REMARQUES	INTERET*
Plaquettes papetière + fibre de bois	Copeaux de pins et fibre de bois 0-30 mm	Application difficile Compact, grossier	Bonne efficacité	Léger tassement Bonne tenue Faible verdissement	Bonne	Peu sensible à la verse Efficacité intermédiaire entre copeaux de bois seuls et fibre de bois seule	++
Copeaux de bois grossiers	Copeaux de bois grossiers 20-30 mm	Application et dosage difficile Mécanisable 3-4 cm d'épaisseur	Efficacité moyenne car copeaux grossiers	Léger tassement Très bonne tenue	Bonne		+
Granulats d'ardoise expansée	Ardoise expansée sous l'effet de la chaleur	Application manuelle facile 2 à 3 cm d'épaisseur	Bonne efficacité	Très bonne tenue	Très bonne	Sensible à la verse Produit assez lourd (transport des conteneurs)	++

\* facilité d'application, tenue dans le temps, tendance à la verse, efficacité contre les adventices

DISQUES DE PAILLAGE							
PRODUIT	COMPOSITION	APPLICATION	EFFICACITÉ	DEGRADATION	ESTHETIQUE	REMARQUES	INTERET
Ecodisc	60 % fibres de jute recyclées – 30 % fibres de coton recyclées – 10 % de fibres polypropylène fondues = liant	Pose manuelle facile et rapide Non mécanisable	Efficacité acceptable malgré dégradation assez rapide	Dégradation rapide	Peu esthétique en fin de saison	Peu sensible au vent après 2-3 arrosages	+++
Disques de coco	100 % fibres de coco Liant = couche de latex sur 1 côté à poser face au sol	Pose manuelle facile et rapide Attention au sens de pose Non mécanisable	Bonne efficacité	1 saison	Bonne	Peu sensible au vent Peu devenir support aux adventices (cardamine, séneçon) Dégradation du liant rapide pour certains produits Différentes épaisseurs conditionnant la durée de vie	+++
AW-Disk LD et HD	Fibres de coco Fibres de sisal et jute	Pose manuelle facile et rapide Non mécanisable	Bonne efficacité	> 1 saison 14 à 18 mois	Moyenne	Peu sensible à la verse Peu devenir support aux adventices (cardamine, séneçon)	+++
Thoredisc Thermodisc	90 % fibres végétales 10 % fibres synthétiques	Pose manuelle facile et rapide Non mécanisable	Bonne efficacité	1 saison	Bonne	Disque bien découpé Peu sensible au vent après 2-3 arrosages Sèche en cours d'hivernage, très difficile pour arroser la plante	+++
Geodisc	Fibres textiles traitées au Spin-out (cuivre)	Pose manuelle facile mais très longue car nécessite un agrafage Très léger Non mécanisable	Très bonne efficacité	Non biodégradable	Très bonne	Très léger donc très sensible au vent, nécessite un agrafage Très résistant d'où difficultés pour enfoncer les goutteurs et tuteurs	++

PRODUITS DE PAILLAGE DÉSHYDRATÉS								
PRODUIT	COMPOSITION	APPLICATION	EFFICACITÉ	DEGRADATION	ESTHÉTIQUE	REMARQUES	INTERET	
Bouchons de paille de céréale	Granulés de paille broyée et compressée (paille de blé, paille de froment, paille de miscanthus...)	Pose manuelle facile et rapide Mécanisation difficile car faible dosage et rebondit sur la mulcheuse et le substrat	Bonne efficacité si bonne régularité de mise en place	1 saison	Bonne	Non sensible à la verse : forme une croûte en surface Ne pas surdoser car entraîne la pourriture du collet, des débordements, attire les oiseaux. Attention au dosage car le produit gonfle a près arrosage	++	
Paille broyée	Mélange de paille broyée et de mouillant	Pose délicate : mélange formant une pâte rigide après arrosage	Baisse d'efficacité en fin de saison	Dégradation rapide, accentuée par les pluies	Bonne	Non sensible à la verse	+	
Pailis d'écorces fines	Écorces de pin broyées très finement	Pose délicate : poudre fine à appliquer sur le substrat puis arroser très finement pour former une pellicule rigide	Baisse d'efficacité en fin de saison	Dégradation rapide, accentuée par les pluies	Bonne	Non sensible à la verse N'attire pas les oiseaux	+	

Tableaux 1 à 3 : Paillages hors-sol évalués par ASTREDHOR – Liste non exhaustive.

## ADAPTATION DE L'ITINÉRAIRE TECHNIQUE EN CULTURES PAILLÉES

L'utilisation d'un paillage nécessite d'adapter les volumes et les fréquences d'arrosage afin d'éviter les phénomènes d'asphyxie racinaire et les excès d'eau au niveau du collet.

De même, certains paillages peuvent être consommateurs d'azote et il convient d'en tenir compte dans le calcul des apports d'engrais (l'azote peut également être apporté par la correction de l'eau avec acide nitrique pour les eaux chargées en bicarbonates).

## PAILLAGE DES MASSIFS ET DES PRODUCTIONS DE PLEINE TERRE

Que ce soit en jardins, espaces verts et infrastructures (JEVI) ou en production de pépinière, le paillage constitue une alternative intéressante aux herbicides pour les végétaux en pleine terre. Le choix du paillis va dépendre de plusieurs facteurs dont le devenir du produit en fin de vie (enfouissement ou retrait), la sensibilité éventuelle de l'espèce végétale à pailler, les caractéristiques du sol et le coût du produit.

Trois grands types de paillis sont utilisables en pleine terre :

- **les toiles de paillage** : hormis les paillages plastiques ou textiles, il existe maintenant dans le commerce un grand nombre de toiles dont certaines sont biodégradables en fibres végétales à base de chanvre, de coco... La norme NFU52-001 fixe les exigences pour qu'un paillage puisse être défini comme biodégradable. Les textures plastiques sont adaptées aux cultures longues, les textures fibreuses conviennent aux cultures courtes inférieures à 2 ans. On sera attentif au fait que selon sa composition et son épaisseur, ce type de paillage peut éventuellement limiter l'infiltration de l'eau dans le sol.
- **les paillis minéraux** conviennent assez bien à un usage en espaces verts ou jardins du fait de leur aspect décoratif. Ils ont une durée de vie très longue et favorisent le réchauffement du sol. On trouve des produits variés dans cette catégorie de paillis : la pouzzolane, les billes d'argile, les granulats d'ardoise expansée, les galets...
- **les paillis organiques fluides** sont utilisés en espaces verts mais également en production. On peut citer notamment, sans que cette liste soit exhaustive, le Bois Raméal Fragmenté (BRF), les copeaux de miscanthus, la paille de lin, la paille de blé...

Les travaux d'expérimentation d'ASTREDHOR ont montré que l'utilisation de la plupart des produits de paillage de ce type sur des végétaux horticoles produit des bénéfices certains sur le sol, avec une amélioration de sa structure et de la vie biologique.



Figure 5 : Paillage de miscanthus sur rosier de jardin.



Figure 6 : Paillage de miscanthus sur *Ligustrum ovalifolium*.

Pour une efficacité optimale contre les adventices, l'épaisseur du paillis doit être comprise entre 8 et 10 cm. Toutefois, certaines espèces d'adventices (liserons, chardons) parviennent quand même à traverser ces paillis.

Cette épaisseur importante n'est pas sans conséquences sur la culture mais des adaptations sont possibles. Pour des cultures sensibles comme les espèces méditerranéennes ou des boutures de bois sec par exemple, il peut être nécessaire d'appliquer le paillis en deux fois. En effet, une épaisseur trop importante peut « étouffer » les plants à peine démarrés et entretenir une humidité excessive au niveau du collet.

Dans certains cas, la fertilisation doit être adaptée afin d'éviter les faims d'azote. Par exemple, sur une culture en planche, avec un paillage à base de copeaux de miscanthus, il est nécessaire de positionner des engrais à libération progressive sous le paillis car la fertilisation par épandage sur le paillis n'a aucune efficacité.

Enfin, compte tenu des volumes nécessaires (500 m<sup>3</sup>/ha par exemple pour les copeaux de miscanthus), cette pratique ne peut être rentable que si le paillis est produit sur place ou disponible dans un périmètre très proche.

Pour finir, certains paillis incorporés au sol en fin de culture peuvent induire des phénomènes de « faims d'azote ». La problématique se pose d'autant plus lorsque les volumes de paillis appliqués par unité de surface sont importants. Des travaux sont actuellement en cours pour évaluer le délai de rotation nécessaire entre deux cultures. En l'absence de rotation longue, la préconisation reste donc de retirer un maximum de paillis avant de préparer la culture suivante.

## POUR ALLER PLUS LOIN

ASTREDHOR Seine-Manche, 2017. *Paillages en cultures hors-sol*. Arexhor Seine-Manche, Terres-de-Caux, 12 p.

*Les essais conduits par ASTREDHOR sur les paillages des végétaux horticoles ont été soutenus financièrement par FranceAgriMer, les Régions Centre-Val de Loire, Pays de la Loire, Normandie et Ile-de-France et les adhérents d'ASTREDHOR.*



# Méthodes physiques de désherbage : désherbage mécanique

Vincent Calvarin (ASTREDHOR Seine-Manche)

et Isabelle Vandernoot (Conseil horticole d'Ile-de-France/Chambre d'Agriculture de la région Ile-de-France, conseillère labellisée d'ASTREDHOR)

Le maintien et le contrôle de la flore adventice spontanée est aujourd'hui un enjeu important, pour les pépinières de pleine terre comme pour les jardins, espaces verts et infrastructures (JEVI) gérés par les collectivités locales. Entre les restrictions d'usage applicables chez ces derniers et les retraits de matières actives pour les autres, la gestion de ces espaces passe désormais par l'utilisation de méthodes alternatives aux herbicides de synthèse. Les contraintes étant différentes pour les producteurs et pour les collectivités, les outils le sont également. Un panel des différents outils de désherbage mécanique disponibles pour ces acteurs est présenté ci-après.

## DÉSHERBAGE MÉCANIQUE EN PÉPINIÈRE DE PLEINE TERRE

La difficulté du désherbage mécanique en pleine terre réside dans la grande diversité des végétaux en production. Cela nécessite de nombreuses adaptations des outils afin d'obtenir la meilleure combinaison possible matériel/culture pour chaque cas particulier d'entreprise. Ainsi, les solutions envisageables de désherbage mécanique ne seront pas les mêmes suivant la taille des végétaux en production (jeune plant, écusson de pied, arbuste, tige transplantée) et leur forme (ramifié de pied, conifère, tige...), l'écartement entre les rangs (travail en planche, rangs de 0,80 à plus de 4 m), le type d'adventices rencontré (annuel, bisannuel, vivace) ou encore la texture du sol (sableux, sablo-limoneux, limono-argileux). Deux zones de travail du sol nécessitent des approches différentes : entre les rangs de culture (inter-rang), et sur le rang entre les plantes.

### DÉSHERBAGE MÉCANIQUE DE L'INTER-RANG

Sur l'inter-rang, un nombre croissant de producteurs ont aujourd'hui recours à un enherbement pour maîtriser le développement des adventices. Toutefois, le choix des espèces implantées entre les rangs devra être raisonné (croissance lente, portance des engins...) et lorsque les rangs sont étroits, le travail mécanique du sol sera privilégié afin de limiter la concurrence entre l'enherbement et le développement des cultures.

#### Rotovator et fraise

Ces engins travaillent le sol en émiettant grâce à un système de dents rotatives. L'avantage de ces outils est la possibilité de doser le degré d'émiettement du sol en fonction de la densité des adventices à détruire. Ces outils permettent aussi de procéder, au cours du même passage, à l'incorporation homogène de matières organiques telles que du fumier, de l'engrais vert ou des repousses.

Dans les terrains limono-argileux, le rotovator et la fraise sont à éviter car, en émiettant trop finement le sol, ils vont dégrader sa structure et augmenter la battance. Il y a alors un risque significatif d'asphyxie racinaire, et à plus long terme, de difficultés de développement des organismes du sol (flore microbienne, vers de terre...). Dans ce type de sol, il ne sera recommandé qu'un seul passage de rotavator ou de fraise en début de saison pour casser la croûte de battance. Par ailleurs, dans tous les types de sol, ces outils ne devront pas être utilisés en présence de vivaces car ils vont les multiplier en sectionnant les racines en de nombreux fragments.

### Bineuses et outils à dents fixes

Les bineuses et outils à dents fixes ont deux actions principales : le désherbage et l'amélioration de la structure du sol. En effet, selon la taille et la forme des dents, ces outils vont permettre de griffer le sol plus ou moins profondément, voire de travailler en profondeur (attention, si le sol est remué trop profondément, il peut être difficile de faire des mottes). Des dents avec pattes d'oie larges servent à éclater la structure du sol (par exemple, Actisol). Des dents longues et larges, du type sous-soleuse, permettent de casser la semelle de labour et favorisent des écoulements d'eau profonds.

L'efficacité des outils à dents sera meilleure sur des parcelles peu sales et en présence d'adventices peu développées. Les conditions météorologiques sont également importantes car le travail du sol ne pourra se faire ni en terrain trop humide (passage de tracteur impossible), ni en terrain trop sec (force de traction nécessaire trop importante, faible pénétration des dents et lissage du sol). Ainsi, des passages réguliers sont nécessaires à une bonne efficacité, ce qui exige de la disponibilité et de la réactivité de la part du producteur par rapport aux conditions météorologiques et aux stades de développement des adventices. Le terrain doit être peu caillouteux au risque d'user prématurément les dents, avoir peu de résidus végétaux (boure les dents) et être relativement plan.

Des modèles d'outils à dents équipés de détecteurs ou de caméras assurant un pilotage automatique et précis font leur apparition (Opti Bine, Gaford...). Certains peuvent travailler des cultures en planches ou l'inter-rang et le rang en un seul passage. Ces matériels développés en maraîchage ou en grandes cultures demandent quelques adaptations pour la pépinière, mais offrent des perspectives intéressantes aux professionnels par rapport aux contraintes de disponibilité de main d'œuvre soulignées précédemment.

### DÉSHERBAGE MÉCANIQUE SUR LE RANG

Comme expliqué précédemment, la réussite du désherbage mécanique sur le rang sera d'autant plus efficace que le travail du sol sera réalisé tôt au printemps afin de détruire les adventices aux stades juvéniles et ainsi éviter de devoir recourir à un herbicide chimique localisé ou à un binage manuel. Deux types de bineuses sont bien adaptés au travail sur le rang tandis que se développent depuis peu des solutions robotisées.

#### Bineuse intercepts

Le principe de la bineuse intercepts est de biner sur le rang et de s'escamoter lorsque



Figure 1 : Bineuse intercepts.

l'engin rencontre un tronc, grâce à un système de palpeurs. Ce matériel peut être couplé à un travail mécanique sur l'entre-rang à l'aide de bineuses à doigts (par exemple pour arbustes cultivés sur rangs étroits) ou d'engazonnement contrôlé.

Les palpeurs intercepts peuvent être à déclenchement électrique ou hydraulique. Le système à déclenchement électrique est plus sensible et réactif (vitesse d'escamotage plus rapide), il est donc recommandé pour les jeunes plantes assez souples. En revanche, ce système n'est pas adapté aux cultures basses et sensibles aux contacts tels que les plants greffés ou ramifiés de la base ou encore les conifères.

La bineuse intercepts nécessite tout particulièrement de travailler aux stades précoces de développement des adventices. En effet, si l'adventice est trop développée, le palpeur s'escamote comme s'il s'agissait de plantes en culture. De plus, si les adventices sont trop nombreuses, elles bourrent le matériel, les palpeurs reviennent difficilement en place et il y a de forts risques de blesser les plantes.

Il existe différentes dimensions de châssis porte-intercepts selon la largeur de l'entre-rang des cultures à travailler : jeunes plants, arbustes (0,80 à 1,20 m), tiges et transplantés (1,50 à 3-4 m). Les intercepts peuvent également être montés sur enjambeur.



Figure 2 : Bineuse à doigts.

### Bineuses à doigts

Le principe de cet outil est le passage de disques à doigts en caoutchouc (Kress), montés sur un châssis de planteuse ou sur un enjambeur sur le rang. Il existe différents niveaux de souplesse des doigts et de largeur de disques, à adapter selon les cultures et le type de sol. En pépinière sont privilégiés les doigts de dureté intermédiaire (disque orange) qui ne blesseront pas les végétaux en culture contrairement aux doigts durs (disque rouge). Les doigts les plus souples (disque jaune) ne seront utilisables que dans des sols légers (sableux ou sablo-limoneux) ou à préparation de surface très fine (maraîchage).

Les bineuses à doigts sont particulièrement adaptées pour passer sur les jeunes plants d'arbustes ou les petites plantes (lavandes, chrysanthèmes...) sans les blesser. Les plantations réalisées à la machine, avec un même écartement et un même nombre de rangs en facilite l'usage, mais il faut utiliser un autre matériel, comme une bineuse intercepts, quand les plantes grandissent.

### Robot de désherbage

La robotique est de plus en plus présente au sein des entreprises, et représente certainement une voie d'avenir dans le domaine du désherbage. A l'heure actuelle, le robot Oz est le seul outil commercialisé de ce type. Il a été développé par une entreprise française, Naïo Technologies. L'intérêt de ce matériel est de réduire le temps d'intervention et la pénibilité du travail, et de supprimer les risques associés aux produits phytopharmaceutiques pour les applicateurs et pour l'environnement. L'avantage agronomique majeur des robots est de pouvoir passer en continu dans les parcelles, sans mobiliser le personnel, et donc de contrôler les adventices dès leurs premiers stades de développement. Le guidage du robot repose sur un balayage laser et des caméras qui détectent

le couloir de culture. L'outil fait demi-tour quand il ne détecte plus de végétaux en bout de rang. Il est équipé de capteurs de contact pour s'arrêter en cas de collision.

Les outils de travail du sol équipant le robot sont variés (lames, herses étrilles pour l'inter-rang, brosses pour butter sur le rang, pare-feuilles pour ne pas abîmer les cultures basses) et permettent de s'adapter à des contextes variés. D'autres robots sont en cours de développement pour le secteur agricole (Bonirob®, Sitia®, Kneverland®, Ecorobtix®...). Moyennant quelques adaptations, on peut déjà envisager de les utiliser en pépinière dans un avenir assez proche.

## DÉSHERBAGE MÉCANIQUE EN JEV

Dans les collectivités locales, l'heure n'est plus à la réflexion : les restrictions d'usage sont effectives depuis le 1<sup>er</sup> juin 2018. Les actions à mettre en place sont variables en fonction des effectifs d'agents disponibles, mais il est indéniable que sans mécanisation, la tâche est ardue. L'avantage global des matériels disponibles est l'efficacité immédiate dès la fin de l'intervention, mais leur inconvénient majeur est lié à la faible persistance d'action par rapport à la repousse des adventices.

### TROTTOIRS, ALLÉES, SURFACES PAVÉES ET CANIVEAUX : LA BROSSÉ

Les systèmes à brosse agissent par un effet mécanique sur la partie superficielle du sol. Ils éliminent les parties aériennes des adventices, et arrachent parfois le système racinaire des plus petites plantes. Ces outils sont compacts et facilement transportables. Il existe même des modèles portatifs, à brosse poussée ou à brosse tractée.



Figure 3 : Balayeuse (Fredon BN).



Figure 4 : Balayeuse Poget (Fredon BN).

Les modèles compacts peuvent être associés à une batterie électrique. Pour des raisons d'ergonomie et de prévention des troubles musculo-squelettiques (TMS), on préférera les modèles portatifs à batterie dorsale. L'inconvénient de ces appareils est qu'ils nécessitent en général un ramassage des déchets végétaux produits. Il est possible de choisir la dureté des brosses et leur vitesse de rotation, ce qui permet d'adapter l'outil à la nature du sol. Il existe ainsi des brosses en polypropylène, plus souples, adaptées aux zones accidentées et fragiles (pavées, bétons...), tandis que les brosses métalliques sont plutôt destinées aux chaussées et caniveaux. Certains modèles sont équipés de brosses d'angle pour les finitions dans les creux des caniveaux ou aux pieds de murs.

Le bon réglage de ces outils est primordial pour limiter l'usure de la brosse, qui ne doit qu'effleurer les surfaces à désherber. La durée de vie d'une brosse varie de quinze à une centaine d'heures. Les risques de projections, problématiques en particulier sur les parkings, sont importants avec ces outils. De plus, ils peuvent engendrer une dégradation de certaines surfaces ou des joints en mauvais état. Par conséquent, leur utilisation doit se faire avec discernement et sera complétée avec des outils spécifiques pour les surfaces nécessitant une attention particulière (voir ci-après).

## **TRAITEMENT DES SURFACES STRUCTURABLES**

### **Châssis pistes et combinés multifonctions**

Ces machines sont utilisables sur terre, surfaces stabilisées, gravillons ou schistes... Equipées de griffes, de disques, de herses ou de lames, elles travaillent le sol sur 1,5 à 10 cm, selon la nature du sol et le stade de développement des adventices (en particulier leur profondeur d'enracinement). Il faut veiller à ne pas réaliser un travail trop en profondeur, qui pourrait avoir l'effet inverse de celui escompté en levant la dormance du stock semencier, sauf à viser précisément l'effet classiquement connu sous le nom de « faux-semis », qui est également une pratique intéressante pour la maîtrise des adventices. Ces systèmes combinés présentent l'avantage, non négligeable, de remettre en état la structure des surfaces.

### **Désherbage mécanique à sabots rotatifs**

Cet équipement déracine les adventices grâce à des outils travaillant le sol sur quelques centimètres de profondeur. Il a toutefois tendance à dégrader les surfaces ; un ramassage des résidus végétaux ainsi qu'un damage sont nécessaires après son passage.

## **PETITES ET MOYENNES SURFACES : LE DÉBROUSSAILLAGE**

Les outils manuels de débroussaillage sont bien connus depuis longtemps des gestionnaires d'espaces verts et d'infrastructures. Leurs évolutions récentes, notamment sur le point de l'ergonomie, en font une solution toujours d'actualité pour la maîtrise des adventices très développées.

### **Réciprocator**

Ce système à double lame circulaire à dents est utilisé essentiellement pour le désherbage mécanique des bordures de parking car il évite les projections.

### **Débroussailleuse**

Plutôt préconisée pour les finitions autour des arbres ou sur massifs et talus, la débroussailleuse nécessite de nombreux passages et beaucoup de main d'œuvre.

### **La binette**

Les outils à main restent d'actualité, avec des évolutions en termes d'ergonomie. Ils sont à réserver pour les sols pénétrables. Des modèles électriques portatifs pour réaliser un binage assisté se développent.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

Pour obtenir un résultat esthétique identique à un traitement chimique conventionnel, le temps nécessaire de mise en œuvre sera toujours supérieur avec l'utilisation de méthodes alternatives à l'utilisation d'herbicides. Des solutions existent néanmoins pour toutes les situations, toujours avec des adaptations, en fonction des spécificités de production ou des moyens humains disponibles. Il n'existe pas de solution idéale et ce sont souvent les impératifs économiques qui seront déterminants dans le choix de la méthode.

### POUR ALLER PLUS LOIN

Aberton N., Louis N., Roussennac J.P., 2017. Réglementations et technologies : des évolutions qui interagissent. *Matériel & paysage*, 126, p. 36-66.

Anonyme, 2014. Gratter pour mieux désherber ! *Horticulture & paysage*, 155, p.52-53.

Anonyme, 2016. Désherbage de la voirie : tour d'horizon des solutions alternatives. *Horticulture & paysage*, 174, p. 54-57.

Anonyme, 2017. Désherbage de la voirie : les brosses remplacent les molécules ! *Espace public & paysage*, 177, p. 53-55.

Beros M., 2016. Les alternatives au désherbage chimique. *Référence horticole*, H.S., 14 p.

Conseil horticole, 2018. Suivi des cultures en pleine terre. *Flash spécial*, 9, 5 p.

Graindorge J., 2016. Le désherbage mécanique et son panel de techniques. *Techni.Cités*, 294, p. 36-37.

Horti-Pépi, 2015. *Robot de désherbage autonome en pépinière : une alternative au désherbage chimique ?* Horti-Pépi, Caen, 2 p. [en ligne].

Nollet J.P., 2015. Désherbage mécanique : un impact modéré sur l'environnement. *Paysage actualités*, 381, p. 32-33.

Plante & Cité. *Résultats des programmes Compamed ZNA et Compamed Santé* [en ligne] [www.compamed.fr](http://www.compamed.fr)

# Plantes couvre-sol et valorisation des effets allélopathiques

Paul Bécart (ASTREDHOR Seine-Manche)  
et Jérôme Coutant (ASTREDHOR Méditerranée)

Depuis le lancement du premier plan Ecophyto et l'entrée en vigueur de la loi Labbé au 1<sup>er</sup> janvier 2017, l'utilisation des produits phytosanitaires dans les collectivités et en milieu horticole s'est très fortement réduite, voire a été abandonnée.

En jardins, espaces verts et infrastructures (JEVI), cette évolution s'explique également par des budgets de fonctionnement et d'entretien de plus en plus restreints malgré un besoin en espaces verts accru, exprimé par des attentes sociétales fortes de naturalité, d'embellissement et de fonctionnalité du cadre de vie. Paradoxalement, ces attentes peuvent se traduire par une faible tolérance des usagers vis-à-vis de la flore spontanée, dans un contexte où les collectivités sont confrontées à la difficulté de remobiliser des agents techniques pour le travail peu valorisant de désherbage manuel, le tout sur des sols urbains anthropisés et généralement pauvres et compactés, et présentant de nombreuses zones difficiles d'accès.

En milieu horticole, le retrait du marché d'un nombre croissant de spécialités herbicides, la baisse d'efficacité constatée des produits encore autorisés du fait de l'apparition de résistances dans les populations d'adventices, la pollution des eaux de surface, ou encore les problèmes de phytotoxicité poussent à trouver des alternatives aux traitements chimiques.

La lutte mécanique contre la flore spontanée est une solution possible (voir chapitre 3), mais qui a ses limites : elle nécessite un entretien répété et souvent contraignant, et se heurte parfois au développement d'espèces difficiles à éliminer. Une gestion efficace des adventices reste néanmoins indispensable dans bien des cas, car ces plantes peuvent représenter une source de contamination pour les parcelles de culture, et/ou être des réservoirs de ravageurs ou de maladies.

Plutôt que de lutter chimiquement ou mécaniquement contre les adventices, une alternative peut être de s'appuyer de façon biomimétique sur les concurrences entre espèces végétales et d'implanter volontairement des espèces choisies pour leur facilité d'entretien, leurs services écosystémiques. Ces espèces végétales sont également implantées en raison des bénéfices variés qu'elles induisent au sein du système de production. C'est le principe des plantes couvre-sol (PCS). Les principes généraux de l'utilisation des PCS et des exemples concrets de mise en œuvre dans des situations variées sont ici présentés.

## PRINCIPES GÉNÉRAUX

---

### CARACTÉRISTIQUES DES PLANTES COUVRE-SOL

Les PCS occupent les surfaces de sol non cultivées sans concurrencer les espèces d'intérêt et en empêchant le développement des adventices. Leur dominance sur ces dernières peut provenir

soit d'un effet de concurrence directe pour l'accès aux ressources (eau, lumière, nutriments), soit des effets allélopathiques (voir encadré). Il s'agit le plus souvent de végétaux présentant une stratégie de développement par dominance *via* des moyens d'expansion radiale, de hauteur variable, que l'on peut par conséquent classer selon leur mode d'expansion. On distingue ainsi les radicants rampants et s'enracinant aux nœuds, comme par exemple la *Vinca major* ssp. *hirsuta* (figure 1), les cespiteux à racine pivotante et au port en coussins denses comme *Thymus longicaulis* (figure 2) ou certaines graminées, les rosettes et les stolonifères émettant de nombreux stolons, ou encore les rhizomateux et traçants aux racines présentant de fortes facultés d'expansion, réémettant de nouveaux sujets à distance du pied mère, par exemple le *Geranium macrorrhizum* ou l'*Achillea crithmifolia* (figure 3).



Figure 1 : *Vinca major* ssp. *hirsuta*.



Figure 2 : *Thymus longicaulis*.



Figure 3 : *Achillea crithmifolia*.

Outre leur effet limitant - voire suppressif - sur les adventices, les PCS permettent de :

- limiter l'évaporation du sol.
- faciliter la circulation de l'eau et de l'air par leur réseau racinaire.
- limiter le lessivage et l'érosion.
- favoriser sur le long terme l'enrichissement du sol en matière organique par piégeage des feuilles-fleurs-fruits-brindilles extérieurs.
- présenter des lieux de refuges pour les auxiliaires vis-à-vis de certains ravageurs et contribuer ainsi à la protection naturelle des plantes d'intérêt.

Plusieurs utilisations de PCS en JEVl sont possibles : pieds d'arbres et haies, massifs d'arbustes, terrefleins centraux, ronds-points, zones de végétalisation extensive, cimetières, talus, etc.

Les utilisations possibles en horticulture concernent les abords de parcelles hors-sol ou de pleine terre, les zones situées entre les tunnels, les inter-rangs en pépinière de pleine terre, voire également le rang lui-même lorsque le désherbage mécanique est impossible, les abords des fossés, les talus, etc.

## APPROCHE TECHNICO-ÉCONOMIQUE

En JEVl, le coût des PCS varie beaucoup en fonction de l'espèce choisie, de la taille des végétaux, de leur conditionnement et de la densité de plantation requise pour atteindre l'effet attendu sur les adventices. A titre indicatif, Bodin et Granger (2016) ont estimé que la mise en place de PCS en godets revient à 20 à 40 euros par m<sup>2</sup> pour les matières premières pour un assortiment de 5 à 10 végétaux, et environ 33 euros par m<sup>2</sup> pour la mise en place et l'entretien. Ce coût doit être mis en regard de la durée d'effet des PCS, supérieure à 10 ans.

**DÉFINITION :** l'allélopathie désigne tout effet positif ou négatif, direct ou indirect, d'un végétal sur un autre par le biais de composés chimiques (métabolites secondaires) libérés dans l'environnement. Dans le cas des PCS, une plante est qualifiée d'allélopathique lorsqu'elle limite la germination ou la croissance d'espèces concurrentielles non désirées (adventices). Quatre voies d'expression des effets allélopathiques ont été identifiées : les exsudats racinaires, les produits de décomposition de la biomasse, les substances lessivées par le passage de la pluie sur les feuilles et la diffusion de substances volatiles.

**ESPÈCES CONNUES :** les espèces concernées sont encore peu documentées, en partie car il est difficile de mettre en évidence expérimentalement l'effet allélopathique. Certains producteurs en ont fait leur spécialité, comme la pépinière Filippi qui fait référence en la matière en France. En pratique, de nombreuses plantes originaires des garrigues méditerranéennes seraient allélopathiques, cette propriété leur permettant de mieux résister à la compétition alors que les ressources du milieu sont limitées.

**APPLICATIONS :** les effets allélopathiques ne s'expriment que lorsque les plantes sont établies, voire après leur phase végétative dans certains cas ; on ne peut donc compter sur cet effet lors de la phase d'installation des plantes. Prévoir un paillage en complément est par conséquent une bonne solution en particulier en JEVl ; on peut aussi associer plusieurs PCS présentant des vitesses d'installation plus ou moins rapides.

En production horticole, les travaux d'ASTREDHOR Méditerranée ont montré qu'en comparaison à une gestion chimique, le choix d'un enherbement volontaire occasionne un surcroît de main d'œuvre à la mise en place, qui s'amortit cependant dès la fin de la deuxième année d'installation avec la diminution des interventions.

## MISE EN ŒUVRE DES STRATÉGIES PCS

### RÈGLES POUR LA CONCEPTION

Il n'existe pas de solution clé en main pour l'implantation de PCS ; l'idée étant plutôt de conduire une réflexion qui intègre les bénéfices et les contraintes liées à la réalisation du projet, pour permettre d'élaborer une stratégie adaptée à chaque situation. En effet, il est indispensable de prendre en compte pour le choix des espèces les caractéristiques du milieu, les contraintes éventuelles de gestion de l'eau et les possibilités d'entretien.

En JEVl comme en horticulture, l'analyse doit prendre en compte :

#### Les caractéristiques du sol

Plus un sol est riche, plus il est favorable aux adventices et surtout aux espèces neutrophiles. Par conséquent, on évite d'enrichir les sols avant d'implanter des PCS, et les espèces retenues doivent pouvoir s'adapter aux sols pauvres et/ou à faible indice d'activité biologique. Si l'amendement du sol est déconseillé, son travail peut néanmoins viser à pratiquer un faux-semis et/ou à l'ameublir en vue de favoriser l'implantation des PCS. Enfin, il est également utile de prendre connaissance des traitements herbicides effectués précédemment pour gérer de façon adéquate d'éventuels problèmes de rémanence.

## La gestion de l'humidité des sols

Plus un espace et/ou un sol est drainé, moins il est favorable à la germination et au développement des adventices, et plus on limite par conséquent la production de graines de plantes indésirables. Pour cette raison, le drainage des sols est recommandé dans une stratégie PCS, ce qui implique que les végétaux retenus soient plutôt rustiques et peu exigeants en eau.

## Les techniques d'entretien

Il peut s'envisager par des tontes, principalement pour les couvre-sol ras à développement radial, ou une fauche annuelle concernant les mélanges fleuris. Dans certains cas, sur un couvert bien installé, aucune intervention n'est nécessaire. L'association avec un paillis fluide ou minéral est obligatoire ; le paillage minéral étant à privilégier pour les espèces à affinités méditerranéennes. En effet, le paillage minéral reproduit les conditions de développement de ces plantes (sol caillouteux drainant, favorisant le ressuyage du sol et freinant ainsi l'apparition de maladies cryptogamiques auxquelles elles sont sensibles, comme le pourrissement du collet notamment).

## Le choix de la palette végétale

Outre les caractéristiques déterminées par les éléments de contexte précédents, la rapidité d'installation des plantes choisies est primordiale, car les surfaces concernées peuvent être importantes et la concurrence des adventices forte.

L'implantation peut s'effectuer par semis direct ou plantation de godets, voire de fragments de plantes, notamment fragments de sédum (boutures non racinées étalées à la surface du sol). Hormis sur les petites surfaces, le semis est préférable car les coûts associés à la mise en œuvre et l'entretien sont plus faibles. La plantation en godets peut toutefois s'avérer précieuse sur des espaces contraints, et offre un large choix d'espèces, pas toujours disponibles sous forme de semences.

La densité de plantation est à adapter en fonction du développement présumé des PCS et de l'objectif souhaité. En JEV1, la sensibilité relative aux conditions d'exposition, la persistance du feuillage, la résistance à la sécheresse, au piétinement ainsi qu'aux sels de déneigement, sont également à prendre en compte. Enfin, les PCS ne doivent pas être des refuges pour ravageurs ou des réservoirs de maladies...

## EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE DE PCS

### Végétalisation des espaces contraints

ASTREDHOR Seine-Manche a conduit divers essais visant à valider et optimiser des associations végétales de vivaces couvre-sol pour les espaces urbains contraints : pieds d'arbres, massifs linéaires d'accompagnement de voiries (figure 4), zones piétinées, zones soumises à diverses pollutions, zones d'accès ou d'entretien difficile...



Figure 4 : Massif linéaire d'accompagnement de voirie à Petit-Couronne (76) au printemps 2018 (3<sup>e</sup> année d'essai).

Les essais ont permis d'identifier des espèces particulièrement adaptées à une gestion plus extensive des espaces végétalisés. Leurs comportements en réponse aux contraintes urbaines ont pu également être caractérisés. Le tableau 1 présente les principaux résultats de ces essais.

Espèces	Vitesse d'installation	Concurrence vis-à-vis des adventices	Résistance à la sécheresse	Résistance aux sels de déneigement	Résistance au piétinement
<i>Achillea crithmifolia</i>	+++	+++	+++	+++	++
<i>Chamaemelum nobile</i> 'Treneague'	+++	+++	++	+++	+++
<i>Cerastium tomentosum</i> var. <i>columnae</i>	++	++	++	++	++
<i>Frankenia laevis</i>	++	-	++	+	-
<i>Geranium sanguineum</i> 'Blushing Turtle'	++	++	+++	+	-
<i>Matricaria tchihatchewii</i>	+++	++	+++	++	++
<i>Phlox subulata</i>	+	-	++	++	-
<i>Sedum kamtschaticum</i> var. <i>floriferum</i> 'Weihenstephaner Gold'	++	++	+++	-	+
<i>Saponaria ocymoides</i>	+++	+++	+++	++	++
<i>Thymus serpyllum</i>	+++	+	+++	+	++
<i>Thymus praecox</i> 'Albiflorus'	++	++	+++	+	+

Tableau 1 : Extrait synthétique d'évaluation de comportement de PCS face à la concurrence de la flore spontanée et de contraintes d'usages en espaces urbains.



Figure 5 : Couverture de sol optimale et effet esthétique accru par l'association de deux PCS (*Achillea crithmifolia* et *Thymus praecox* 'Albiflorus').

Les travaux d'ASTREDHOR ont également permis d'observer les effets de synergie entre les PCS, tant sur le plan biologique que sur le plan esthétique (figure 5).

### Végétalisation volontaire des abords de culture

Ces zones non cultivées se caractérisent par des espaces contraints habituellement peu propices à la végétalisation. Les espèces testées par ASTREDHOR pour la végétalisation des abords de culture sont des vivaces traçantes à multiplication essentiellement végétative, ayant un fort pouvoir concurrentiel pour limiter l'entretien et le développement

des autres adventices. Elles ne doivent pas constituer une source de contamination pour les planches de culture. Enfin, elles peuvent présenter un intérêt esthétique, ce qui n'est pas négligeable en terme de valorisation paysagère, notamment lorsque le lieu de production est ouvert au public.

Parmi les espèces testées par ASTREDHOR, citons la piloselle (*Hieracium pilosella*), peu exigeante, à fort pouvoir de recouvrement et dont l'effet allélopathique est clairement établi. Le *Lippia nodiflora* est également très intéressant dans les milieux secs. En revanche, son caractère semi-caduc réduit son efficacité contre les adventices en hiver. L'ensemble des résultats obtenus dans ces essais est présenté dans le tableau 2.

Espèces	Vitesse d'installation	Concurrence vis-à-vis des adventices	Résistance à la sécheresse	Adaptation aux abords de culture
<i>Hieracium pilosella</i>	+++	+++	++	+++
<i>Phuopsis stylosa</i>	+++	+++	++	+++
<i>Petrorhagia saxifraga</i>	++	++	+	++
<i>Thymus longicaulis</i>	++	+	++	++
<i>Lippia nodiflora</i>	++	--	+++	pour les zones sèches uniquement
<i>Genista lydia</i>	+	--	+++	pour talus

Tableau 2 : Extrait synthétique d'évaluation de comportement de PCS pour une utilisation dans les abords de culture.

Les mélanges de graminées et mélanges fleuris sont également envisageables aux abords des cultures. ASTREDHOR Seine-Manche a ainsi identifié plusieurs mélanges de graminées efficaces incluant des espèces adaptées à ces milieux difficiles, telles que la fétuque ovine (*Festuca ovina*) ou le micro-trèfle gazonnant (*Trifolium repens* PIROUETTE/PILPOLINA). Les mélanges fleuris donnent aussi de bons résultats, surtout s'ils sont associés à des graminées. L'entretien se limite le plus souvent à une fauche annuelle au moment de l'épiaison et pour limiter le couvert en hauteur.

### Utilisation sous le rang de culture

L'utilisation de PCS sous le rang de culture en production horticole fait l'objet de réflexions récentes, inspirées par les travaux conduits dans d'autres filières, notamment en viticulture et arboriculture (INRA, IFV, ITAB). Les contraintes sont ici plus fortes qu'en JEV1 car il existe un risque élevé de concurrence avec la culture, notamment pour l'azote, entraînant potentiellement une perte de rendement. La pression des adventices est également plus importante en zones cultivées, le milieu d'implantation étant enrichi par des apports de fertilisants, qu'ils soient organiques ou minéraux. Enfin, la maîtrise des adventices par traitement mécanisé n'est pas toujours possible, ce qui implique d'utiliser des couverts naturellement courts.

Plusieurs mélanges ont été testés en semis direct. Parmi ceux-ci, le *Trifolium repens* PIROUETTE/PIPOLINA utilisé en semence pure, semé au printemps ou à l'automne, a donné de bons résultats en pépinière fruitière et en pivoine fleur coupée, et ce sans nécessiter de tonte sur le rang (figure 6). En revanche, les mélanges fleuris testés dans les essais ASTREDHOR ou la micro-luzerne se révèlent trop concurrentiels et semblent pénaliser la croissance des végétaux au bout de deux ans.

La mise en place de végétaux a également été testée sous forme de fragments ou de collerettes/tapis de plants (sédum) positionnés au pied des arbres, puisqu'il s'agit de la zone la plus difficile à gérer. Ces solutions présentent l'avantage d'occuper immédiatement le sol, sans pour autant remplacer le désherbage mécanique sur le rang (figure 7). Leur fabrication et leur mise en œuvre représentent néanmoins un coût certain (estimation du coût de fabrication de 0,17 euro par m<sup>2</sup> hors main d'œuvre).



Figure 6 : Micro-trèfle gazonnant PIRouette/PIPOLINA semé en plein en culture de pivoine fleur coupée.



Figure 7 : Collerette de sédum appliquée au pied des arbres en pépinière fruitière.

Outre l'impact déjà évoqué sur la nutrition, le couvert végétal des PCS peut avoir d'autres effets négatifs sur la culture, qu'il convient de bien maîtriser. C'est le cas par exemple pour la pivoine dont la vernalisation peut être perturbée, en cas d'hiver doux, par l'effet isolant du couvre-sol. Il est donc indispensable de bien prendre en compte les exigences spécifiques de la culture et les conditions climatiques du terrain dans le choix des PCS en utilisation sur le rang de culture.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les plantes couvre-sol représentent une opportunité pour aménager des milieux dégradés et limiter l'empreinte environnementale (moins d'eau, de tonte, d'engrais et de désherbant). C'est aussi un défi qui nous amène à repenser la relation à l'enherbement dans les aménagements urbains et les exploitations.

En continuité de l'étude nationale de Plante & Cité « Réhabilitation écologique et paysagère des cimetières », le projet ALT'CIM, porté par ASTREDHOR Seine-Manche, vise ainsi à proposer des axes d'innovations forts pour conduire les cimetières vers le « zéro phyto ». L'objectif est de proposer et d'expérimenter des solutions d'aménagement et de végétalisation nouvelles, permettant de diminuer les temps d'entretien et notamment de désherbage effectués dans les cimetières, mais également en favorisant la réintroduction du végétal et l'acceptation mesurée de la flore spontanée au sein de ces espaces. Les thématiques d'engazonnement (notamment les tests de mélanges peu poussants spécifiquement élaborés pour ces zones agro-limitantes) et de végétalisation pérenne d'espaces problématiques (inter-tombes, inter-rangs végétalisés à l'aide de couvre-sol ou de mélanges fleuris spécifiquement conçus par rapport à des analyses de sol) constituent la trame de fond de ce projet initié en 2017, sur huit cimetières normands représentatifs.

Le projet PLACOH, porté par ASTREDHOR Loire-Bretagne et débuté en 2018, vise à caractériser les possibilités d'utiliser les propriétés allélopathiques des pailles et des feuilles de cistes et de sauges en apport à la surface du sol ; il évaluera également des techniques de semis de piloselle en inter-rangs.

Dans un registre similaire basé sur le principe de l'allélopathie, un projet Ecophyto JEVI « Desherbal » vise à développer de nouveaux herbicides écologiques à base de molécules allélopathiques tirées de plantes. Ce projet est porté par l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand et le Laboratoire de physique et physiologie intégrative de l'arbre en environnement fluctuant.

## **POUR ALLER PLUS LOIN**

Bodin O. et Granger G., 2016. *Guide du désherbage. Pourquoi, où et comment désherber ?* Les Editions de Bionnay, Lacenas, éditions 2016-2017, 146 p.

Bonnardot A., 2005. *Les plantes couvre-sols aux pieds des arbres*. CAUE 77, Coulommiers, 4 p. [en ligne].

Feredec Bretagne, 2012. *Guide des alternatives au désherbage chimique dans les communes*. Proxalys Environnement, Thorigné-Fouillard, 134 p. [en ligne].

Filippi O., 2011. *Alternatives au gazon*. Actes Sud, Arles, 248 p.

Gaviglio C., 2015. Zéro Herbi Viti – la conduite des vignes sans herbicides. Matévi, Le Bouscat, *Lettre d'actualité*, 72, 5 p. [en ligne].

Pépinières Lepage, s.d. *Guide des plantes vivaces*. Pépinières Lepage, Les Ponts-de-Cé, 7<sup>e</sup> édition, 312 p.

*Les essais conduits par ASTREDHOR dans le domaine des PCS sont soutenus financièrement par les Ministères en charge de l'agriculture (CasDar) et de l'environnement, FranceAgriMer, l'Agence Française pour la Biodiversité, les Régions Normandie, Ile-de-France, Pays de la Loire, PACA, le Département du Var et la Métropole Toulon Provence Méditerranée.*





# Chapitre 4

---

## QUESTIONS TRANSVERSALES



# Pour s'y retrouver dans la réglementation des produits et des agents de lutte contre les bio-agresseurs utilisables dans une perspective agro-écologique

Laurent Jacob (ASTREDHOR)

De nombreuses démarches visent à protéger ou améliorer la santé des plantes dans une perspective agro-écologique, en s'appuyant sur une meilleure utilisation des mécanismes naturels plutôt qu'en introduisant dans les agro-écosystèmes des produits de synthèse xénobiotiques (c'est-à-dire non présents naturellement dans la biosphère).

Ces différentes approches, souvent combinées dans les systèmes de culture, consistent généralement à :

- Réduire la sensibilité des plantes aux bio-agresseurs, soit en les rendant moins attractives pour leurs ennemis (par exemple par une meilleure gestion de la fertilisation azotée, ou grâce à des biostimulants qui accroissent la vigueur des plantes et les rendent moins fragiles), soit en leur permettant de mieux se défendre, activement ou passivement, contre leurs agresseurs (par exemple avec certains stimulateurs de défense des plantes) ;
- Et/ou à réduire la pression des bio-agresseurs, soit en créant des conditions environnementales qui leur sont défavorables (par exemple en réduisant les densités de semis, en espaçant les cultures sensibles dans l'espace ou dans le temps, en introduisant des barrières physiques, des végétaux ou composés répulsifs ou ayant des effets allélopathiques<sup>1</sup>...), soit en les neutralisant par des approches physiques (piégeage, désherbage mécanique ou thermique...) soit encore en favorisant par diverses méthodes leurs ennemis naturels (prédateurs ou parasitoïdes des ravageurs, agents pathogènes divers des ravageurs...).

L'agriculture biologique a été un précurseur de ces approches en n'autorisant l'emploi que de substances naturelles - minérales ou organiques - en santé des plantes, en préconisant des pratiques culturales visant à préserver ou développer la vie des sols et en allongeant et diversifiant les rotations en vue de diminuer la pression parasitaire. Aujourd'hui, beaucoup de ces approches connaissent des développements techniques importants dans certains secteurs de la production. Les professionnels ont à leur disposition une palette croissante de solutions, sous des appellations parfois délicates à distinguer les unes des autres (biocontrôle, biostimulants, stimulateurs de défense naturelle, préparations naturelles...) et avec des contextes réglementaires dans lesquels il n'est pas toujours très facile de se repérer.

---

<sup>1</sup> Observée depuis l'Antiquité, l'allélopathie correspond à l'ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant à leur voisinage ou leur succédant sur le même terrain (Caussanel, 1975).

Après avoir rappelé le contexte réglementaire général dans lequel ces nouvelles approches se sont développées, cet article s'attachera à clarifier les différences entre produits de biocontrôle, substances de base, biostimulants, stimulateurs de défense, préparations naturelles peu préoccupantes, produits à faible risque et les huiles, essentielles ou non.

## CONTEXTE DU DÉVELOPPEMENT DES MÉTHODES ALTERNATIVES DE LUTTE CONTRE LES BIO-AGRESSEURS

Le développement des méthodes alternatives de lutte antiparasitaire a été significativement promu par l'adoption de la directive cadre européenne 2009/128/CE du 21 octobre 2009, qui instaure un cadre juridique pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable.

L'article 14 de cette directive invite en particulier à un report sur des méthodes alternatives, « *chaque fois que cela est possible* », de sorte que les utilisateurs professionnels de pesticides privilégient des pratiques et des produits présentant le risque le plus faible pour la santé humaine et l'environnement. Les Etats membres (EM) de l'Union européenne se sont ainsi engagés à promouvoir la mise en place de la protection intégrée et les systèmes de culture à faible apport en pesticides.

Selon la FAO<sup>2</sup> et l'OILB<sup>3</sup>, la lutte intégrée ou protection intégrée est la « *conception de la protection des cultures dont l'application fait intervenir un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois écologiques, économiques et toxicologiques en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance* ».

A partir de ce texte, interprété et appliqué sous la responsabilité – et donc en pratique diversement – par chaque EM, est né en France un ensemble de politiques publiques dédiées, sous la forme d'un plan d'action national comprenant le plan Ecophyto, le réseau de surveillance biologique du territoire, les mesures de protection des personnes sensibles et le certificat individuel phytosanitaire. Ce dispositif est complété par des mesures d'appui au développement des méthodes ou techniques de substitution, telles que les méthodes dites de biocontrôle, concept développé en France à la suite du rapport du député Antoine Herth (2011).

Le biocontrôle ne fait l'objet d'aucune définition au plan communautaire. En France, le Ministère chargé de l'agriculture le présente comme « *un ensemble de méthodes de protection des végétaux par l'utilisation de mécanismes naturels* » et précise que « *ces techniques sont fondées sur les mécanismes et interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel. Ainsi, le principe du biocontrôle repose sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication.* »

Toutefois, il importe de distinguer clairement les principes généraux du biocontrôle, et plus largement les principes de lutte contre les bio-agresseurs des végétaux utilisables dans une perspective agro-écologique, des stricts « produits de biocontrôle » au sens réglementaire du terme. Il convient également de garder à l'esprit le fait que les connaissances évoluent rapidement dans ce domaine et que la réglementation peut être appelée à évoluer elle aussi, pour tenir compte des innovations issues de ces nouvelles connaissances.

<sup>2</sup> FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

<sup>3</sup> OILB : Organisation Internationale de Lutte Biologique

# LES PRODUITS DE BIOCONTRÔLE

---

A l'heure actuelle, l'article L.253-6 du Code rural et de la pêche maritime (CRPM) définit les agents et produits de biocontrôle, en précisant qu'ils englobent « en particulier » deux groupes : d'une part les macro-organismes, d'autre part les produits phytopharmaceutiques (PP) de biocontrôle qui relèvent eux-mêmes de trois sous-catégories (les micro-organismes, les médiateurs chimiques et les substances naturelles). Concrètement, à la date de publication de ce guide, seules des spécialités correspondant à l'un ou l'autre de ces deux groupes sont autorisées en France, même si le « en particulier » de la définition officielle sous-tend que d'autres types de produits pourraient théoriquement y être rattachés.

## LES MACRO-ORGANISMES AUXILIAIRES

Ce sont des invertébrés, insectes, acariens ou nématodes, indigènes ou non, utilisés de façon raisonnée pour protéger les cultures contre les attaques des bio-agresseurs des plantes.

L'arrêté du 26 février 2015 précise la notion d'espèces indigènes, *versus* non indigènes, à travers une annexe qui recense les espèces considérées comme indigènes, lesquelles sont dispensées d'autorisation spécifique pour leur mise sur le marché et pour leur utilisation.

Les macro-organismes non indigènes relèvent, pour leur part, d'un cadre législatif et réglementaire national entré en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2012. Ce dispositif concerne exclusivement les macro-organismes non indigènes pouvant être utiles aux végétaux (auxiliaires et pollinisateurs), notamment dans le cadre de la lutte biologique. Ceux-ci doivent disposer d'une autorisation préalable pour entrer sur le territoire (EAT), et/ou être introduits dans l'environnement (AIE), selon les termes du décret du 30 janvier 2012, et de l'arrêté du 28 juin 2012, relatifs aux « *conditions d'autorisation et aux demandes d'autorisation d'entrée sur le territoire et d'introduction dans l'environnement de macro-organismes non indigènes utiles aux végétaux, notamment dans le cadre de la lutte biologique* ». Cet arrêté s'appuie sur la notion de « territoire », correspondant à l'une des 10 zones définies par le décret du 30 janvier 2012 (de manières distinctes, la France métropolitaine continentale, la Corse, et chacun des huit territoires ultramarins). On notera qu'un organisme installé et acclimaté, c'est-à-dire qui se maintient durablement sur un territoire donné, peut être considéré comme indigène, même s'il est d'origine exotique.

## LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES DE BIOCONTRÔLE

On trouve dans cette seconde catégorie des produits réglementés relevant de l'article L253-1 du CRPM, c'est-à-dire des produits phytopharmaceutiques (PP) contenant une ou plusieurs substances actives (SA) approuvées au niveau européen et soumis à une autorisation préalable de mise sur le marché (AMM) nationale à l'issue d'une évaluation complète de leur efficacité et des risques pour la santé humaine, animale et l'environnement. Les PP de biocontrôle peuvent relever de l'une ou l'autre des trois sous-catégories suivantes :

## Les micro-organismes

Ce sont des champignons, bactéries et virus, capables de se répliquer ou de transférer du matériel génétique et qui sont utilisés pour protéger les cultures contre les ravageurs et les maladies, ou stimuler les défenses naturelles des plantes. Les produits à base de micro-organismes sont soumis à autorisation selon le règlement CE n°1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, entré en vigueur depuis le 14 juin 2011.

## Les médiateurs chimiques (phéromones et kairomones)

Les phéromones permettent soit le suivi des vols d'insectes ravageurs adultes, ou « monitoring », pour mieux positionner des interventions phytosanitaires, et en ce cas n'ont pas besoin d'AMM, soit le contrôle des populations d'insectes ravageurs par piégeage de masse, ou par confusion sexuelle (nécessitant une AMM). Ce sont des méthodes purement préventives qui ont pour objectif de diminuer la pression parasitaire : elles interfèrent avec la reproduction du ravageur en saturant l'air de composés volatils, ce qui perturbe le cycle des pontes. Quant aux kairomones, elles simulent « l'odeur » d'une plante attaquée. Même si actuellement elles n'ont pas encore d'applications pratiques, elles pourraient dans un avenir proche s'avérer un atout précieux dans les techniques de piégeage ciblé, ou « push-pull ».

## Les substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale

Il s'agit ici de substances présentes naturellement dans l'environnement. Elles sont soit extraites d'un matériau source naturel (par broyage, pressage, extraction à l'eau...), soit obtenues par synthèse chimique et strictement identiques à leur équivalent à l'état naturel, soit obtenues par extraction par un solvant.

## LISTE ET CRITÈRES DE DÉFINITION DES PP DE BIOCONTRÔLE

La première liste officielle des PP de biocontrôle a été publiée dans une note de service de la Direction générale de l'Alimentation du 1<sup>er</sup> avril 2015 (DGAL/SDQPV/2015-315), qui mentionnait les spécialités commerciales jugées « éligibles ». Depuis le 3 novembre 2016, une note de service définit également la méthodologie d'élaboration de cette liste, et notamment les critères généraux de définition des produits concernés. Cette note est régulièrement mise à jour et publiée au *Bulletin Officiel* du Ministère chargé de l'agriculture.

Outre le fait d'appartenir à l'une des trois catégories de PP décrites ci-dessus, l'inscription sur cette liste suppose que les produits satisfassent à deux autres critères essentiels qui sont :

- le statut réglementaire du produit : celui-ci doit bénéficier d'une AMM ; par conséquent, il convient de souligner qu'un produit disposant d'une autorisation provisoire de 120 jours délivrée dans une situation d'urgence phytosanitaire (dite dérogation article 53) n'est pas éligible à l'inscription sur la liste des produits de biocontrôle.
- la sécurité pour la santé et l'environnement : compte-tenu des exemptions dont ils bénéficient (voir ci-après), les produits inscrits sur cette liste doivent respecter des dispositions spécifiques en matière de sécurité pour la santé et pour l'environnement. De ce fait, ne peuvent pas figurer sur la liste des PP de biocontrôle les produits dont on envisage la substitution<sup>4</sup> au titre de l'article 50 du Règlement CE 1107/2009. C'est en particulier le cas du cuivre, qui est bien une substance naturelle d'origine minérale et pourrait entrer à ce titre dans l'une des catégories retenues par le CRPM, mais qui est par ailleurs candidat à la substitution et n'est donc pas éligible.

<sup>4</sup> Tous les PP présentant certaines caractéristiques de danger qui justifient la recherche de solutions de substitution lorsque cela est possible.

De plus, en termes de toxicité et d'écotoxicité, sont exclus de cette liste :

- les produits CMR<sup>5</sup> potentiels ou avérés pour l'Homme, ou présentant un risque de toxicité aiguë, ou des produits toxiques spécifiques pour certains organes cibles.
- les produits présentant une toxicité environnementale chronique ou aiguë.

En France, la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt (LAAF) du 13 octobre 2014 a introduit plusieurs dispositions visant à encourager et développer l'utilisation des solutions de biocontrôle pour la protection phytosanitaire. En particulier, ces produits bénéficient :

- de procédures accélérées d'évaluation et d'instruction des demandes d'AMM, et de taxes réduites pour ces procédures ;
- d'allègements réglementaires supplémentaires autorisant – à la différence des autres PP – la publicité commerciale, la cession en libre-service et l'usage non professionnel (gamme « amateur »), et exemptant les acteurs de l'agrément phytosanitaire et du Certificat d'Économie de Produits Phytopharmaceutiques (CEPP). Par ailleurs, contrairement aux autres produits, ils peuvent encore, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017, être utilisés dans les espaces verts et les espaces de promenade ouverts au public. Ils resteront aussi à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2019 accessibles en vente libre pour les utilisateurs amateurs pour les produits qui portent la mention « *emploi autorisé dans les jardins* » (EA).

## QUESTIONS-RÉPONSES

---

### MAIS ALORS, UN PP ALTERNATIF EST-IL FORCÉMENT DE BIOCONTRÔLE ?

Non, pas nécessairement. Les trois catégories de PP de biocontrôle ont des effets qui reposent sur des mécanismes naturels, mais leurs AMM tiennent compte aussi de leur dangerosité et des risques liés à leur exposition, et pas seulement du caractère « alternatif » de leur mode d'action.

De même, on voit qu'il existe une différence entre les notions de « biocontrôle » et de « lutte biologique », celle-ci étant définie par l'OILB comme « *l'utilisation d'êtres vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs* ». Les méthodes de biocontrôle incluent les agents de lutte biologique, sous réserve qu'ils soient conformes à la réglementation adéquate, mais comprennent aussi d'autres produits (substances naturelles...) ou d'autres approches (lutte physique...).

### J'AI ÉGALEMENT ENTENDU PARLER DES SUBSTANCES DE BASE : QU'EST-CE QUE C'EST ?

Le règlement européen CE n°1107/2009 définit, dans son article 23, les substances de base (SB) comme des substances dont la destination principale n'est pas d'être utilisée à des fins phytosanitaires, mais qui sont néanmoins utiles dans la protection phytosanitaire. Une SB est appliquée soit directement en l'état, soit dans une préparation constituée par la substance et un simple diluant. Cette substance ne doit pas avoir été déjà mise sur le marché en tant que PP.

Une substance active qui répond aux critères des « denrées alimentaires » défini à l'article 2 du règlement CE n°178/2002 est considérée comme une SB.

---

5 Cancérogène, Mutagène ou Reprotoxique (1A : CMR avéré, 1B : CMR supposé, et 2 : CMR suspecté).

En pratique, les SB sont principalement des substances organiques ou minérales issues de l'industrie agro-alimentaire, l'industrie pharmaceutique ou du secteur cosmétique. En sont exclus les micro-organismes, les produits génétiquement modifiés et les substances préoccupantes (capables de provoquer des effets perturbateurs sur le système endocrinien, des effets neurotoxiques ou des effets immunotoxiques). Les SB doivent être non traitées ou traitées uniquement par des moyens manuels, mécaniques ou gravitationnels (dissolution dans l'eau, flottation, extraction par l'eau, distillation à la vapeur ou par chauffage uniquement pour éliminer l'eau). Les préparations, qui contiennent une ou plusieurs SB, doivent être accessibles à tout utilisateur et peuvent être utilisées sans autre formalité. On notera que l'inscription en tant que SB est valable sans limite de temps.

## **OÙ PEUT-ON TROUVER LA LISTE DES SB AUTORISÉES EN FRANCE ?**

La liste des SB approuvées, qui précise leur secteur d'utilisation ainsi que les usages phytopharmaceutiques rattachés, est publiée par la Commission européenne (EU-pesticides Database). Il n'y a pas de liste officielle tenue à jour par les pouvoirs publics français dans la mesure où ces produits sortent du cadre juridique des produits soumis à une autorisation nationale. Toutefois, les informations relatives aux SB sont reprises et régulièrement mises à jour sur le site internet de l'ITAB<sup>6</sup>, qui est le principal porteur des demandes d'approbation de SB au niveau européen.

Parmi les SB reconnues à la date de publication de ce guide, on trouve par exemple la bière, la prêle, l'ortie, le fructose, la poudre de graine de moutarde, l'écorce de saule, le talc et le vinaigre alimentaire.

Certaines utilisations de SB peuvent couvrir des usages orphelins ou mal pourvus dans la filière horticole. A la date de publication de ce guide, seule la prêle et l'ortie sont autorisées en traitement des parties aériennes des cultures ornementales, mais d'autres SB ont été approuvées pour des traitements généraux (molluscicides, désinfection d'outils de taille, etc.). Des extensions d'usage au secteur ornemental sont actuellement en cours de demande pour certaines d'entre elles. La réglementation évolue rapidement et il convient de se rapporter aux textes en vigueur, susceptibles d'être périodiquement amendés.

## **ET LES STIMULATEURS DE DÉFENSE ET LES BIOSTIMULANTS, ALORS ?**

Les stimulateurs de défense des plantes (voir l'article d'Oscar Stapel et Anne Pennaneac'h au chapitre 1 de ce guide), parfois appelés aussi stimulateurs des défenses naturelles (SDN), stimulent les mécanismes naturels de défense des plantes en simulant généralement une attaque par un bio-agresseur. Bien qu'ils n'agissent pas directement sur le bio-agresseur, ils sont considérés comme des PP et doivent à ce titre bénéficier d'une approbation de leur SA et d'une AMM pour le produit commercial. Ils peuvent éventuellement, s'ils correspondent aux critères requis, appartenir à la catégorie des PP de biocontrôle.

Les biostimulants, en revanche, ne sont pas des produits de protection des plantes mais une catégorie particulière de matières fertilisantes relevant de l'article L255-1 du CRPM ; ils n'appartiennent donc pas à la catégorie des PP de biocontrôle.

---

<sup>6</sup> Institut Technique de l'Agriculture Biologique, membre du réseau ACTA

Ce sont des matières « dont la fonction, une fois appliquées au sol ou sur la plante, est de stimuler des processus naturels des plantes ou du sol, afin de faciliter ou de réguler l'absorption par celles-ci des éléments nutritifs ou d'améliorer leur résistance aux stress abiotiques ». Les biostimulants n'ont donc pas vocation à lutter directement contre les ennemis des cultures, comme le font les produits phytopharmaceutiques ou les macro-organismes de biocontrôle, mais ils contribuent à un meilleur état physiologique des plantes. En les rendant plus résistantes, ils sont un atout supplémentaire dans la panoplie des stratégies agro-écologiques en lutte contre les bio-agresseurs.

Parmi les biostimulants, certains sont des substances naturelles qui peuvent, si leur procédé d'obtention est « accessible à tout utilisateur final », et après une évaluation des risques sanitaires et environnementaux conduite par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), être inscrites sur une liste des substances naturelles à usage biostimulant publiée par le Ministère en charge de l'agriculture au *Journal Officiel de la République Française* (article D255-30-1 du CRPM). Cela leur permet d'être considérées *de facto* comme préparations naturelles peu préoccupantes (PNPP).

## **ET JUSTEMENT, LES PRÉPARATIONS NATURELLES PEU PRÉOCCUPANTES DANS TOUT CELA ?**

Les PNPP sont une autre catégorie de produits de lutte agro-écologique contre les bio-agresseurs. Toutefois, elles n'entrent pas non plus dans le cadre de la catégorie réglementaire des produits de biocontrôle.

L'article L.253-1 du CRPM introduit la notion de « préparation naturelle peu préoccupante », pour désigner une préparation exclusivement composée, soit de SB au sens de l'article 23 du règlement (CE) n° 1107/2009, soit de substances naturelles à usage biostimulant relevant de la réglementation des matières fertilisantes. Une PNPP doit en outre pouvoir être obtenue à partir d'un procédé simple et accessible à tout utilisateur final (macération ou décoction, la plupart du temps), ce qui impose la divulgation de son procédé de fabrication.

L'article 50 de la LAAF amène quelques précisions sur les PNPP et prévoit un régime simplifié pour l'utilisation et la commercialisation de ces préparations. Il indique qu'une PNPP est constituée exclusivement de substances, avec ou sans effet biologique direct sur les ravageurs, qui améliorent la santé des plantes, comme certains extraits végétaux, en leur conférant une meilleure vigueur contre des bio-agresseurs potentiels. Notons que les composés qui ont un effet répulsif ou qui stimulent la résistance aux maladies de certaines plantes, relèvent de la réglementation des produits de santé des plantes, ce qui dans le cas des PNPP ne peut concerner qu'une SB, tandis qu'un biostimulant (ou biofertilisant) ne peut revendiquer une action ciblée contre les ravageurs des plantes, ni se prévaloir d'une quelconque allégation phytosanitaire.

Le décret du 30 avril 2016 simplifiant la procédure d'autorisation des PNPP à usage biostimulant stipule que les substances naturelles à usage biostimulant doivent, pour être autorisées, être inscrites sur la liste officielle évoquée précédemment, distincte de celle des produits de biocontrôle. Cette liste comprend une centaine de PNPP à usage biostimulant autorisées en France. Elle inclut notamment les différentes préparations (sous forme de poudre, diluées...) contenant les parties utilisées des plantes médicinales qui peuvent être vendues librement en dehors des pharmacies. Toutes ces plantes sont autorisées par l'article D4211-11 du code de la santé publique et inscrites à la pharmacopée.

Cette liste est évolutive : l'ajout de nouvelles substances requiert qu'elles aient été évaluées par l'Anses et apporté la preuve de leur innocuité sur la santé humaine et animale, ainsi que de l'absence de risque pour l'environnement. Inversement, une PNPP inscrite sur la liste peut être retirée

ou modifiée dès lors que l'une des conditions requises pour cette inscription n'est plus satisfaite (à la lueur de publications scientifiques, de nouvelles connaissances...). Un délai, n'excédant pas douze mois, pourra être fixé pour permettre l'écoulement des stocks à la commercialisation.

### **ON S'Y PERD PARFOIS UN PEU ENTRE CES DEUX CATÉGORIES. PAR EXEMPLE, LA MENTHE, L'ORTIE OU LE VINAIGRE SONT-ILS DES PNPP EN TANT QUE SB OU DES PNPP À USAGE BIOSTIMULANT ?**

Il est tout à fait normal qu'un peu de confusion règne autour de ces préparations naturelles, dans la mesure où certaines peuvent être les deux à la fois : elles ont parfois des effets sur la santé des plantes de manière directe (effet sur les bio-agresseurs), en tant que SB, et de manière indirecte (effet sur l'état physiologique du végétal), en tant que biostimulant.

Ainsi, l'ortie (générique) est reconnue comme SB depuis le 31 mars 2017 en tant que fongicide, insecticide et acaricide pour plusieurs couples culture x ravageur ; en parallèle, l'ortie dioïque et l'ortie brûlante (*Urtica dioica*, *Urtica urens*) relèvent également de la catégorie des biostimulants.

La menthe est dans une situation similaire. L'huile essentielle de menthe verte (extraite de *Mentha spicata* = *M. viridis*) a été inscrite en tant que SB pour ses propriétés anti-germinatives sur pomme de terre stockée après la récolte, et uniquement pour cet usage. Les feuilles ou sommités fleuries en l'état de la menthe poivrée ou de la menthe verte sont également reconnues comme biostimulants.

Le cas du vinaigre est différent : sous sa forme alimentaire, il est une SB utilisable en désinfection des outils de taille, mais l'acide acétique, qui en est la composante chimique active, est une SA approuvée par l'UE et commercialisée dans des PP herbicides. Notons que le vinaigre de qualité alimentaire doit contenir un maximum de 10 % d'acide acétique, donc la nuance entre la SB et la SA réside plutôt ici dans la concentration de la molécule d'intérêt que dans sa nature.

### **LES PP UTILISABLES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE (AB) RELÈVENT-ILS AUSSI DE LA CATÉGORIE DES PP DE BIOCONTRÔLE, OU DES SB ?**

Cela dépend des cas, et principalement de la nature du produit. Les SB minérales doivent être listées à l'annexe II du Règlement CE n°889/2008 pour être utilisables en AB. Les dossiers de demande d'inscription à l'annexe II doivent être soumis en France à l'INAO, puis à la Commission européenne. Les SB organiques d'origine animale ou végétale sont automatiquement utilisables en AB si elles proviennent du secteur alimentaire ; dans les autres cas, une demande d'inscription à l'annexe II doit être présentée, comme pour les substances minérales. De manière générale, la plupart des SB sont utilisables en AB.

En revanche, il existe des écarts plus importants dans la composition des listes de produits utilisables en AB et celle des PP de biocontrôle. Si l'AB correspond à un mode de production agricole qui exclut le recours aux produits chimiques de synthèse, elle n'exclut pas pour autant, contrairement à la liste des produits de biocontrôle, tous les produits ou composés dotés d'un profil toxicologique ou écotoxicologique défavorable. C'est pourquoi, par exemple, le cuivre est utilisable en AB mais ne figure pas sur la liste française des produits de biocontrôle. Inversement, l'AB n'utilise pas d'herbicides, même de biocontrôle, et n'autorise que les méthodes physiques de contrôle des adventices.

## **ON M'A PARLÉ DES SUBSTANCES À FAIBLE RISQUE : À QUOI CORRESPONDENT-ELLES EXACTEMENT ?**

Les substances actives à faible risque sont définies par l'article 47 du Règlement (CE) n° 1107/2009 comme des SA dont il est prévisible que les PP commerciaux ne présenteront qu'un faible risque pour la santé humaine, la santé animale et l'environnement. Les produits à base de SA à faible risque peuvent bénéficier d'une AMM « produit à faible risque » s'ils ne contiennent pas de co-formulant préoccupant, s'ils n'entraînent pas de souffrance pour les vertébrés et si leur efficacité a été établie dans les conditions d'usage préconisées. Dans ce cas, la durée d'autorisation de mise sur le marché des produits est valable 15 ans, contre 10 ans pour les autres substances non reconnues comme étant à faible risque.

La laminarine par exemple, extraite de l'algue *Laminaria digitata*, est approuvée dans l'UE en tant que substance active à faible risque. Elle est commercialisée pour ses propriétés de stimulation des défenses naturelles des végétaux, ce qui correspond bien à un usage phytosanitaire, dans un produit commercial qui contient en outre un co-formulant stabilisant le principe actif. De ce fait, le produit a fait l'objet d'une évaluation selon le processus standard d'homologation. Notons en revanche que *Laminaria digitata* à l'état sec ou en extrait aqueux, donc qui n'a pas fait l'objet d'une transformation, est reconnue comme une PNPP.

En théorie, il pourrait exister des substances à faible risque de synthèse ; mais dans ce cas elles ne seraient pas considérées comme des produits de biocontrôle, sauf à être strictement identiques à des substances naturelles.

## **J'AI AUSSI ENTENDU PARLER DE L'UTILISATION D'HUILES POUR LA LUTTE CONTRE LES BIO-AGRESSEURS DES PLANTES. EST-CE PERMIS, ET DANS QUELLE(S) CATÉGORIE(S) RENTRENT-ELLES ?**

Il existe différents types d'huiles utilisables en protection des plantes. Dans la plupart des cas, elles agissent en provoquant l'asphyxie mécanique des stades sensibles des ravageurs ou bien en altérant leurs téguments et en induisant leur dessiccation.

Des huiles minérales comme l'huile de paraffine, issue de la pétrochimie, sont approuvées comme SA au niveau communautaire et utilisables comme PP ; un dossier de demande d'extension d'usage à la floriculture de l'huile de paraffine est en cours d'examen à la date de parution de ce guide.

Des huiles organiques obtenues par pression à partir de végétaux ou de sous-produits animaux peuvent également bénéficier d'une AMM comme PP après approbation communautaire de leur SA. L'huile de poisson est ainsi reconnue en tant que répulsif, et l'huile de colza en tant qu'insecticide sur de nombreuses cultures, y compris ornementales.

Certaines huiles peuvent être reconnues comme PP de biocontrôle, comme l'huile de colza ou l'huile de paraffine, du fait de leur faible toxicité.

L'huile de tournesol a pour sa part été reconnue comme SB, pour la lutte contre l'oïdium de la tomate, et appartient de ce fait à la catégorie des PNPP.

Par ailleurs, il existe également des huiles obtenues par distillation à basse pression à l'aide d'un alambic à vapeur ; on parle alors d'huiles essentielles. De façon générale, ce sont des extraits végétaux concentrés, principalement à destination du secteur cosmétique, ou de l'agro-industrie.

Obtenues à partir d'un procédé d'extraction qui s'écarte de ceux autorisés par la législation des PNPP et des SB, les huiles essentielles qui revendiquent un effet sur la santé des plantes doivent suivre la voie « normale » d'approbation communautaire, comme n'importe quelle SA. On notera que les huiles essentielles obtenues par extraction à l'aide d'un solvant et non par distillation, sont bien des produits de biocontrôle au sens du CRPM, mais qu'elles ne seront pas nécessairement inscrites sur la liste des PP de biocontrôle de la DGAL, malgré leur caractère naturel, et ce fréquemment pour des raisons de toxicité.

A l'heure actuelle, plusieurs huiles essentielles ont été autorisées dans l'UE, comme l'huile de girofle en conservation des fruits récoltés (pommes, poires, pêches), l'huile de citronnelle en désherbage localisé de jeunes plantules (restreint au territoire britannique sous l'impulsion d'un metteur en marché local) ou l'huile essentielle de menthe verte, déjà mentionnée. L'huile essentielle d'orange est également autorisée depuis plusieurs années, y compris dans le secteur ornemental ; la fourniture d'un argumentaire technique par ASTREDHOR, appuyé par la FNPHP, a largement contribué à l'obtention de ces extensions d'usage.

À l'inverse, les demandes d'approbation de l'huile essentielle de sarriette de montagne et d'origan commun ont été refusées pour une utilisation en tant que pesticide en raison de problèmes liés à l'exposition des utilisateurs à certains composants toxiques. Il faut savoir aussi qu'il n'est pas rare que les huiles essentielles induisent des réactions de phytotoxicité sur les végétaux traités, ce qui incite à une certaine prudence dans l'emploi de ces préparations.

## **EN SOMME, PEUT-ON AFFIRMER QUE LE CONCEPT DE LUTTE AGRO-ÉCOLOGIQUE CONTRE LES BIO-AGRESSEURS DES VÉGÉTAUX INTÈGRE TOUTES CES MÉTHODES ?**

Oui, toutes les catégories que nous venons de présenter correspondent aux caractéristiques et aux principes de ces nouvelles approches. La panoplie des outils mis à disposition des professionnels ne fait que s'agrandir, ce qui appelle également à une plus grande technicité. C'est un véritable défi à relever pour les gestionnaires du risque phytosanitaire, et les instituts techniques impliqués dans le développement de ces méthodes.

Notons tout de même que parmi tous ces produits, seuls les PP de biocontrôle ont actuellement fait l'objet d'une évaluation *ad hoc* par l'Anses en France et que, dans ce cadre, en plus de leur innocuité, leur efficacité a été appréciée par un comité d'experts spécialisé.

## **POUR ALLER PLUS LOIN**

ACTA, 2017. *Index ACTA biocontrôle 2017*. ACTA éditions, Paris, 288 p.

Anses, 2018. *Note à l'attention des demandeurs d'AMM – Cas des produits de biocontrôle*. Anses, Maisons-Alfort, 4 p.

Caussanel J.P., 1975. *Phénomène de concurrence par l'allélopathie entre adventices et plantes cultivées*. COLUMA-EWRC. Cycle international de perfectionnement en malherbologie. 7 p.

Decoin M., 2018. Méthodes alternatives : point réglementaire. *Phytoma*, 713, p. 15-20.

Herth A., 2011. *Le bio-contrôle pour la protection des cultures - 15 recommandations pour soutenir les technologies vertes. Rapport au Premier Ministre*. 156 p.

*Les travaux d'appui scientifique et technique aux politiques publiques conduits par ASTREDHOR dans le domaine des produits de santé des plantes (Groupe Technique Filière de l'horticulture, Comité Technique Opérationnel de la DGAL, Comité National d'Epidémiosurveillance, groupe technique européen Commodity Expert Group Ornamentals) sont soutenus financièrement par le Ministère en charge de l'agriculture (CasDar) et par l'Interprofession VAL'HOR.*

*L'auteur remercie Marie-Christine de Guénin et Jérôme Laville (Anses, Direction des autorisations de mise sur le marché), pour leur relecture attentive et leurs conseils.*



# S@M : un outil d'aide à la décision développé par l'UMT FioriMed pour accompagner la réduction des pesticides en productions horticoles

Bruno Paris (ASTREDHOR, UMT FioriMed)  
et Séverine Doise (INRA, UMT FioriMed)

L'application mobile S@M et son interface web (<http://sam.sophia.inra.fr>) sont développées à Sophia-Antipolis dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique FioriMed<sup>1</sup>. Le développement s'appuie notamment sur les travaux de différents projets (Ecophyto DEPHY Expé OTELHO, Eranet SmartIPM, Interreg Marittimo IS@M), sur un mode de prototypage participatif et des partenariats avec des startups de bio-informatique. Différentes stations d'expérimentation d'ASTREDHOR et des « sites producteurs » contribuent à tester la robustesse des outils développés et des scénarios de protection intégrée proposés au test et analysés via S@M.

## POURQUOI UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION CONNECTÉ ?

L'acceptabilité environnementale des cultures horticoles est questionnée aujourd'hui sur deux points principaux : l'énergie (pour les cultures sous serre) et les pesticides (Jeannequin *et al.*, 2011). Concernant les pesticides, l'acceptabilité environnementale constitue un verrou fondamental car il n'est pas rare que les cultures horticoles génèrent des indices de fréquence de traitement très importants (supérieurs à 150 en fleurs coupées). En effet, ces cultures à forte valeur ajoutée doivent être indemnes des défauts que peuvent notamment provoquer maladies et ravageurs.

Le secteur de l'horticulture ornementale se caractérise par des facteurs de complexité liés à l'exigence de qualité des productions mises sur les marchés et à la nécessité de proposer des produits « zéro défaut ». Conjointement, certaines espèces horticoles (dont la principale, le rosier) se cultivent sur plusieurs années sans possibilité de vide sanitaire périodique de la culture. De même, plusieurs cycles de culture et /ou séries peuvent être réalisés sur la même surface pendant l'année (cas des plantes en pot) sans vide sanitaire. La question de la maîtrise des maladies et ravageurs est donc particulièrement aigüe.

Par ailleurs, la filière horticole s'inscrit dans un marché mondialisé avec des échanges importants de matériel végétal « plante entière » qui constituent des points d'entrée majeurs de bio-agresseurs exotiques. Ces nouveaux bio-agresseurs (par exemple thrips, cochenilles...) mettent régulièrement à mal les stratégies de protection intégrée mises en place par le secteur.

<sup>1</sup> Les Unités Mixtes Technologiques (UMT) sont des dispositifs soutenus par le Ministère chargé de l'agriculture qui associent, au sein d'une même équipe de recherche, des chercheurs académiques (INRA, Cirad, enseignement supérieur...) et des chercheurs d'un Institut Technique Agricole.

Le secteur horticole utilise du matériel végétal souvent peu connu d'un point de vue génétique et n'est que rarement en mesure de s'appuyer sur des variétés sélectionnées pour leur tolérance/résistance aux bio-agresseurs majeurs. En effet, vu la multiplicité des espèces cultivées, le travail de sélection sur ces critères de résistance est démesuré.

Par conséquent, l'aide au pilotage de la protection intégrée *via* une bonne connaissance de l'occurrence des épidémies devient primordiale. Les partenaires de l'UMT FioriMed ont donc choisi de déployer leur effort de recherche dans la mise au point d'une gamme d'outils d'aide à la décision (OAD) accessibles en ligne et en application mobile pour réduire les intrants phytosanitaires. L'outil S@M est développé en ce sens, pour être facilement utilisable sur des supports différents (ordinateurs de bureau, tablettes, smartphone).

## UNE BASE DE DONNÉES, UNE INTERFACE WEB ET UNE APPLICATION MOBILE [HTTP://SAM.SOPHIA.INRA.FR](http://sam.sophia.inra.fr)

Cinq modules conviviaux explicatifs permettent à l'utilisateur de naviguer dans un environnement illustré (figure 1a et b). Quatre voies d'accès orientent vers un outil de suivi épidémiologique, de consultation de données, d'aide au conseil, ou encore d'échange d'information sur un forum. Un tableau de bord personnalisé permet à chaque utilisateur d'accéder à ses informations personnelles (suivis professionnels, données climatiques, alertes phytosanitaires...). La base de données est accessible par un identifiant sécurisé, actuellement détenu par les acteurs des projets qui développent S@M. Seul le module « Formation et supports » est en accès libre pour le moment.

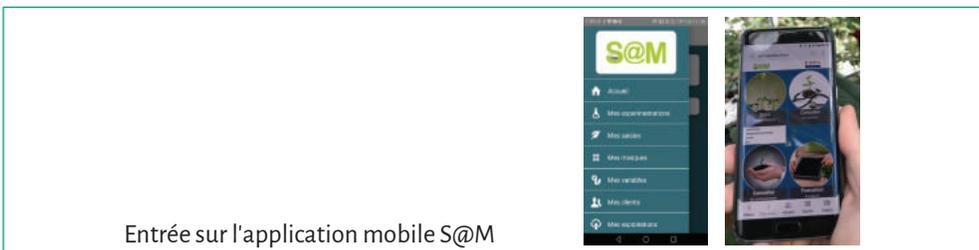


Figure 1a : Interface du site web S@M et application mobile avec modules pour le suivi épidémiologique, les éditions graphiques, le conseil et la formation.

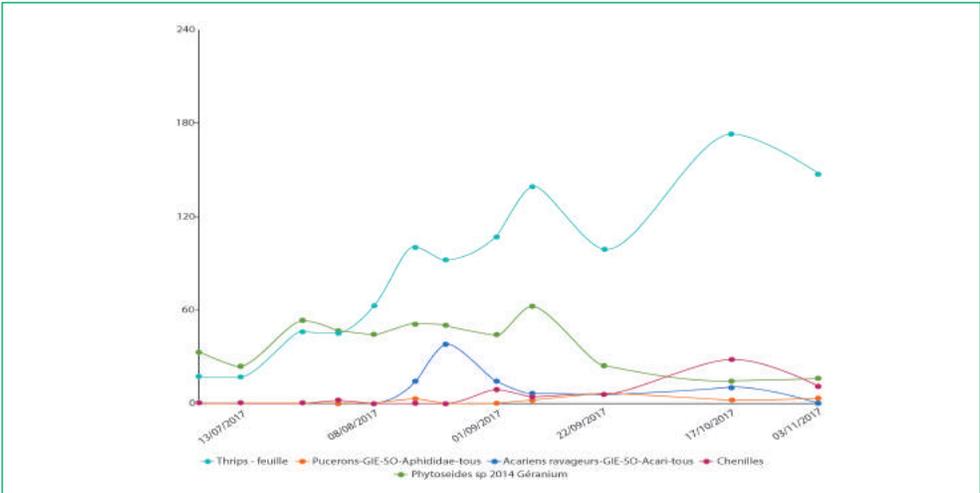


Figure 1b : Interface du site web S@M et application mobile avec modules pour le suivi épidémiologique, les éditions graphiques, le conseil et la formation.

L'originalité conceptuelle de S@M réside dans la nature de l'offre qui a été construite autour d'une base de données architecturée et conçue pour une exploitation immédiate des données enregistrées par l'utilisateur. Pour cette utilisation en temps réel, l'outil est constitué soit d'une interface web, soit d'une application mobile téléchargeable pour faciliter la prise en main sur tablette ou smartphone (adaptation à tout type d'appareil de manière transparente pour l'utilisateur).

Les données enregistrées par les utilisateurs (chercheurs, expérimentateurs, conseillers et producteurs) sont stockées sur un serveur sécurisé hébergé sur le pôle Santé des plantes de l'INRA de Sophia-Antipolis par l'UMT FioriMed. Les données collectées peuvent être soit traitées en temps réel par l'utilisateur, soit en temps différé et de manière confidentielle par les chercheurs, expérimentateurs ou conseillers (modélisations, bilans de campagne, analyses statistiques). Elles permettent d'afficher en temps réel sur les tableaux de bord des utilisateurs des alertes générées par S@M.

## LE SUIVI ÉPIDÉMIOLOGIQUE ET LES MODULES SPÉCIFIQUES POUR ÉCLAIRER LA DÉCISION

La philosophie de l'outil S@M est de faciliter le travail des utilisateurs grâce à une aide à la décision en matière d'interventions (biologiques, chimiques, mécaniques) en privilégiant les méthodes douces et en les guidant vers un meilleur positionnement des interventions dans le temps et dans l'espace cultural.

Les partenaires de l'UMT FioriMed partent du principe que l'évaluation de l'état sanitaire est la première étape indispensable à la prise de décision, et que cette étape est fondamentale pour un contrôle efficace des populations de bio-agresseurs dans le cadre d'une stratégie de protection intégrée. Cette étape est d'autant plus cruciale pour les cultures ornementales qui nécessitent une gestion très fine des équilibres biologiques avec des seuils de tolérance plus drastiques que les autres systèmes de production (zéro défaut non seulement sur la fleur mais aussi sur les tiges et feuilles).

De nombreuses études ont montré l'intérêt de repenser la protection des cultures (Ricci *et al.*, 2011) et de simplifier les méthodes de suivi et d'évaluation de l'état sanitaire d'une culture ainsi que la prise de décision. La méthode proposée par l'outil S@M permet d'envisager une stratégie de suivi global et réaliste des bio-agresseurs et des auxiliaires de la culture dans un contexte de production sous serre en utilisant des estimations visuelles par classes d'abondance et en évitant à l'utilisateur de longs et fastidieux comptages.

Dans cette méthode d'évaluation de l'état sanitaire, deux types de suivi épidémiologique (avec une interface de saisie) sont proposés : un suivi exhaustif ou un suivi simplifié. La différence repose sur le nombre de points à observer dans la culture. La méthodologie est en cours de test sur différents sites expérimentaux et sites producteurs. Le suivi simplifié est proposé aux experts/conseillers ou dans le cadre d'un suivi épidémiologique de territoire. Le suivi exhaustif est proposé pour des suivis conseils réguliers, des suivis d'expérimentations ou pour accompagner le changement de pratique d'un agriculteur. Dans tous les cas, le suivi épidémiologique repose sur des protocoles harmonisés (Paris *et al.*, 2015) issus des travaux des partenaires de l'UMT FioriMed et adaptés à différents systèmes de culture (fleurs coupées : rosier et gerbera ; plantes en pot : pélargonium et gerbera).

Les données épidémiologiques collectées par les utilisateurs permettent d'éditer des cartographies spatio-temporelles des épidémies, des dynamiques de population (figure 2) qui sont autant d'éléments visuels de diagnostic de l'hétérogénéité parcellaire et de prévision d'évolution des épidémies. Les données collectées permettent aussi d'implémenter des modèles prédictifs travaillés par les modélisateurs.

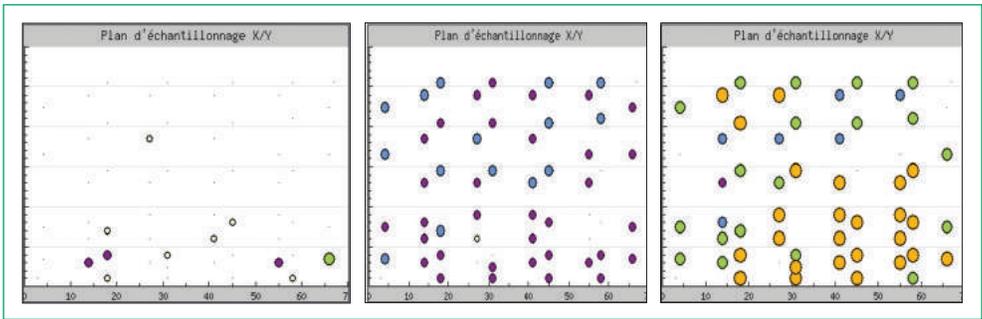


Figure 2 : Cartographie visuelle d'abondance sur trois semaines : thrips sur rosier

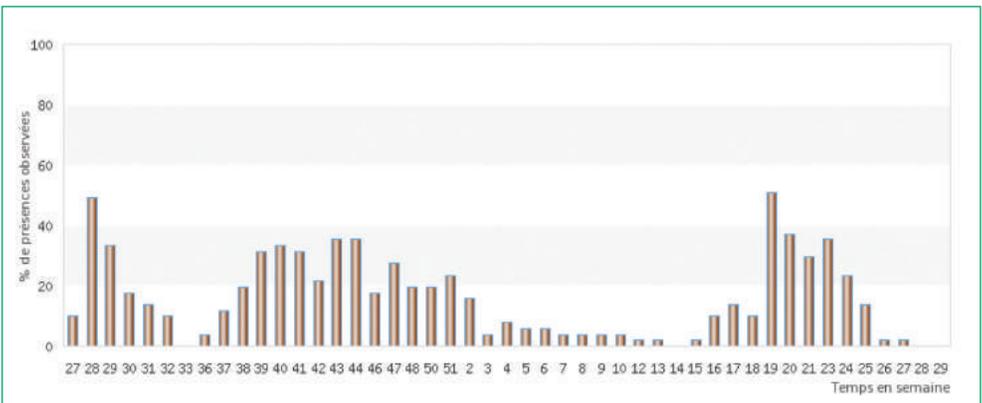


Figure 3 : Dynamique d'abondance sur un an : Botrytis sur gerbera

En parallèle, un module permet aux utilisateurs de tracer les traitements hebdomadaires, facteurs importants pour raisonner l'évolution des épidémies. Afin d'analyser l'impact des interventions de protection des cultures dans la stratégie de l'entreprise, l'utilisateur peut également saisir les données socio-économiques des traitements et conserver la traçabilité des diagnostics parcel-laires et des interventions.

## DES MODULES POUR ASSURER LA TRAÇABILITÉ ET LA SÉCURITÉ DU CONSEIL EN HORTICULTURE

---

La réglementation relative aux certificats individuels produits phytopharmaceutiques « Certiphyto conseil » (Décrets n° 2011-1325 du 18 octobre 2011 et n° 2016-1125 du 11 août 2016) a imposé de nouvelles règles aux entreprises de conseil et aux conseillers de ces entreprises. Celles-ci insistent sur la nécessité de mettre en œuvre une méthodologie d'élaboration des préconisations *via* un diagnostic parcellaire fiable. Elles imposent aussi la mise en avant des méthodes alternatives de protection des plantes. Dans ce contexte, le S@M développe un module spécifique dédié à l'activité de conseil en horticulture et propose une base de données pour gérer la sécurité et la traçabilité des données épidémiologiques, des diagnostics et des préconisations. Ce module de travail de terrain propose *via* des tablettes ou smartphones, la gestion du fichier clients, des diagnostics parcellaires et de la fiche de préconisation en s'appuyant sur un diagnostic fiable appuyé sur les suivis épidémiologiques (exhaustifs ou simplifiés) et sur des bases de données accessibles sur le terrain (bases de données Bulletins de santé du végétal, E-Phy, méthodes alternatives des stations d'expérimentation d'ASTREDHOR...).

## PERSPECTIVES POUR L'UTILISATION ET L'ENRICHISSEMENT DE L'OUTIL S@M

---

Aujourd'hui, S@M est le socle du suivi et de l'analyse d'essais systèmes horticoles. Il permet l'échange de pratiques entre utilisateurs *via* un forum. Pour valider les solutions tactiques et stratégiques et réduire l'usage des pesticides, S@M permet d'analyser les effets de l'introduction de différents leviers dans les systèmes de production dans différentes conditions agro-climatiques. A ce jour, les leviers testés par l'UMT FioriMed sont : le suivi épidémiologique rapide, les lâchers de macro-organismes, le nourrissage des acariens prédateurs, les kairomones, les plantes de biocontrôle et les matériaux alternatifs support à la protection intégrée.

L'interface S@M est amenée à évoluer pour s'enrichir avec et en fonction des besoins émergents des utilisateurs, et *via* les projets et les travaux de l'UMT FioriMed. Différents projets facilitent le prototypage, la mise au point de protocoles, l'acquisition de données et le test en conditions réelles des outils développés. Les différences entre les projets résident dans les systèmes de cultures étudiés : horticulture ornementale (Ecophyto DEPHY Expé OTELHO, Interreg Marittimo IS@M), horticulture légumière (tomate pour Eranet SmartIPM et autres systèmes pour Interreg Marittimo IS@M) et arboriculture méditerranéenne (oléiculture pour Interreg Marittimo IS@M).

Le prototype en cours de développement doit encore être testé par des utilisateurs professionnels (conseillers et producteurs) pour à la fois valider la robustesse des propositions, proposer la meilleure structuration possible et résoudre les éventuels dysfonctionnements de développement

informatique. A terme, l'objectif de l'outil est de fournir des bilans personnalisés aux utilisateurs (bilans de cultures, de campagne et d'entreprise) pour orienter les décisions d'intervention des horticulteurs. D'ores et déjà, les producteurs inclus dans les projets DEPHY Expé peuvent visualiser les sorties issues du prototype et reconcevoir leur stratégie de protection des cultures. Un prototype consolidé sera proposé à un panel de producteurs accompagnés de leurs conseillers fin 2019.

## A PROPOS DE L'UMT FIORIMED

L'Unité Mixte Technologique FioriMed « Multi-performance des cultures horticoles protégées » portée par ASTREDHOR et l'Institut National de la Recherche Agronomique veut répondre à l'impératif stratégique de réduction de l'usage des pesticides dans les cultures horticoles ornementales protégées - en réponse au plan Ecophyto - grâce à la réalisation de programmes de R&D. Le projet implique également trois partenaires associés : la Chambre d'agriculture des Alpes-Maritimes, l'Inria de Sophia-Antipolis et EPLEFPA, le Pôle de Formation Vert d'Azur d'Antibes.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Decoin M. (coord.), 2017. Cultures ornementales : un outil connecté aide à réduire les pesticides. *Phytoma*, 701, p. 11-38.

Jeannequin B., Dosba F., Plénet D., Pitrat M., Chauvin J.E., 2011. Vers des cultures fruitières et légumières à hautes performances environnementales. *Innovations agronomiques*, 12, p. 73-85.

Paris B., Boll R., Doise S., Bout A., Robert F., Maugin E., Drouineau A., Denegri T., Cabeu I., Tragin M., Poncet C., 2015. *Un réseau d'expérimentations et des outils télématiques innovants pour réduire l'usage des pesticides en horticulture*. 5e Conférence internationale sur les méthodes alternatives de protection des plantes. AFPP, Lille, 11-13 mars 2015.

Ricci P., Bui S., Lamine C., 2011. *Repenser la protection des cultures : innovations et transitions*. Educagri éditions, Dijon ; Editions Quae, Versailles, 250p.

*Les projets de recherche liés à l'outil S@M sont soutenus financièrement par le Ministère en charge de l'agriculture (CASDAR), l'ONEMA puis l'Agence Française pour la Biodiversité (plan Ecophyto), de l'Union européenne (programmes Interreg), de l'Interprofession VAL'HOR et de l'INRA.*

# Présentation des résultats opérationnels des dispositifs DEPHY FERME et EXPE

Ardavan Soleymani (ASTREDHOR Est)

## UN CONTEXTE DE RÉDUCTION DE L'USAGE DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

---

### DEPHY : UN RÉSEAU, UNE MÉTHODE, DES RÉSULTATS

Action majeure du plan Ecophyto, DEPHY a pour finalité d'éprouver, de valoriser et de déployer des techniques et systèmes agricoles économes en produits phytosanitaires et économiquement, environnementalement et socialement performants. Cette action repose sur un réseau national couvrant l'ensemble des filières végétales françaises et mobilisant toutes les parties prenantes du développement agricole, de l'enseignement, de la recherche et du transfert en agriculture.

Le réseau DEPHY est composé de deux dispositifs :

- le dispositif EXPE, réseau d'expérimentations rassemblant 41 projets testant des systèmes de culture fortement économes en pesticides sur près de 200 sites d'expérimentation,
- le dispositif FERME, réseau de démonstration et de production de références qui regroupe 3 000 agriculteurs engagés dans une démarche volontaire de réduction des pesticides.

### DEPHY FERME : UN RÉSEAU DE 3 000 FERMES ENGAGÉES DANS LA RÉDUCTION DE PESTICIDES

Le réseau DEPHY FERME regroupe 3 000 agriculteurs engagés volontairement dans la réduction de l'usage des produits phytosanitaires sur leur exploitation. Il constitue une action phare du plan Ecophyto, qui vise à réduire l'utilisation des pesticides de 50 % à l'horizon 2025, tout en maintenant une agriculture économiquement performante.

Le réseau FERME est actuellement composé de 257 groupes de 12 agriculteurs en moyenne, chacun suivi et accompagné par un ingénieur réseau. Les fermes DEPHY couvrent les principales filières de production française : grandes cultures, polyculture-élevage, viticulture, arboriculture, cultures légumières, horticulture et cultures tropicales. Elles sont réparties sur l'ensemble du territoire national, y compris les départements et régions d'outre-mer (DROM).

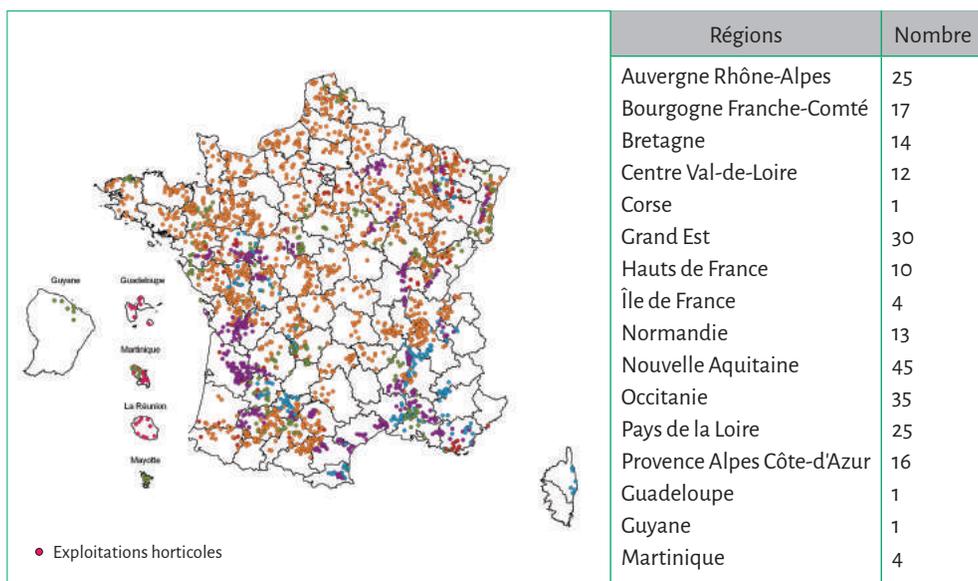


Figure 1 : Localisation des exploitations du réseau FERME.

### Une méthode : accompagner le changement de pratiques

Afin de favoriser les dynamiques d'apprentissage et de changement vers des systèmes agricoles plus économes et d'encourager les processus d'innovation, le dispositif DEPHY propose un accompagnement et une animation spécifiques assurés par des ingénieurs réseau. Chaque ingénieur réseau est en charge de l'accompagnement individuel et collectif d'un groupe d'une douzaine d'agriculteurs appartenant à la même filière et partageant souvent des problématiques proches.

L'ingénieur réseau formalise avec chaque agriculteur de son groupe un projet individuel de diminution des produits phytosanitaires sur 5 ans, sur la base d'un diagnostic initial de l'exploitation et des systèmes de culture en place (assolement, itinéraires techniques, stratégies et modalités de prise de décision...). Il accompagne ensuite la mise en œuvre de ce projet et opère un suivi régulier de l'évolution du système de culture, au travers de bilans de campagne et de l'enregistrement annuel des pratiques.

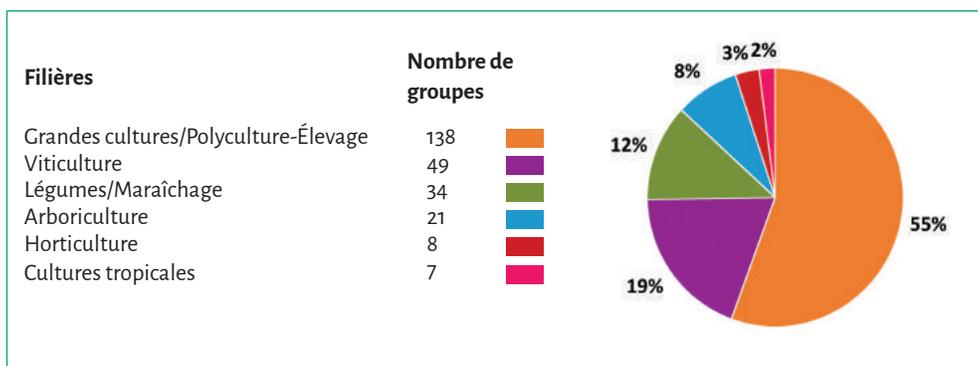


Figure 2 : Répartition du réseau DEPHY FERME par filière.

Les projets individuels des agriculteurs s'articulent autour d'un projet collectif porté par le groupe : des réunions d'échanges, d'apports techniques, des journées de démonstrations sont autant de manières d'avancer collectivement et individuellement vers la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires.

### DEPHY EXPE : UN RÉSEAU NATIONAL DE PROJETS D'EXPÉRIMENTATION «SYSTÈME» RÉDUISANT FORTEMENT LE RECOURS AUX PESTICIDES

Le réseau EXPE est le dispositif expérimental du réseau DEPHY ; il vise à concevoir, tester et évaluer des systèmes de culture fortement économes en produits phytosanitaires (objectif de réduction d'au moins 50 % de l'indice de fréquence de traitement (IFT) de référence), à partir d'un réseau national de projets d'expérimentation. L'échelle de travail privilégiée est le système de culture, échelle à partir de laquelle sont élaborées les stratégies de gestion des bio-agresseurs qui sont testées.

Le réseau EXPE s'est constitué à la suite de deux appels à projets lancés en 2011 et 2012 pour une durée de 5 ou 6 ans. Dans le cadre du plan Ecophyto 2, de nouveaux projets d'expérimentations sont prévus à partir de 2018 (appel à projets en cours).

Actuellement le réseau EXPE comprend 41 projets qui fédèrent en moyenne 5 partenaires. Ce réseau regroupe différents acteurs du monde agricole (instituts techniques, chambres d'agriculture, INRA, coopératives, enseignements, GIE, OP...) et couvre l'ensemble des filières végétales françaises.

Chaque projet est composé d'un ou plusieurs sites expérimentaux, qui sont répartis sur l'ensemble du territoire national. Cela représente près de 200 sites expérimentaux, situés en stations expérimentales (109), chez les producteurs (62) ou encore en établissements agricoles (27). Au total, près de 400 systèmes de culture économes en produits phytosanitaires sont testés dans le réseau.

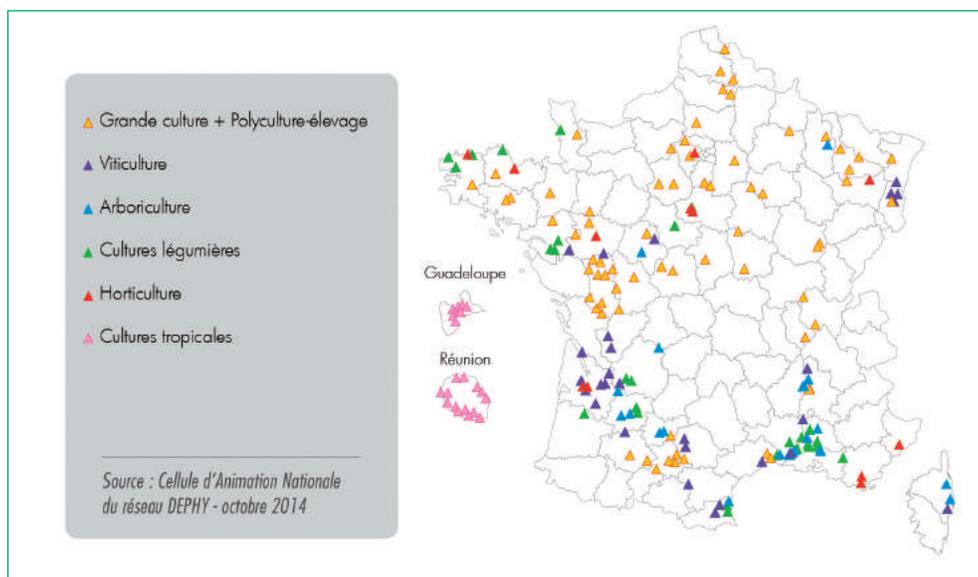


Figure 3 : Un réseau national de 200 sites expérimentaux.

## DEPHY EXPE FILIÈRE HORTICOLE

### 4 projets, 20 sites expérimentaux, 30 systèmes de culture

Le réseau est structuré autour de 4 projets, dont 3 correspondent chacun à une branche de l'horticulture ornementale : plantes en pot, pépinière, fleurs coupées (Hortipot, Hortipépi, Hortiflor). Et le 4<sup>e</sup>, le projet OTELHO (Outils TELématiques au service de l'HORTiculture) repose sur le développement d'une gamme d'outils télématiques d'aide à la décision pour suivre, enregistrer et comprendre les dynamiques des bio-agresseurs/bio-défenseurs, dans l'objectif de réduction des intrants phytosanitaires en cultures ornementales sous serre.

Le réseau permet l'expérimentation de 30 systèmes de culture économes répartis sur 20 sites expérimentaux.

Les 4 projets mobilisent l'ensemble des stations d'expérimentation de l'Institut technique de l'horticulture et a permis la création d'une UMT avec une UMR INRA- CNRS-UNS (UMR Institut Sophia Agrobiotech 1355). L'UMT associe également l'Inria, l'Établissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole (EPLEFPA) d'Antibes et la Chambre d'agriculture des Alpes-Maritimes.

### Des situations de production variées

Le réseau n'a pas l'ambition de représenter la totalité de la production horticole française. Cependant, il permet de tester des systèmes de production « bas intrants » dans des situations de production très diversifiées.

La combinaison de la branche de production (plantes en pot, pépinière hors-sol, fleurs coupées...) avec les outils de production (serre lourde, serre plastique, abri ...) et les modes de commercialisation (vente directe, aux collectivités, vente à la distribution spécialisée...) ainsi que les différents climats donne des situations de production extrêmement variées.

#### DES DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX TRÈS HOMOGENÈS

A l'échelle du réseau, il y a une grande homogénéité au niveau des dispositifs expérimentaux :

- 100 % des sites expérimentaux sont des stations expérimentales permettant une prise de risque importante dans la mise en œuvre des systèmes.
- 100 % des sites intègrent un système de référence.
- 30 % des sites testent plusieurs systèmes innovants.
- 5 % des systèmes innovants sont aussi testés directement au sein d'entreprises horticoles volontaires en complément des sites expérimentaux pour faciliter le transfert dans les exploitations.

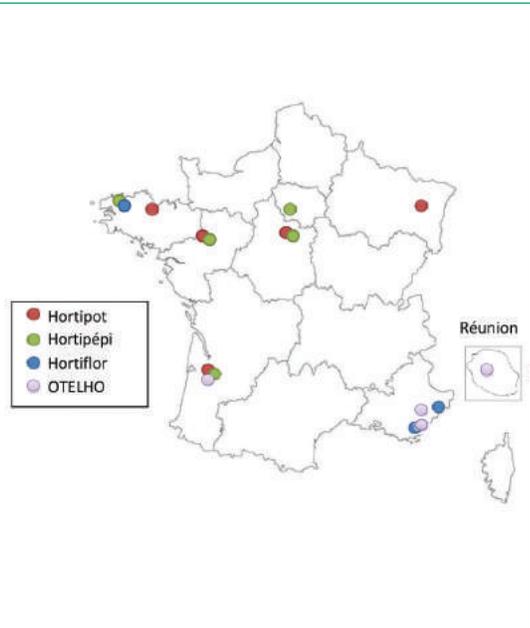


Figure 4 : Localisation des sites DEPHY EXPE.

La répartition géographique des sites d'expérimentation, la multiplication des répétitions spatiales (mêmes protocoles sur plusieurs sites), l'utilisation de l'ensemble des outils de production sur tout le parc expérimental français permet d'appréhender les différentes situations de production.

L'horticulture a la spécificité de regrouper de nombreuses branches d'activités. Cependant, les principaux bio-agresseurs restent les mêmes dans la majorité des cas. C'est ainsi que les avancées dans une branche peuvent s'adapter à d'autres productions. Certaines stratégies mises en place sur une culture peuvent être reproduites avec succès sur d'autres cultures et d'autres branches de productions horticoles.

## LES ÉVOLUTIONS MÉTHODOLOGIQUES AU SEIN DES RÉSEAUX FERME ET EXPE

---

### APPROCHE ANALYTIQUE OU SYSTÉMIQUE ?

La filière horticole a très longtemps utilisé l'expérimentation analytique pour mettre au point des itinéraires de culture en segmentant naturellement les cultures et en s'attachant à étudier l'influence des facteurs, les uns après les autres sur la réussite d'une culture.

Ainsi énormément de données ont été rassemblées sur les différentes cultures, toutes cloisonnées entre elles.

La prise en compte de l'ensemble des facteurs, les interactions entre eux sur la culture et les cultures suivantes dans la même serre ou sur la même parcelle ne sont étudiées que depuis très peu de temps.

L'expérimentation « système » est ainsi une approche nouvelle avec une difficulté particulière à la filière pour définir la notion de système de culture. En effet, la diversité des espèces cultivées sur une même surface, les successions culturales variant fortement chaque année, les durées des cultures allant de quelques semaines à plusieurs années, la culture hors-sol etc. rendent complexe la définition de systèmes de culture fixes pouvant être expérimentés. Cette très grande diversité rend difficile l'acquisition et la capitalisation de données dans le cadre d'expérimentations système.

### UNE DIVERSITÉ DE SYSTÈMES ÉTUDIÉS

Aujourd'hui l'expérimentation horticole évolue de l'expérimentation analytique vers l'expérimentation système. Cette évolution a été observée dans les programmes d'essais des trois projets DEPHY EXPE en basculant progressivement d'expérimentations analytiques (sur géranium, chrysanthème ...) vers des expérimentations en continu de systèmes de culture qui se rapprochent grandement de la réalité des entreprises horticoles.

Les différents exemples tirés des projets DEPHY EXPE illustrent la diversité des espèces cultivées et des techniques de culture.

## EXEMPLE DE RÉSULTATS OPÉRATIONNELS OBTENUS

### Le thrips

Le thrips est l'un des principaux ravageurs en cultures ornementales et fleurs coupées. Il entraîne des dégâts importants le plus souvent en déformant ou décolorant l'inflorescence et le feuillage.



Figure 5 et 6 : Dégâts de thrips sur fleurs de gerbera et chrysanthème.

Le principale levier mis en place pour lutter contre ce ravageur est l'utilisation de la Protection Biologique Intégrée (PBI). Trois auxiliaires ont principalement été testés en plantes en pot et fleurs coupées : *Macrocheles robustulus*, *Neoseilus* (ou *Amblyseius*) *cucumeris*, et *Amblyseius swirskii*.

*Macrocheles robustulus* permet de cibler les pupes présentes dans le sol afin de limiter l'émergence des ravageurs. Cependant, il n'a pas démontré une grande efficacité dans les conditions d'essais réalisés.

Les deux autres auxiliaires, des acariens prédateurs, *Neoseilus* (ou *Amblyseius*) *cucumeris* et *Amblyseius swirskii* ont permis un contrôle des populations de thrips en culture de plantes en pot. Ainsi sur certains sites d'expérimentation où la pression reste faible à moyenne, l'utilisation de ces auxiliaires permet de ne plus utiliser de produits phytosanitaires.

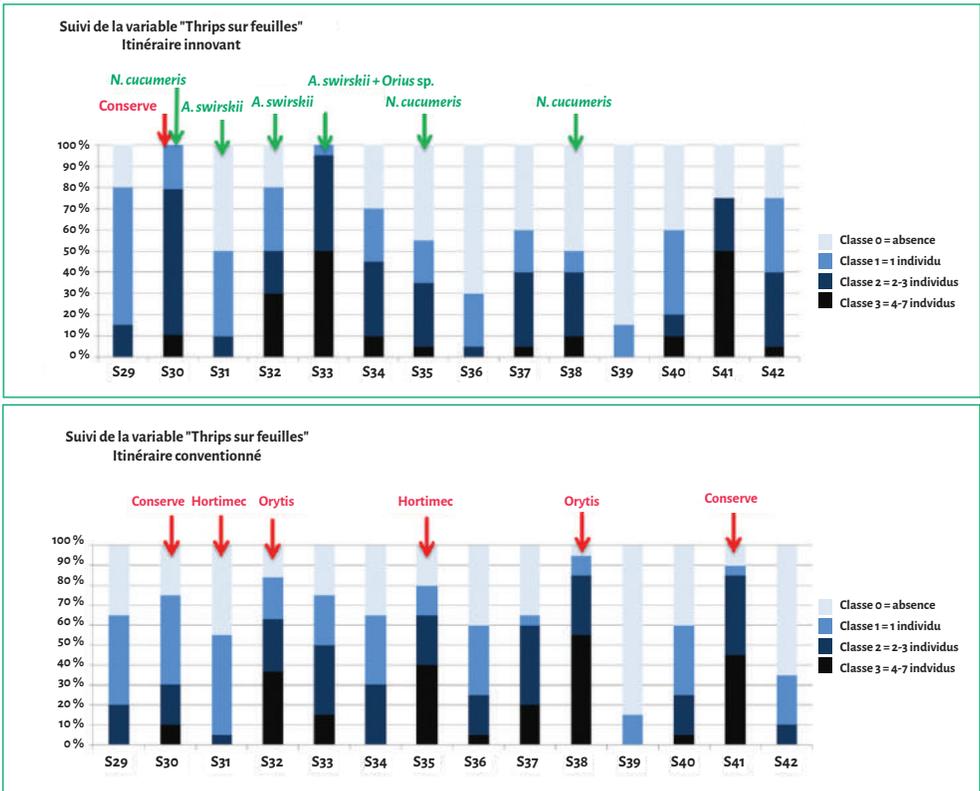


Figure 5 et 6 : Suivi des populations de thrips sur chrysanthème - Hortipot.

Dans les conditions climatiques du sud de la France, les pressions étant plus fortes, il est encore nécessaire de réaliser des traitements phytosanitaires lorsque le seuil de nuisibilité est dépassé. Cependant, l'utilisation de ces auxiliaires a permis de réduire les traitements et de gagner 1 à 3,5 IFT sur des cultures de chrysanthèmes par rapport à une culture conventionnelle menée entièrement en chimique.

En fleurs coupées, ces auxiliaires permettent de limiter les populations de thrips, mais n'évitent pas complètement les traitements phytosanitaires. En effet, les exigences de qualité en fleurs coupées n'autorisent aucun défaut sur la fleur et le feuillage. Même si l'utilisation de la PBI ne permet pas d'éviter totalement l'utilisation des produits phytosanitaires, elle permet cependant des baisses d'IFT significatives.

En fleurs coupées en pleine terre, une reconception de la rotation des cultures avec l'introduction d'une culture à faible sensibilité aux thrips a été étudiée.

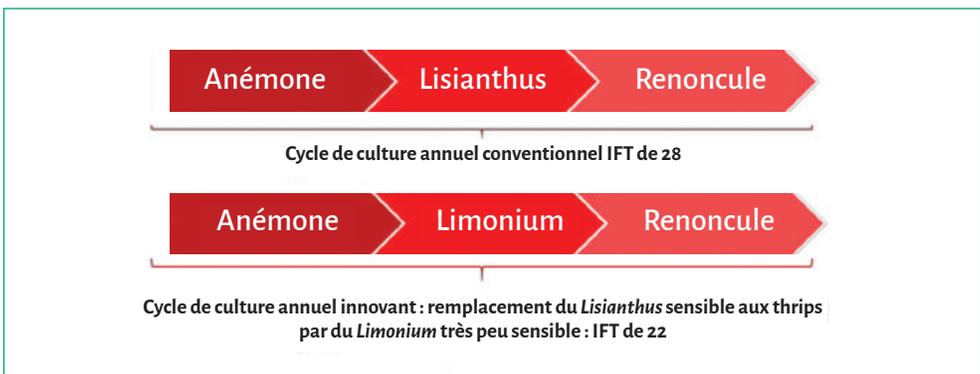


Figure 7 : Reconception de la rotation des cultures avec l'introduction d'une culture à faible sensibilité aux thrips - Hortiflor.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La vocation DEPHY EXPÉ est d'expérimenter des systèmes en forte rupture vis-à-vis de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques. Ces expérimentations doivent permettre de lever des verrous scientifiques et techniques tout en ayant une approche économique permettant la possibilité de transfert dans les entreprises horticoles.

Les entreprises engagées au sein des groupes DEPHY FERME intègrent les résultats de ces avancées pour les tester à l'échelle d'un système de culture, puis d'une exploitation entière. Ainsi ces avancées sont confrontées à la réalité de la vie économique des entreprises. C'est à ce stade que la multiperformance prend tout son sens : l'entreprise se doit d'être performante dans les domaines technique, économique, environnemental et social. DEPHY FERME est un laboratoire au sein duquel les entreprises expérimentent et ajustent quotidiennement l'utilisation des leviers dont ils disposent.

Enfin, cette chaîne de transfert se poursuit par les Groupes 30 000 qui viennent mettre en place les solutions éprouvées par ces entreprises innovantes.

Source des graphiques et photos : Cellule d'Animation Nationale DEPHY

## **POUR ALLER PLUS LOIN :**

DEPHY : Un Réseau, une Méthode, des Résultats. In Ecophytopic. Ecophytopic [en ligne]. Disponible sur <http://www.ecophytopic.fr/dephy/dephy-reseau-dephy>

# Avancées dans les autres filières et perspectives de recherche pour l'horticulture et le paysage

Fabien Robert (ASTREDHOR)

et David Vuillermet (ASTREDHOR Auvergne-Rhône-Alpes)

L'horticulture, par la diversité de ses systèmes de production et de plantes cultivées, doit faire face à de multiples bio-agresseurs dans des situations très diverses. Les entreprises du paysage et les collectivités sont aujourd'hui confrontées à la Loi Labbé. Ces contextes imposent aux acteurs de notre filière d'être en veille sur tous les fronts mais avec l'avantage que dans les solutions d'adaptation, le végétal lui-même peut être la variable d'ajustement. La filière horticole n'est naturellement pas la seule à rechercher des solutions de remplacement des pesticides de synthèse. En effet, des filières beaucoup moins diversifiées que les cultures horticoles doivent trouver des solutions durables face à des bio-agresseurs résistants ou émergents pour la gestion des adventices. Certains outils et méthodes développés par ces filières qui pourraient trouver rapidement des applications pour l'horticulture et le paysage sont présentés dans cet article dédié aux perspectives tout comme d'autres solutions en devenir nécessitent encore des travaux de recherche pour trouver des applications dans notre filière.

## L'ANALYSE D'IMAGE POUR LA GESTION DES BIO-AGRESSEURS ET DES ADVENTICES

---

En maraîchage, un logiciel (Agathe) de reconnaissance d'insectes couplé à une caméra (BEEcam) a été mis au point pour identifier et surveiller certains ravageurs des plantes cultivées (voir article "Le piégeage des ravageurs"). De tels dispositifs trouveront rapidement des applications pour l'horticulture pour permettre des mesures en continu et de manière automatisée et évaluer l'effet d'une infrastructure agro-écologique sur les populations de ravageurs. En matière d'analyse d'image, d'autres solutions sont apparues ces dernières années mais n'ont encore trouvé que peu d'application en horticulture. La contamination par des maladies fongiques foliaires, voire des ravageurs, peut être détectée par des analyses d'image dans certains spectres électromagnétiques. En effet, tout corps éclairé réémet un certain nombre d'ondes qui lui sont caractéristiques. Après étalonnage sur des plantes saines, il est possible ensuite de détecter les problèmes liés à différents stress tant physiologiques qu'induits par des bio-agresseurs. De telles détections peuvent être automatisées avec des systèmes d'analyse fixes (caméras), voire robotisées (avec caméras embarquées par des drones par exemple) pour les surfaces plus importantes (Boissard *et al.*, 2003 ; Gilliot, 2016). Des applications commencent à apparaître pour les grandes cultures et des utilisations en horticulture avec des systèmes miniaturisés seront certainement possibles dans les années à venir.

L'analyse d'image est également développée pour l'identification d'adventices en culture de pleine terre. Les systèmes (caméras et logiciels de reconnaissance) embarqués (tracteurs) couplés à des systèmes de désherbage (pulvérisation, thermiques, mécaniques) permettent de déclencher l'action de désherbage. De tels systèmes commencent de fait à être développés pour

les grandes cultures pour le désherbage en inter-rang (Le Gall, 2017) et sont en expérimentation en maraîchage (Da Costa, 2017). L'intérêt de tels outils en pépinière de pleine terre serait à réfléchir en fonction des types d'enherbement, des types de cultures à désherber afin de voir leur efficacité.

Autres solutions développées en agriculture biologique, les barrières physiques positionnées à même les plantes. Des transferts vers l'horticulture sont effectifs ; d'autres solutions mériteraient d'être testées et développées. Ce sont des substances simples, minérales, organiques et selon les substances, il peut y avoir aussi une action chimique qui bloque un processus vital pour le bio-agresseur, ou même de stimulation des défenses de la plante. Par exemple, le kaolin utilisé comme répulsif et barrière physique dans les vergers ou les productions légumières, dissuade les ravageurs de venir s'implanter sur la culture et gêne également les déplacements, la ponte et la prise de nourriture des insectes sur le feuillage et les fruits (Picault *et al.*, 2018).

## LA SOLARISATION ET LES PLANTES À MOLÉCULES D'INTÉRÊT POUR LA DÉSINFECTION ET LE DÉSHERBAGE

---

En lutte contre les adventices et les maladies du sol, la solarisation en pleine terre permet de désinfecter le sol sur les 10-15 premiers centimètres. Cette technique, obtenue par élévation de la température grâce à l'eau comme vecteur calorifique et la couverture par un film plastique, est limitée aux zones ensoleillées et impose une indisponibilité du sol pendant plusieurs semaines. Cette technique a été évaluée pour des cultures horticoles à rotation courte (fleurs coupées) et est apparue satisfaisante.

Moins usitée en horticulture, la biofumigation, avec des brassicacées ou des alliées, en inter-cultures et enfouies, permet de la même manière de limiter les maladies telluriques et les adventices. Le mode d'action est dans ce cas chimique par action de composés soufrés notamment, libérés lors de la culture et lors de la décomposition après enfouissement de la culture

Mettant en œuvre des principes d'actions semblables, mais avec des plantes allélopathiques, les chercheurs suisses de la station d'expérimentation d'Agroscope Changins-Wädenswil ont mis en évidence l'effet inhibiteur sur la croissance des mauvaises herbes de l'enfouissement de feuilles d'*Artemisia annua* dans le sol. L'effet inhibiteur est davantage marqué quand les feuilles d'armoise ont une forte concentration en artémisinine.

De tels effets apparaissent prometteurs et commencent à être intégrés dans des schémas agricoles. En culture de vigne, le brome des toits (*Bromus tectorum*) aurait montré un comportement intéressant lors des premiers essais, car malgré une faible vigueur (et donc une moindre compétition pour la vigne) le contrôle des adventices était satisfaisant (Delabays, 2009).

L'application d'un paillis à base de plantes aromatiques, comme la menthe, l'origan ou le thym en culture maraîchère, a montré une réelle inhibition de la croissance des adventices, mais également des plantes cultivées. Des travaux de recherche sont donc nécessaires pour trouver les bons équilibres. D'un point de vue général, avant toute application, des évaluations doivent être menées pour distinguer l'effet allélopathique de la simple compétition naturelle aux ressources.

## LA MÉCANISATION ET ROBOTISATION DU DÉSHERBAGE

---

En maraîchage, les robots de désherbage sont devenus des habitués des salons professionnels et des concours d'innovation. L'intérêt de ces outils ? Un fonctionnement électrique, une diversité d'instruments mécaniques, une automatisation et une autonomie de plus en plus grande. Ces robots ont trouvé un bon terrain de démonstration en maraîchage, en apportant une réponse pour les besoins de l'agriculture biologique et en limitant la pénibilité et la main d'œuvre. Les demandes pour l'adaptation de ces outils pour la pépinière sont en pleine augmentation, comme en témoigne la forte présence des fabricants sur des salons professionnels comme le SIVAL, mais également IPM Essen en 2018. L'intérêt pour la filière est un élargissement des solutions offertes par ces entreprises, avec d'une part une progression et une amélioration des outils mécaniques et d'autre part, le développement de process high tech comme des systèmes d'alertes aux producteurs (par SMS, Internet), des outils de reconnaissance optique de la ligne de culture, le guidage par GPS... Des travaux d'ASTREDHOR sont en cours pour étudier l'adaptabilité de ces techniques et des nombreux outils disponibles, (binette, herse étrille, doigt Kreiss...) en pépinière ornementale et forestière de pleine terre.

Si des solutions de gestion des flores spontanées issues de l'agriculture semblent pouvoir être adoptées en JEVI, il est à noter qu'à l'inverse des solutions développées pour les espaces verts peuvent être adoptées pour les zones de production horticole. En effet, en premier lieu dans les collectivités, la gestion de l'enherbement est le point le plus problématique avec la restriction de l'utilisation des désherbants chimiques. Ainsi, la mécanisation s'est largement développée avec des solutions intéressantes pour le désherbage des allées quelles que soient les types de surfaces. Pour cela, une grande diversité d'outils a fait son apparition, que cela soit à lames, à disques, à brosses... Ces outils, avec quelques adaptations, pourraient certainement être utilisés en pépinière pour gérer les allées de culture. Sur des besoins plus localisés, des innovations d'outils à main électrique, comme des débroussailluses, des bineuses avec un portage de la batterie dans le dos offrent des solutions à tester en zones de production horticole ; d'autres seraient certainement à développer sur la base de ces outils. La technologie du "sans fil" permet de proposer des outils plus légers, maniables et avec une bonne autonomie.

## LA LUMIÈRE POUR CONTRÔLER LES BIO-AGRESSEURS

---

Parmi les solutions en devenir, la perturbation des insectes et la limitation du développement des agents pathogènes des parties aériennes des cultures par certaines longueurs d'ondes du spectre lumineux permettront certainement de contribuer à la préservation des cultures. Les champignons comme l'oïdium sont sensibles à certaines longueurs d'ondes de la lumière. Ainsi, un éclairage dans le spectre des UV, pendant 12 heures à  $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  avec  $\lambda = 400-410$  (Hui *et al.*, 2016) ou un éclairage bleu pendant 21 heures avec  $\lambda = 460$  à  $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (Kangmin *et al.*, 2013), permet de réduire de plus d'un tiers le développement du botrytis sur feuille de tomate. Des rayons rouges, à 660 nm, générés la nuit, permettent de réduire fortement la germination, avec une action presque totale pour des intensités de  $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (Suthaparan *et al.*, 2010). De même,

les insectes peuvent être perturbés, désorientés par des changements de longueurs d'ondes. Les mécanismes de défense des plantes (épaississement des parois, activation de certaines voies biochimiques) sont également améliorés et permettent une meilleure résistance (Ballaré *et al.*, 2012 ; Wit *et al.*, 2013).

Le développement des éclairages à base de LEDs (diodes électroluminescentes) autorise aujourd'hui des expérimentations pour l'horticulture avec des perspectives d'application qui pourraient être techniquement et financièrement accessibles par les professionnels. C'est l'une des orientations actuelles de l'Institut.

## LES INSECTES AUTOCIDES

---

La méthode du contrôle des populations par contrôle autocide des insectes ravageurs commence à être employée dans le cas de fléaux tel que la lucilie bouchère (*Cochliomyia hominivorax* (Coque-rel)) dont le principe a été employé d'abord au Mexique et aux États-Unis, puis en Lybie à la fin des années 1980 (Blum, 2014). Les stérilisations sont obtenues par différents procédés (incompatibilité cytoplasmique, modification génétique, ionisation). Les utilisations se sont poursuivies ces dernières années aux États-Unis contre la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*) en Floride et Californie, en Jordanie et au Canada.

De telles solutions de contrôle permettent d'envisager de pouvoir s'attaquer à des ravageurs invasifs et endémiques tels que le thrips. Cela nécessite naturellement de pouvoir identifier les possibilités de stérilisation sur un tel insecte, sachant que plusieurs espèces, races et souches de thrips coexistent souvent pour ravager les cultures.

## LE LASER ANTI-INSECTE

---

En 2017, un laser anti-insecte a été mis au point aux États-Unis, pour lutter contre le psylle asiatique des agrumes qui cause de graves dégâts du fait de la transmission d'une bactérie, *Candidatus Liberibacter americanus*. L'élimination se fait en trois temps. Un premier laser permet de détecter le passage d'un insecte dont le vol est analysé par une caméra haute vitesse permettant, par couplage à un logiciel de reconnaissance, l'analyse d'image et la mesure de la fréquence de battements d'ailes sur une distance allant jusqu'à huit mètres. Un deuxième laser se charge de l'éradication si la reconnaissance est confirmée. Selon l'étude publiée (Mullen, 2016), les résultats ont confirmé l'efficacité du dispositif à reconnaître et éliminer le psylle asiatique et aussi l'anophèle, moustique porteur de l'agent responsable du paludisme. Il est donc facile d'imaginer dans un avenir proche la mise au point d'un tel matériel pour lutter contre d'autres ravageurs inféodés aux cultures ornementales. La difficulté résidera, tout d'abord, dans la reconnaissance par le logiciel des insectes à cibler (thrips, aleurodes, etc) et ensuite, de réussir à prospecter tous les volumes des systèmes de cultures pour atteindre le maximum de ravageurs.

## LA DÉTECTION DE SPORES DANS L'AIR AVEC ANALYSE EN TEMPS RÉEL

---

Anticiper le développement des bio-agresseurs est un bon moyen pour mieux les contrôler. Ainsi, la mesure de spores de mildiou présentes dans l'air grâce à l'utilisation de capteurs de spores permet pour la culture de pomme de terre de prévenir le développement de ce champignon et de mieux positionner les traitements (Cesar, 2016). Les spores collées sur un milieu gras sont récupérées régulièrement pour être analysées en laboratoire afin de quantifier le nombre de spores présentes dans l'air. Dans un futur proche, des analyses en temps réel peuvent s'imaginer avec des solutions couplées dans le domaine de l'analyse par infrarouge (Lecellier, 2013). De tels dispositifs existent pour vérifier la qualité dans le domaine agro-alimentaire, de molécules ou de matières particulières. Un tel couplage n'existe pas encore pour des maladies agricoles, mais peut être envisagé dans les années à venir. Des détections par d'autres techniques telles que la fluorométrie sont également envisageables à terme (Loison, 2013).

## LES MÉTHODES DE DIAGNOSTIC MOLÉCULAIRE DES MALADIES AU CHAMP

---

Issues des laboratoires pour permettre des analyses en haut débit, les puces à ADN offrent des perspectives d'analyse au champ. Le principe repose sur la fixation chimique sur des plaques de supports inertes (verre, silicium, plastique...) d'un grand nombre de courtes séquences d'ADN correspondant à des régions transcrites de l'ADN de pathogènes ou ravageurs à détecter, et qui constituent ainsi un ensemble de sondes capables d'identifier des séquences d'ADN complémentaires de ces organismes. Les plaques contiennent autant de zones que d'organismes à détecter. Pour identifier la présence ou non des organismes à révéler, ces plaques sont mises au contact d'extraits issus de broyats à analyser. Ces extraits sont mis au préalable à incuber en présence de produits permettant la fabrication de séquences d'ADN marqués par des colorants. Si les extraits contiennent les organismes à révéler, les séquences d'ADN fabriquées et colorées, vont se fixer aux ADN sondes des plaques et permettre de révéler la présence des organismes recherchés. La lecture des plaques est généralement automatisée pour éviter les erreurs.

Des utilisations en champs commencent à apparaître pour des cultures d'importance économique forte (vigne, blé), dans l'objectif de déterminer des contaminations par des pathogènes du type champignons, virus ou bactéries. Un tel outil est disponible en version portable et connectée mais ne peut révéler qu'une maladie à la fois (Le Corre, 2017). Des applications pour les productions horticoles nécessiteraient d'identifier les séquences spécifiques des agents pathogènes à détecter, de mettre au point la fixation sur les supports et les conditions de révélation. L'intérêt technique pour les professionnels serait naturellement à évaluer par rapport aux objectifs de protection des cultures considérées, en intégrant la pertinence économique d'un tel outil.

Compte tenu du développement de nouvelles technologies annexes, il est possible d'imaginer dans un futur proche de tels outils d'analyses robotisés et automatisés avec information aux professionnels du résultat des analyses pour qu'ils puissent envisager les moyens de lutte adaptés aux problèmes ainsi révélés.

## CONCLUSION

Si l'horticulture n'est pas en reste pour développer des solutions alternatives aux molécules xénobiotiques, des solutions peuvent encore être développées, puisées dans les autres filières agricoles, dans d'autres secteurs industriels, en mimant les structures et les fonctionnements de la nature. Si les moyens financiers peuvent être un frein au développement de solutions alternatives, la seule réelle limite pour créer des solutions reste l'imagination de ceux qui les élaborent.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Ballaré C.L., Mazza C.A., Austin A.T., Pierik R., 2012. Canopy light and plant health. *Plant physiology*, 160(1), p.145-155.

Boissard P., Boffety D., Devaux J.F., Zwaenepoel P., Huet P., Gilliot J.M., Heurtaux J., Troizier J., 2003. Cartographie et utilisation de l'indice foliaire du blé à partir de données radiométriques acquises par des capteurs embarqués sur tracteur. *Ingénieries-EAT, Revue ingénieries du Cemagref*, 33 p. 67-74.

Blum B., 2014. *Le contrôle autocide des insectes ravageurs de grande dimension. Une méthode efficace et durable en rapide développement*. Académie d'Agriculture de France, Séance du 9 avril 2014.

Cesar V., 2016. Les capteurs de spores... de la recherche à la pratique. *CRA-WINFO*, 48, p. 2.

Da Costa J.P., 2017. *Projet BIPBIP, Robotique et capteurs au Service d'Ecophyto (ROSE)*. Projet ANR, Ctifl, Elatec, Laboratoire IMS et LaBRI, Lerrère et Fils.

Delabaus N., Wirth J., Bohren C., Mermillod G., Joffrey J.P., 2009. L'allélopathie : un phénomène controversé, mais prometteur. *Revue suisse Agric.*, 41 (6), p. 313-319.

Dapsis L.J., Ferro D.N., 1983. Effectiveness of baited cone traps and colored sticky traps for monitoring adult cabbage maggots, with notes on female ovarian development. *Entomol. exp. appl.*, 33, p. 35-42.

EcophytoPic 1 : [http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/actualites\\_doc/panneau-Anthonome.pdf](http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/actualites_doc/panneau-Anthonome.pdf)

Finch S., Freuler J., Stâdier E., 1980. Trapping *Hylemya brassicae* adults. *Bull. SROP*, 3, p. 11-17.

Gagnon A.E., Roy M., Roy A., 2011. *Impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ennemis des cultures*. MAPAQ, Québec, 80 p. [en ligne]

Gfeller A., Wirth J., 2017. Les cultures intermédiaires allélopathiques : un moyen de lutte contre les adventices ? *Innovations agronomiques*, 62, p. 33-41.

Gilliot, J.M., 2016. Intérêts et limites de l'imagerie drone pour les suivis agronomiques au champ. In : *Des innovations technologiques au service de la gestion de l'eau : drones et télédétection de proximité*. 17e carrefour des gestions locales de l'eau, Rennes, 27-28 janvier 2016.

Guérin P., Stadler E., 1982. Host odour perception in three phytophagous *Diptera*. A comparative study. *Proc. 5th Int. Symp. Insect-Plant Relationships*, p. 95-105.

Hui X., Fu Y., Li T., Rui W., 2017. Effects of different LED light wavelengths on the resistance of tomato against *Botrytis cinerea* and the corresponding physiological mechanisms. *Journal of integrative agriculture*, 16(1), p. 106-114.

Le Gall C., 2017. *Les bineuses prennent le contrôle* [en ligne]. La France Agricole, 11 nov. 2017. <http://www.lafranceagricole.fr/tracteur-et-materiel/desherbage-les-bineuses-prennent-le-controle-1,2,497590301.html>, (consulté le 6 juin 2018).

- Lecellier A., 2013. *Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle*. Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 194 p.
- Le Corre M., 2017. Détecter l'ADN de pathogènes au champ. *Réussir Fruits & Légumes*, 371, p. 58.
- Lefebvre M., Leblanc M., Tellier S., Gilbert P.A., 2009. *Utilisation de plantes aromatiques comme désherbant en production végétale biologique*. Fiche de synthèse. IRDA, MAPAQ, Cetab, 3 p. [en ligne]
- Loison P., 2013. *Etude de la spore de Bacillus subtilis : caractérisation des structures impliquées dans sa résistance*. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 199 p.
- Montfort F., 2011. Intérêt et faisabilité de la biofumigation avec des Brassicacées en cultures légumières de plein champ. *Journées techniques Fruits et légumes biologiques*, p. 37-41.
- Mullen E., Rutschman P., Pegram N., Patt J., Adamczyk J., Johanson E., 2016. Laser system for identification, tracking, and control of flying insects. *Optics Express*, 24 (11), p. 11828-11838.
- Parès L., 2011. Intérêt et faisabilité de la biodésinfection avec des Brassicacées en maraîchage sous abri. *Journées techniques Fruits et Légumes biologiques*, p. 42-45.
- Picault S., Quennesson S., Roy G., Davy M., Torres M., Ginez A., Schoeny A., 2018. Utilisation de plantes de service et de kaolin pour gérer les populations de pucerons et de thrips en cultures légumières (AGATH). *Innovations Agronomiques*, 63, p. 385-397.
- Rice E.L., 1984. *Allelopathy*. Academic Press, New York, 368 p.
- Han S., Cointault F., 2013. *Détection précoce de maladies sur feuilles par traitement d'images*. Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur. Orasis, Cluny, 10-14 juin 2013.
- Suthaparan, A., Torre S., Stensvand A., Herrero M.L., Pettersen R.I., Gadoury D.M., Gislerød H.R., 2010. Specific light-emitting diodes can suppress sporulation of *Podosphaera pannosa* on greenhouse roses. *Plant disease*, 94(9), p. 1105-1110.
- Vioix J.B., 2004. *Conception et réalisation d'un dispositif d'imagerie multispectrale embarqué : du capteur aux traitements pour la détection d'adventices*. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 218 p.
- Wit M., Spoel S.H., Sanchez-Perez G.F., Gommers C. M., Pieterse C. M., Voosenek L.A., Pierik R., 2013. Perception of low red: far-red ratio compromises both salicylic acid-and jasmonic acid-dependent pathogen defences in *Arabidopsis*. *The Plant Journal*, 75(1), p. 90-103.



©ASTREDHOR • 44 rue d'Alésia • 75682 Paris cedex 14 • 01 53 91 45 00 • [www.astredhor.fr](http://www.astredhor.fr)  
Coordination éditoriale : Corinne Bitaud, Agnès Langlois, Cécilia Derrien, Fabien Robert  
Relecture : Muriel Beros, mise en page : Catherine Le Van Van  
Photo de couverture : Vincent Calvarin  
Impression : Graph 2000  
Date de parution : juillet 2018  
ISBN : 978-2-912664-30-3  
Crédits photos : ASTREDHOR, Arexhor Pays de la Loire, Arexhor Seine-Manche, Caté,  
CDHR Centre Val de Loire, Conseil Horticole d'Ile-de-France, Creat,  
Est Horticole, GIE Fleurs et Plantes, Plante & Cité, Ratho, Scradh, Sileban, Stepp

Sensibiliser et accompagner les professionnels de l'horticulture et du paysage dans un contexte de réduction voire d'interdiction d'usage des pesticides. Tel est l'objectif d'ASTREDHOR au travers de la publication de ce guide technique. Véritable ouvrage de diffusion et de vulgarisation des travaux de l'Institut sur cette thématique, ce guide permet d'acquérir, au travers d'une vingtaine d'articles, une vision globale des différentes techniques et recherches sur les méthodes de protection des plantes alternatives aux produits phytosanitaires.

Ce guide technique de 140 pages présente, de manière simple et richement illustrée, les méthodes déjà opérationnelles et à venir pour la filière horticole. Il est destiné en particulier aux professionnels de la production et du paysage, ainsi qu'aux enseignants.

Guide technique sur les "Méthodes alternatives en protection des plantes" réalisé avec le soutien de :

