



HAL
open science

Actes du colloque Ecophyto Recherche & Innovation 2021

Xavier Reboud

► **To cite this version:**

Xavier Reboud. Actes du colloque Ecophyto Recherche & Innovation 2021. Colloque Ecophyto Recherche & Innovation 2021, Oct 2021, Visio-conférence, France. 2022, 10.17180/BVZR-DZ03 . hal-03650918

HAL Id: hal-03650918

<https://hal.science/hal-03650918v1>

Submitted on 29 Apr 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

COLLOQUE ÉCOPHYTO RECHERCHE & INNOVATION 2021

ÉCOPHYTO
RÉDUIRE ET AMÉLIORER
L'UTILISATION DES PHYTOS

Les actes du colloque

Synthèse des webinaires
de restitution des appels à projets
Pesticides 2014, JEVI 2016 et PSPE2



7 octobre – 16 décembre 2021

Sommaire

Introduction	4
Synthèse générale des webinaires	
Trente projets de recherche Ecophyto éclairent l'avenir de la protection des plantes	7
Webinaire 1	
À la recherche de molécules naturelles au service de la santé des plantes	10
Webinaire 2	
Les micro-organismes comme défenseurs de la santé des plantes	14
Webinaire 3	
Intégration et optimisation du biocontrôle.....	18
Webinaire 4	
Un monde d'odeurs	22
Webinaire 5	
Macro-organismes : les frères ennemis.....	26
Webinaire 6	
La résistance en protection des cultures.....	30
Webinaire 7	
La flore compagne au service de la santé des cultures et du sol	34
Webinaire 8	
Les itinéraires techniques vers le zéro phyto	38
Webinaire 9	
Regarder plus large que la parcelle	42
Conclusion	
Trois regards sur le Colloque Ecophyto	46
Annexe	
Fiches descriptives des projets.....	49



INTRODUCTION

La réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques constitue une attente citoyenne forte et une nécessité pour préserver notre santé et la biodiversité. Les plans Écophyto successifs matérialisent les engagements pris pour réduire les usages de produits phytopharmaceutiques et parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable.

Sous le format d'une série de 9 webinaires à fréquence hebdomadaire, le **colloque Écophyto Recherche & Innovation 2021** a restitué et mis en perspective les résultats d'une trentaine de projets issus de 3 appels lancés depuis 2015 qui portent sur :

- ▶ La contribution à l'essor du biocontrôle dans le cadre de l'appel Pour et Sur le plan Écophyto 2 ([PSPE2](#)) ;
- ▶ Les notions de résistances et pesticides : résister aux bioagresseurs, vaincre les résistances au changement pour réduire les risques ([Pesticides 2014](#)) ;
- ▶ La mise au point de solutions alternatives aux produits phytopharmaceutiques dans les jardins, espaces végétalisés et infrastructures ([JEVI 2016](#)).

En effet, la recherche-innovation est un levier crucial pour atteindre ces objectifs, dont l'importance s'est renouvelée au fil des plans. L'axe « Recherche & Innovation » du plan Écophyto II+ (axe 2), piloté par 4 ministères (MAA, MTE, MSS, MESRI) avec l'appui du Comité Scientifique d'Orientation Recherche & Innovation (CSO R&I), mobilise et structure les différentes communautés de recherche-innovation, pour produire et améliorer les connaissances et les outils nécessaires pour atteindre les objectifs fixés par le plan en matière de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques et des risques associés.

Une action importante de l'axe Recherche & Innovation est le lancement d'appels à projets de recherche-innovation et la valorisation de leurs résultats. Ainsi, le **colloque Écophyto Recherche & Innovation 2021** s'est adressé à différents publics : communautés de recherche-innovation, professionnels agricoles ou non agricoles, industriels et acteurs de l'agro-fourriture, enseignants et étudiants, décideurs et élus locaux.

Chaque session webinaire a pris la forme d'une restitution des résultats de 2 à 5 projets par leurs porteurs, accompagnée d'interventions de grands témoins :

- ▶ Webinaire 1 : À la recherche de molécules naturelles au service de la santé des plantes - 7 octobre
- ▶ Webinaire 2 : Les micro-organismes comme défenseurs de la santé des plantes - 14 octobre
- ▶ Webinaire 3 : Intégration et optimisation du biocontrôle - 21 octobre
- ▶ Webinaire 4 : Un monde d'odeurs - 4 novembre
- ▶ Webinaire 5 : Macro-organismes : les frères ennemis... - 18 novembre
- ▶ Webinaire 6 : La résistance en protection des cultures - 25 novembre
- ▶ Webinaire 7 : La flore compagne au service de la santé des cultures et du sol - 2 décembre
- ▶ Webinaire 8 : Les itinéraires techniques vers le zéro phyto - 9 décembre
- ▶ Webinaire 9 : Regarder plus large que la parcelle - 16 décembre

Une valorisation du contenu du colloque a été réalisée par le biais d'une diffusion à différents niveaux : mise en ligne des vidéos de présentation des projets sur la [chaîne YouTube dédiée](#), publication

des brochures des webinaires sur la [page EcophytoPIC dédiée](#), et la restitution synthétique des résultats des projets et des points saillants des webinaires dans ce document.

COMITÉ D'ORGANISATION

Animation de l'axe Recherche-Innovation

Mariam Yalaoui (INRAE - UMR Agroécologie), Sibylle de Tarlé (INRAE - UMR Agroécologie), Damien Corazzi (INRAE - UMR Agroécologie),

Membres issus du CSO R&I


Xavier Reboud (INRAE - UMR Agroécologie) ; Camille Dumat (Toulouse INP-ENSAT) ; Marc Gallien (DREETS Normandie) ; Philippe Nicot (INRAE - unité Pathologie végétale) ; Michel Duru (INRAE - UMR AGIR) ; Antoine Messéan (INRAE - unité Eco-Innov) ; Caroline Gilbert (Solagro) ; Thibaut Malausa (INRAE - ISA) ; Thierry Bordin (Chambre Régionale Agriculture Centre-Val de Loire) ; Carole Barthélémy (Université d'Aix Marseille)

Copilotes ministériels de l'axe Recherche-Innovation

Anne-Sophie Carpentier (MTE) ; Anna Grout (MTE) ; Antoine Le Gal (MAA) ; Enrique Barriuso Benito (MESRI) ; Jordan Barlemont (MSS)

CONTRIBUTEURS EXTÉRIEURS

Terre-écoc ; AgroParisTech Services Etude ; Agreenium ; La boîte à verbe

An aerial photograph of a mountain valley. The foreground is dominated by a dense green forest. In the middle ground, a small village with several buildings is visible, surrounded by fields and more forest. The background features rolling hills and mountains under a clear sky. A large, thick red circular arrow icon is positioned in the lower right quadrant of the image, pointing clockwise.

**La réduction de l'usage des
produits phytopharmaceutiques
constitue une attente citoyenne forte et
une nécessité pour préserver notre
santé et la biodiversité**



SYNTHÈSE GÉNÉRALE DES WEBINAIRES

Trente projets de recherche Ecophyto éclairent l'avenir de la protection des plantes

Du 7 octobre au 16 décembre 2021 le Colloque Écophyto Recherche & Innovation 2021 s'est déroulé sous forme d'une série de neuf webinaires mettant en lumière les résultats de trente projets. Succès, promesses, déconvenues, interrogations... Les apprentissages sont nombreux pour ces projets ambitieux cherchant à réguler autrement la pression des bioagresseurs dans le but de réduire l'usage des produits phytosanitaires et les risques associés. Ils ouvrent de belles perspectives, ainsi que le besoin de continuer à consolider les connaissances et les outils de leur application.

Trois appels à projets lancés depuis 2015

Les trente projets présentés dans le cadre du colloque Écophyto Recherche & Innovation 2021 sont issus de trois appels lancés depuis 2015. Ils portent sur la contribution à l'essor du biocontrôle ([Pour et Sur le Plan Ecophyto II, PSPE2](#)), les notions de résistances et de pesticides ([Programme Pesticides](#)) et la mise au point de solutions alternatives aux produits phytosanitaires dans les jardins, espaces végétalisés et infrastructures ([JEVI](#)).

Dans le cadre du colloque 2021 de l'axe Recherche-Innovation du Plan Écophyto II+, neuf webinaires se sont déroulés du 7 octobre au 16 décembre, rassemblant près de 500 participants. Molécules naturelles, micro-organismes, phéromones, macro-organismes, pratiques agronomiques ou plantes de service... Trente projets, issus de trois appels lancés depuis 2015, dessinent les perspectives de la protection des plantes de demain.

Déjà des succès et des produits commercialisés !

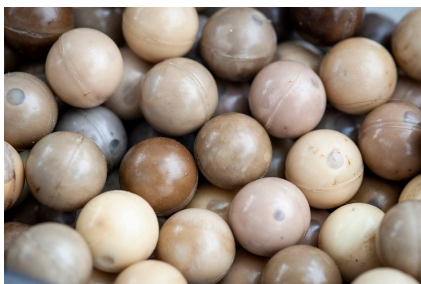
Qu'il s'agisse de champignons terrestres ou marins, de souches indigènes ou exotiques, l'utilisation du vivant pour réguler la pression des bioagresseurs draine de très belles avancées pour réduire l'usage des produits phytosanitaires. Plusieurs projets Écophyto montrent des réductions significatives en conditions expérimentales, comme par exemple [MilPomBio](#) qui réussit à diminuer la dose de fongicides de 40 à 90 % avec des solutions à base de phosphites, pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre. Avec des lipopeptides, le projet [Lipocontrôle](#) arrive à des niveaux de protection contre les maladies allant jusqu'à 96 % pour le blé ou la tomate sous serre. Certaines expérimentations ont permis d'élaborer les toutes premières alternatives biologiques utilisables sur la tomate par exemple, comme le montre le projet [Acarosol](#) contre les acariens ravageurs des solanacées. D'autres sont même allés jusqu'à l'homologation et la commercialisation de produits, comme [OptimPhero](#) et ses phéromones contre la chenille processionnaire du pin et la pyrale du buis.

Compléter les outils et les connaissances pour demain

Au-delà des solutions commercialisées, identifiées ou encore en expérimentation, les projets présentés consolident les connaissances pour l'agroécologie de demain. Le vivant a ses propres codes, et réserve parfois des surprises mettant en échec certaines solutions : le projet [Attract my fly](#) montre par exemple que dans le cas de la mouche du melon, l'utilisation des mâles comme vecteurs de spores de champignons entomopathogènes pour atteindre les femelles et ainsi réguler les pontes n'a pas abouti à couvrir les attentes.

Même lorsque l'efficacité du biocontrôle est avérée, il n'existe pas de baguette magique. À titre d'exemple, dans le cadre du projet [DicaBio](#), des molécules d'origine naturelle ont démontré leur efficacité au laboratoire, mais leurs formulations restent encore à optimiser afin d'étendre les objectifs attendus sur le terrain. De même pour le projet [Rhizodia](#), où les lâchers des coccinelles prédatrices n'ont pas suffi à la régulation des cochenilles ravageuses du cassis, nécessitant donc de poursuivre les recherches afin d'optimiser l'utilisation de ces agents de biocontrôle ou mieux cerner dans quel contexte les déployer.

Les projets présentés consolident les connaissances pour l'agroécologie de demain.



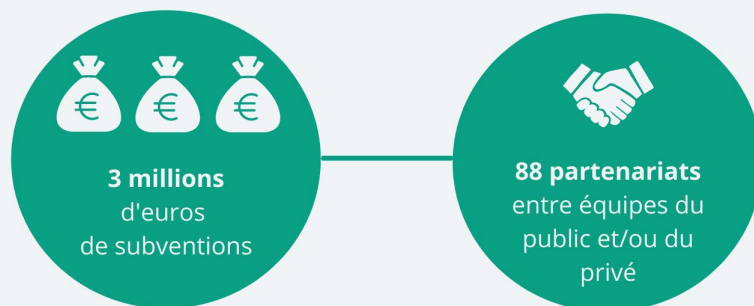
Billes de phéromones.
Crédits photo : © Nicolas Bertrand, INRAE

Optimiser et adapter les pratiques culturales

Si l'utilisation du vivant fait figure d'alternative aux produits phytosanitaires, les cas de substitution, où une solution remplace l'autre toutes choses égales par ailleurs, restent rares. L'objectif est plutôt de créer de nouvelles solutions, à intégrer dans des stratégies globales en évolution, où l'intrant chimique n'est plus la réponse unique. Certains projets empruntent clairement cette voie, par exemple, le projet [Biobot](#), qui associe biocontrôle et prophylaxie contre la pourriture grise du champignon *Botrytis*. D'autres mettent en évidence l'intérêt des plantes de service d'une part pour abriter et faciliter le développement des auxiliaires comme les projets [Pro-Bio-Taupin](#), [Acarosol](#), [Fleur](#) et [MacroPlus](#), et d'autre part, pour lutter contre les parasites du sol comme les projets [Serum](#) et [Biocou](#).

Cette approche combinatoire gagne du terrain, mais nécessite encore dans de nombreux cas d'être validée et fiabilisée par des expérimentations. C'est une autre dimension à prendre en compte pour la recherche : trouver une idée applicable dans un laboratoire ne constitue pas une fin en soi. Pour beaucoup, les projets présentés mettent déjà un pied sur le terrain, parfois sur plusieurs sites et plusieurs années, pour plus de représentativité. Les projets [RegPuc](#) et [Ecoverger](#) proposent par exemple plusieurs leviers à intégrer dans les itinéraires techniques afin de réduire les infestations des ravageurs des arbres fruitiers, ou encore le projet [Das-Revi](#), qui étudie la piste de l'utilisation de nouvelles variétés de vignes résistantes aux maladies.

Quelques chiffres clés sur ces projets de recherche



Trouver une idée au laboratoire ne constitue pas une fin en soi, il est nécessaire de mettre le pied sur le terrain.

Raisonner collectivement

Certains projets présentés lors de ce colloque s'interrogent également sur la dimension spatiale à l'échelle des paysages des impacts générés par les produits phytosanitaires et sur les leviers à mettre en œuvre afin de les limiter (exemple le projet [Rescape](#)). Ils visent même plus loin en impliquant les acteurs concernés, comme les agriculteurs et les jardiniers, dans des démarches participatives dans le but de raisonner collectivement sur les solutions alternatives concrètes et adaptées permettant d'atteindre des objectifs de réduction des usages et des impacts des produits phytopharmaceutiques, comme c'est le cas pour les projets [Resyst](#), [Trajectoires](#) et [Althercol](#).

Les différents plans *Écophyto* concrétisent les engagements pris pour répondre à cet impératif et parvenir à un usage durable des produits de protection des plantes.



Paysage agricole de la ZAPVS, parcelle cultivée et haie adjacente, Projet Rescape.
Crédits photo : © Céline Pelosi, INRAE

Des enjeux sociétaux, une diffusion large

L'enjeu de la réduction de l'usage des produits phytosanitaires et de la limitation des risques associés touche toute la société. Certains projets posent d'ailleurs clairement la question de l'acceptabilité des solutions de biocontrôle pour les agriculteurs... mais aussi par le grand public, de plus en plus désireux de savoir comment sont produits ses aliments. Le colloque *Écophyto Recherche & Innovation 2021* ne s'adressait de fait, pas uniquement aux communautés de recherche-innovation, mais à un public plus large : professionnels agricoles et non agricoles, industriels et acteurs de l'agro-alimentaire, enseignants et étudiants, décideurs et élus locaux. La valorisation des résultats s'effectue à plusieurs niveaux, aussi bien d'un point de vue purement scientifique, avec des articles publiés dans des revues à comité de lecture, que plus largement, grâce à des synthèses écrites et des vidéos des projets mises en ligne sur une [chaîne Youtube dédiée](#). Toutes les informations utiles sont disponibles sur le [site internet EcophytoPIC](#).

L'axe Recherche-Innovation d'Écophyto II+

La réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires représente une attente forte de la société et une nécessité pour une meilleure santé des sols et des êtres vivants. Les différents plans *Écophyto* concrétisent les engagements pris pour répondre à cet impératif et parvenir à un usage durable des produits de protection des plantes, en réduisant leur utilisation et en limitant les risques associés. [L'axe « Recherche & Innovation » du plan Écophyto II+](#) mobilise différentes communautés de chercheurs afin de produire et de compléter les connaissances et les outils nécessaires pour atteindre ces objectifs. Il est piloté par les ministères de l'Agriculture et de l'alimentation, de la Transition écologique, des Solidarités et de la santé, ainsi que de l'Enseignement supérieur de la recherche et de l'innovation, et s'appuie sur l'expertise du Comité scientifique d'orientation Recherche & Innovation (CSO RI).



Cantharide, insecte auxiliaire, prédateur. Crédits photo : © Nicolas Bertrand, INRAE



Webinaire 1

À la recherche de molécules naturelles au service de la santé des plantes



Plants d'*Arabidopsis Thaliana* dans une serre de l'institut Jean-Pierre BOURGIN. Versailles, le 30 septembre 2021. Crédit photo : © Nicolas Bertrand, INRAE

Programme de la session

▶ <u>DICABIO</u>	Valorisation des acides Dicaféylquiniques comme substances naturelles de Biocontrôle (<u>PSPE2</u>)	Myriam Siegwart (INRAE Avignon)
▶ <u>LIPOCONTROLE</u>	Recherche de nouveaux lipopeptides utilisables comme biopesticides, par criblage d'une collection de <i>Pseudomonas</i> (<u>PSPE2</u>)	Philippe Jacques (Université de Liège)
▶ <u>DESHERBAL</u>	Développement et étude de l'efficacité de substances allélopathiques pour améliorer le désherbage des espèces récalcitrantes (<u>JEVI 2016</u>)	Claire Richard (Institut de Chimie de Clermont - Ferrand)

INVITÉ TÉMOIN : **Cédric Bertrand**, Université de Perpignan, Directeur du Département de Chimie, Président du Groupe PO²N, Président de l'Académie du Biocontrôle et de la Protection Biologique Intégrée, Porteur Académique de la Chaire "Sharka" de la Fondation de l'UPVD Responsable Scientifique AkiNaO



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)



Biocontrôle, des perspectives et spécificités pour quelques substances naturelles

Les projets [DicaBio](#), [Lipocontrôle](#) et [Desherbal](#) présentent les potentialités et opportunités qu'offrent les molécules naturelles, en vue de concevoir des produits de biocontrôle... tout en attirant l'attention sur certaines caractéristiques de ces substances, à bien identifier en amont pour exploiter pleinement le potentiel, considérable, de ces solutions.

Quel est le point commun entre le pêcher, les bactéries *Bacillus* et *Pseudomonas*, et le ciste, plante du pourtour méditerranéen ? Ils ont inspiré des projets de recherche relevant d'une même logique : l'utilisation de molécules naturelles dans la perspective de concevoir des solutions de biocontrôle comme alternatives potentielles aux produits phytosanitaires de synthèse, respectueuses de l'environnement et de la santé humaine. Les résultats obtenus par ces trois projets, respectivement [DicaBio](#), [Lipocontrôle](#) et [Desherbal](#) ouvrent des perspectives prometteuses pour la Recherche-Innovation du plan Ecophyto 2+.

Le caractère rapidement biodégradable des matières premières considérées est particulièrement notable dans les trois cas de figure. Qu'il s'agisse des acides diCT et diCQ dans [DicaBio](#), des lipopeptides dans [Lipocontrôle](#) ou des terpènes dans [Desherbal](#), les composés concernés présentent tous cette spécificité. Xavier Reboud, coordinateur de l'axe 2 d'Ecophyto 2+, insiste sur cette différence avec un grand nombre de produits de synthèse.

Lutter contre les résistances

Un autre avantage supposé mais pas toujours confirmé est la bonne durabilité d'action que représentent ces solutions de biocontrôle, par rapport aux produits de synthèse qui favorisent souvent le développement de résistances chez les bioagresseurs. C'est notamment le cas des pucerons ciblés par [DicaBio](#). Les deux substances identifiées, diCT et diCQ, présentent actuellement peu de risque de résistances croisées aux produits insecticides de synthèse, selon les chercheurs. Un seul des clones de pucerons testés s'est avéré insensible. « Mieux connaître l'origine de ce phénomène nous aidera à préciser le mode d'action de ces substances, et de mieux appréhender le risque d'adaptation des pucerons », témoigne Myriam Siegwart, chercheuse à INRAE Avignon.

Dans le cadre de [Lipocontrôle](#), cet aspect commence à être bien pris en compte, et Philippe Jacques, professeur à l'Université de Liège, explique qu'il a « bon espoir » que les mécanismes de résistance des pathogènes fongiques visés par son projet ne se mettent en place que « très lentement », offrant une solution longtemps efficace de protection des grandes cultures, en complément ou en substitution des fongicides de synthèse.

Nécessité de travailler la formulation

De son côté, [Desherbal](#) met en avant le caractère visuel et très pédagogique, de certaines interactions entre plantes. Dans le cadre de ce projet, les terpènes produits par différentes espèces végétales ont été testés pour leur capacité à limiter les germinations de mauvaises herbes au pied des arbres et dans les massifs de fleurs. Ceci s'est fait en partenariat avec la ville d'Aubière (Puy de Dôme), dans le jardin conservatoire de la mairie, puis dans la cour d'école de la commune. « Pour les jardins, la chimie de synthèse est désormais interdite, rappelle Claire Richard, chercheuse à l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand. La commune est ainsi très intéressée par ces travaux, et elle a prévu de poursuivre et d'élargir l'expérimentation. »

☞ Pour les jardins, la chimie de synthèse est désormais interdite. ☞

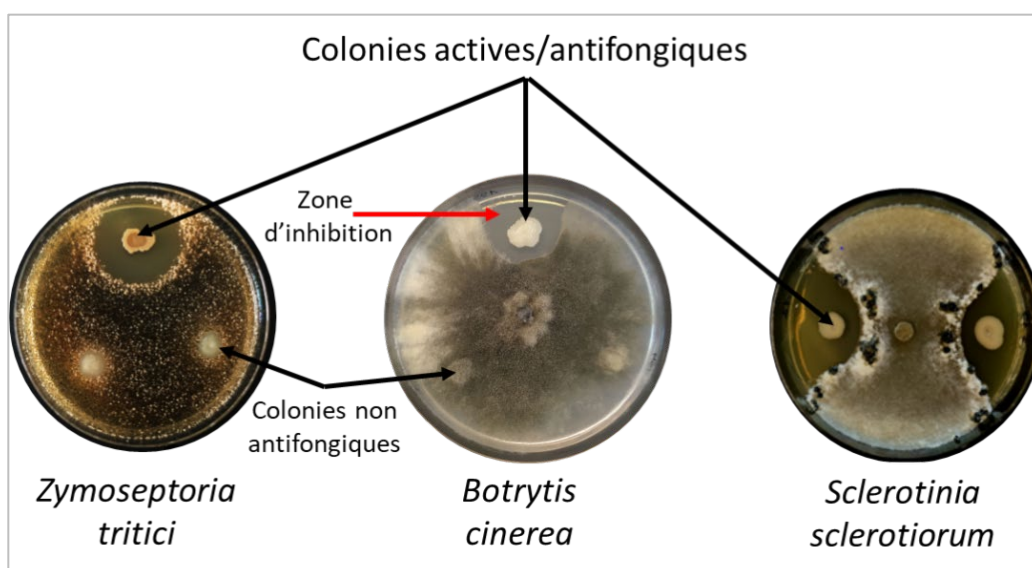
Il s'agit d'identifier les ravageurs, mauvaises herbes ou pathogènes contre lesquels ils permettront de lutter... mais aussi les espèces « non-cibles »

Les témoignages des trois scientifiques dessinent aussi les axes de travail propres à la nature des substances étudiées. Les chercheurs doivent, par exemple, prendre de la hauteur sur des résultats encourageants en conditions expérimentale et trouver le meilleur moyen d'appliquer les nouvelles molécules *in situ*. Le consortium de [DicaBio](#) mise sur une « micro-émulsion » et cherche un partenaire industriel pour y parvenir, espérant résoudre le problème de la très faible pénétration de diCT et diCQ dans les tissus végétaux à protéger. Quant à [Desherbal](#), l'action des terpènes des feuilles du cyprès de Leyland a été expérimentée sous forme de macérat ou de mulch, avec à la clé une réduction « très significative » de la vitesse de germination ou de croissance du trèfle, choisi comme espèce témoin à contrôler. Pour [Lipocontrôle](#), la mise au point d'une formulation assurant la bonne conservation des lipopeptides et leur efficacité est l'un des éléments encore à investiguer.

Un champ de recherche très vaste

Cette partie de la recherche met en évidence l'utilité de collaborer avec d'autres acteurs, spécialistes de la formulation, notamment les firmes phytosanitaires. Elle rappelle également que ces trois projets, malgré leurs conclusions et enseignements novateurs, nécessitent encore des recherches complémentaires. Aucun n'est encore au stade de l'homologation. « C'est le lot de toute innovation partant de zéro, affirme Xavier Reboud. La durée relativement longue entre le début d'un projet et la possible commercialisation d'un produit appelle à ne pas différer le moment de lancer de telles études. »

Une partie de ce « restant à caractériser » pour envisager une possible homologation concerne la sélectivité des substances étudiées. Autrement dit, leur périmètre d'action : quelles sont les espèces sensibles ? L'enjeu n'est pas négligeable. Il s'agit d'identifier les ravageurs, mauvaises herbes ou pathogènes contre lesquels ils permettront de lutter... mais aussi les espèces « non-cibles », autrement dit leurs possibles victimes collatérales. [DicaBio](#) a réalisé une première avancée en établissant que le diCQ n'était pas toxique pour les abeilles. En parallèle, les responsables du projet envisagent un déploiement au-delà de la cible 'puceron', visant certaines maladies fongiques du blé, en particulier pour diCT. Concernant [Lipocontrôle](#), les efficacités mesurées en serre concernent le blé et la tomate, avec des niveaux de protection contre les maladies allant jusqu'à 96 %. Mais les usages envisagés sont plus larges, et ciblent ainsi la septoriose du blé, la sclérotiniose du colza, la pourriture grise sur vigne et tomate. Les risques toxicologiques pour d'autres organismes sont en cours d'évaluation dans le cadre d'un nouveau projet, Ceres (2020-23). Enfin, [Desherbal](#), avertit que l'innocuité des terpènes sur la vie du sol reste à préciser pour le mulch de feuilles du cyprès de Leyland. D'autres plantes riches en terpènes restent à identifier et à tester.



Tests d'évaluation de l'activité antifongique de bactéries *P. syringae* en laboratoire. Les bactéries antifongiques inhibent la croissance des champignons (zone d'inhibition). Projet [LIPOCONTROLE](#).
Crédit photo : © Alexandre Bricout, Université de Lille

► **Le regard de Cédric Bertrand, professeur à l'Université de Perpignan**

« **Le 'sourcing' des matières premières est un enjeu à ne pas négliger !** »

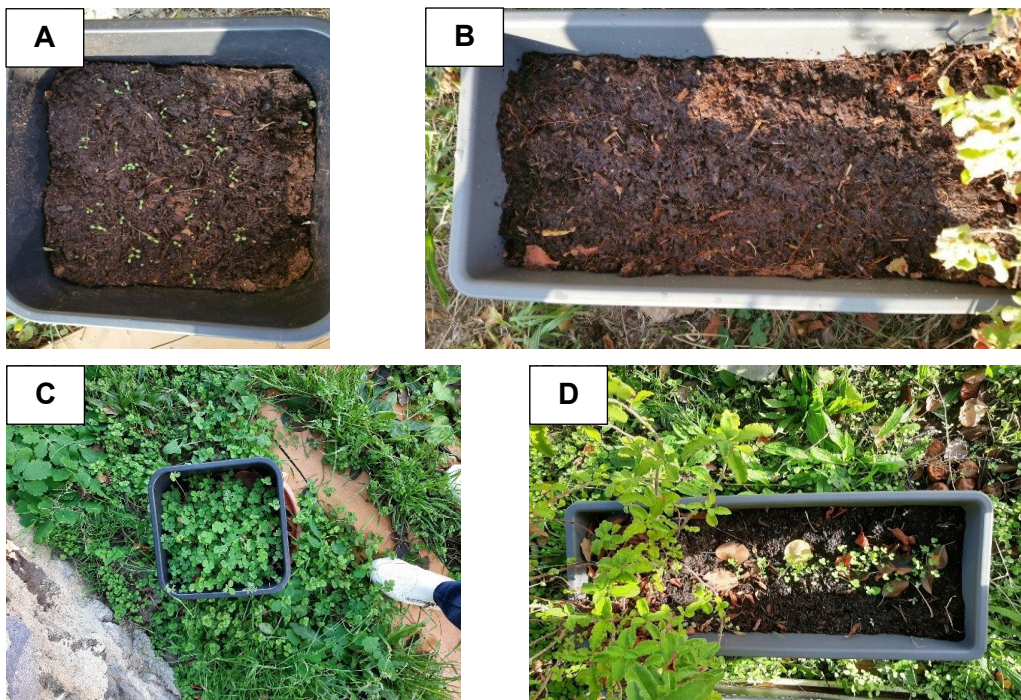
L'invité témoin du webinaire, Cédric Bertrand, confirme les tendances qui se sont dégagées des différents témoignages. « Tout part de l'observation de la nature ! rappelle-t-il. Les composés bioactifs dont on parle sont des médiateurs chimiques qui permettent à la plante d'interagir avec les micro et macro-organismes environnant. Par divers modes d'action, ceux-ci sont capables de jouer un rôle protecteur pour la plante : répulsif des bioagresseurs (insectes, champignons, adventices, etc.) ou stimulateur de ses défenses. »

☞ *Tout part de l'observation de la nature !* ☞

Toutefois, il met en garde contre le risque de déplacement du problème à d'autres cultures en s'appuyant sur un autre projet, *Folivarde*. La plante dont est issu le composé central du projet, l'inule visqueuse, pousse dans des friches. « Pour envisager une production à grande échelle, il convient de se poser, dès aujourd'hui, la question suivante : est-on en mesure de récolter suffisamment d'inule dans des friches existantes, ou faut-il prévoir des cultures d'inules ? » Dans ce dernier cas, il

adresse un autre point d'attention : veiller à ce que la production de cette inule ne nécessite pas elle-même certains produits phytosanitaires de synthèse, car dans ce cas, le problème ne serait que déplacé de la culture protégée à celle que l'on cultive pour produire des molécules naturelles...

Se pose également la question de la réglementation : comment la faire évoluer pour permettre à ce panel d'outils d'arriver sur le marché, tout en prenant en compte l'impact environnemental de ces molécules lié à leur spectre d'activité ? Car aujourd'hui les processus d'homologation sont longs et complexes, en particulier pour les extraits complexes qui pourraient pourtant être utilisés à plus faible dose que les produits de synthèse. Dans le cas du projet *Folivarde*, « les premiers criblages écologiques, à partir de cinq plantes, datent de 2010. Du travail de laboratoire aux tests en condition réelle, c'est une course de fond qui pourrait aboutir à l'homologation d'une solution à horizon 2024. ».



Effet du cyste sur la germination et la pousse du trèfle. A : témoin 9 jours après semis ; B : pot avec le cyste planté à droite 9 jours après semis ; C : témoin 5 mois après semis ; D : pot avec le cyste planté à droite 5 mois après semis. Projet [DESHERBAL](#). Crédit photo : © Claire Richard, ICF/CNRS



Webinaire 2

Les micro-organismes comme défenseurs de la santé des plantes



Souches de champignons cultivés en boîte de pétri. Certains de ces microorganismes sont utiles pour protéger les plantes des maladies et d'autres bioagresseurs. INRAE, Sophia-Antipolis. Crédit photo : © Nicolas Bertrand, INRAE

Programme de la session

▶ BIOTI-VIGNE	Biotisation de plants de vigne en pépinière pour prévenir les maladies du bois (PSPE2)	Marc Fermaud (INRAE Bordeaux)
▶ Systemyc	Conception de SYSTEmes de cultures basés sur l'utilisation de la MYCorhization pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques de la tomate (PSPE2)	Marie Chave (INRAE Antilles-Guyane)
▶ NABUCO	Nouveaux Agents Bio-Marins Utilisables en Contrôle biologique (PSPE2)	Thomas Guillemette (Université d'Angers)
▶ AttractMyFly	Développement d'attractifs et entomovection de champignons entomopathogènes pour lutter contre la mouche du melon <i>Bactrocera cucurbitae</i> (PSPE2)	Laurent Costet (CIRAD)

INVITÉ TÉMOIN : Bruno Le Cam Directeur de recherche à l'INRAE Angers, coordinateur du projet ENFIN! (ANR EcoPhyto Maturation) - Développement d'un nouveau concept en protection des plantes appliqué à la tavelure du pommier



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)



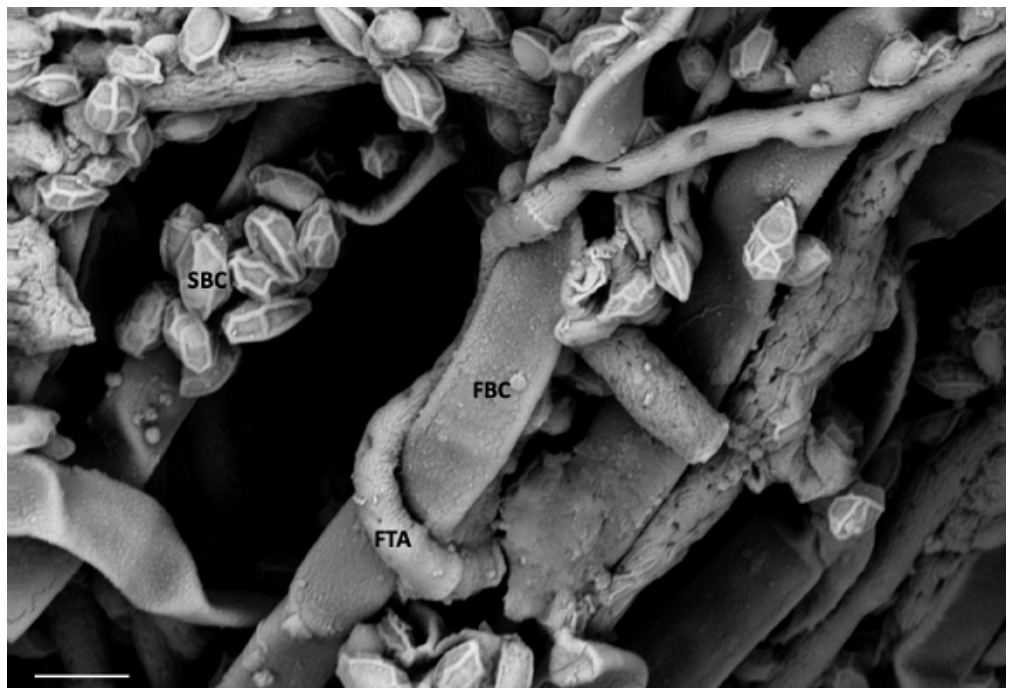
Micro-organismes et biocontrôle, un champ de recherche plein de promesses et d'inattendus

L'utilisation de micro-organismes en tant qu'agents de biocontrôle draine des perspectives intéressantes pour réduire les usages de produits phytosanitaires. Au cœur des projets de recherche Ecophyto creusant ce sillon, un rappel permanent, toutefois : le vivant a ses propres codes, loin d'être linéaires, et réserve parfois des surprises. Retour sur les enseignements parfois inattendus de projets Ecophyto.

1+1 n'est pas forcément égal à deux

Le projet [Bioti-vigne](#) a permis de montrer tout le potentiel d'une souche de *Pythium oligandrum*, ce champignon susceptible de protéger les vignes contre les maladies du bois. Il présente une efficacité protectrice à l'encontre de deux pathogènes majeurs impliqués dans ces 'maladies'. Le projet portait notamment sur l'intérêt potentiel à mettre les pieds en contact avec cette souche dès le stade de la pépinière, soit bien avant l'apparition de ces maladies. L'enjeu est bien de s'assurer de l'effet de *Pythium oligandrum* dans le temps. « La vigne le reconnaît à la fois comme un allié, et un potentiel agresseur, explique Marc Fermaud, chercheur à l'INRAE. Elle ne déroule pas un tapis rouge, mais elle n'essaye pas non plus de l'éliminer, donc le *Pythium* reste présent sur le long terme. » Autre bonne nouvelle : les très bons niveaux de protection obtenus sur les plants greffés-soudés avec les deux porte-greffes très utilisés en France et dans beaucoup d'autres pays viticoles. En revanche, *Pythium oligandrum* ne présente actuellement pas d'effet synergique avec d'autres souches bactériennes présentant un fort potentiel de biocontrôle : « Intuitivement, nous pensions à des complémentarités, mais nos tests ne révèlent pas d'effets additionnels : les efficacités de chaque souche, prise individuellement, ne se cumulent pas quand on les associe », précise Marc Fermaud.

Les champignons marins au secours de la pomme ?



Filament de *Trichoderma atroviride* s'enroulant et parasitant des filaments de l'agent phytopathogène *Botrytis cinerea*. L'échelle correspond à 10 µm. FBC : filament de *B. cinerea* ; FTA : filaments de *T. atroviride* ; SPC : spores de *Botrytis cinerea*. Projet [Nabuco](#). Crédit photo © Franck Bastide, IRHS

Le laboratoire Mer Molécules Santé de Nantes compte une bibliothèque de 900 souches !



Pied de vigne atteint par l'Esca, une maladie dont les premiers symptômes sont la décoloration (jaune et rouge) des feuilles. A plus ou moins long terme la maladie entraîne le dépérissement et la mort du cep. Château Couhins, Villenave d'Ornon, Gironde, FRANCE, 21 juin 2018.
Crédit photo : © Nicolas Bertrand, INRAE

Des solutions sorties de la mer

Les champignons marins au secours de la pomme ? Ce concept assez surprenant montre des résultats encourageants.

« Nouveaux actifs biomarins utilisables en contrôle biologique » ; voici la signification de l'acronyme du projet [Nabuco](#) et elle parle d'elle-même. L'idée, pas forcément instinctive consistait à aller chercher, dans l'écosystème marin, des souches de champignons pour protéger les cultures. « La biodiversité marine est extrêmement riche, synthétisant des molécules dont les propriétés sont encore largement à caractériser, insiste Thomas Guillemette, chercheur à l'université d'Angers. Le laboratoire Mer Molécules Santé de Nantes compte une bibliothèque de 900 souches ! ». [Nabuco](#) s'est focalisé sur 50 souches marines de *Trichoderma*. Selon les critères analysés dans le projet, quatre de ces souches présentent un potentiel pour être cultivées et des activités antagonistes supérieures aux quatre souches actuellement commercialisées. [Nabuco](#) a également isolé douze métabolites secondaires extraits de ces champignons. Là encore, le potentiel est présent. L'un de ces métabolites et la souche le produisant, positionnés en traitement préventif sur les parties aériennes sans aucun adjuvant ni formulant à ce stade, induisent déjà des niveaux de protection de l'ordre de 25 % contre la septoriose du blé ou la tavelure du pommier. Des résultats suffisamment prometteurs pour susciter l'intérêt d'un acteur du marché ?

Les mâles, vecteurs pas toujours efficaces pour toucher les femelles

La mouche du melon est responsable d'importants dégâts sur les cucurbitacés à la Réunion. Les femelles, à travers leurs pontes, sont les principales responsables. Or, les pièges attractifs pré-existants ne sont efficaces que sur les mâles... Le projet [Attract my fly](#) avait pour vocation de se servir des mâles comme transporteur jusqu'aux femelles des spores de *Beauveria hoplocheli*, un agent pathogène avéré contre la mouche femelle. Le principe est le suivant : capturer les mâles, les contaminer, puis les relâcher pour qu'ils transmettent les spores aux femelles lors de l'accouplement. Hélas « Les résultats sont en dessous de ce qu'on attendait », reconnaît Laurent Costet, chercheur au Cirad. « Les femelles ne sont touchées que si l'accouplement a lieu moins de 24 h après la contamination des mâles. » et la vection de *Beauveria* par cette seule approche sera donc, sans doute, toujours insuffisante. Les pistes les plus porteuses consistent à trouver un moyen de piéger directement les femelles. [Attract my fly](#) a testé, en conditions réelles, des kairomones préalablement identifiées comme intéressantes en laboratoire. L'ensemble s'inscrit dans une perspective de déploiement d'une stratégie connue sur le nom d' « attract and kill ».

« Les 50 agriculteurs impliqués... ont aussi constaté que des pratiques déjà habituelles chez eux sont favorables aux symbioses mycorhiziennes »

Des micro-organismes... et des hommes

Deux projets, l'un étant arrivé à terme, l'autre démarrant tout juste, mettent en avant un critère de succès pour les solutions de biocontrôle à base de micro-organisme : le facteur humain !

[Systemyc](#) portait sur les interactions entre plantes et micro-organismes du sol, à l'instar des symbioses mycorhiziennes. Si l'aspect technique faisait naturellement partie du champ exploré, la dimension « acceptation sociale » de ce type de solution faisait aussi partie intégrante du projet. Un dispositif d'apprentissage collectif alternant ateliers et enquêtes a permis d'appréhender la complexité et l'incertitude des processus mycorhiziens. « Les 50 agriculteurs impliqués ont découvert en partie ces phénomènes, qui aident à prendre en compte des mécanismes invisibles... mais ils ont aussi constaté que des pratiques déjà habituelles chez eux sont favorables aux symbioses mycorhiziennes, ce qui a pu en conforter certains dans leurs méthodes de travail », raconte Marie Chave, chercheuse à l'INRAE. Une déclinaison de ce dispositif d'apprentissage est prévue pour les cursus de formations agricoles.

Le projet [Enfin!](#) (2022-2024) combine deux inventions brevetées par l'INRAE pour lutter contre *Ventura inaequalis*, l'agent responsable de la tavelure du pommier. La première vise à contraindre ce champignon à se reproduire avec des souches non pathogènes, pour que leurs descendants soient non virulents au printemps suivant. En plus de réduire les symptômes, cela mettra un frein majeur à l'expansion du pathogène. La deuxième consiste à appliquer au printemps ces mêmes souches non pathogènes sur les pommiers, afin de déclencher chez l'arbre une immunité protectrice. « L'acceptabilité de ce type de solution intègre pleinement le projet, témoigne son responsable scientifique, Bruno Le Cam (INRAE). Et cela, pas uniquement au niveau des agriculteurs, mais aussi des consommateurs et de la société. Nous essayerons d'identifier les potentiels freins afin d'esquisser des pistes pour les lever le cas échéant. Les ornières ne relèvent sans doute pas uniquement de la maîtrise technique, du cadre réglementaire ou du bilan économique. »

« L'acceptabilité de ce type de solution intègre pleinement le projet... Et cela, pas uniquement au niveau des agriculteurs, mais aussi des consommateurs et de la société. »



Mouche du melon femelle mycosée par *Beauveria hoplocheli*. Projet [Attract my fly](#).
Crédit photo : © Brice Derepas, CIRAD



Webinaire 3

Intégration et optimisation du biocontrôle



a) Culture de différentes variétés de laitues et de chicorées b) Champ de pommes de terre primeur sur l'île de Noirmoutier. *Crédit photo : © Jean-Marie Bossennec, INRAE*
c) Suivi des peuplements des carabes. *Crédit photo : © Christophe Maitre, INRAE*

Programme de la session

▶ MilPomBio	Mildiou de la pomme de terre : recherche et maîtrise des produits de biocontrôle dans un schéma de protection intégrée des cultures (PSPE2)	Marie Turner (UMR Vegenov)
▶ BIOLIM	Techniques innovantes de biocontrôle contre les mollusques terrestres nuisibles aux cultures : Recherche de méthodologie d'évaluation adaptée à leur écophysologie (PSPE2)	André Chabert (ACTA)
▶ PRO-BIO-TAUPIN	Evaluation de solutions de bio-contrôle pour la protection des cultures contre les dégâts de taupins (PSPE2)	Jean-Baptiste Thibord (ARVALIS)
▶ BIOBOT	Optimisation du biocontrôle pour lutter contre la pourriture grise de la vigne, gestion globale et intégrée (PSPE2)	Nicolas Aveline (INRAE Bordeaux)

INVITÉS TÉMOINS : Anthony Ginez, Chargé d'expérimentation à l'APREL

Thomas Pressecq, Doctorant chercheur à l'INRAE porteur de la thèse « Développer des outils d'aide à la décision pour optimiser l'usage du biocontrôle »



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)



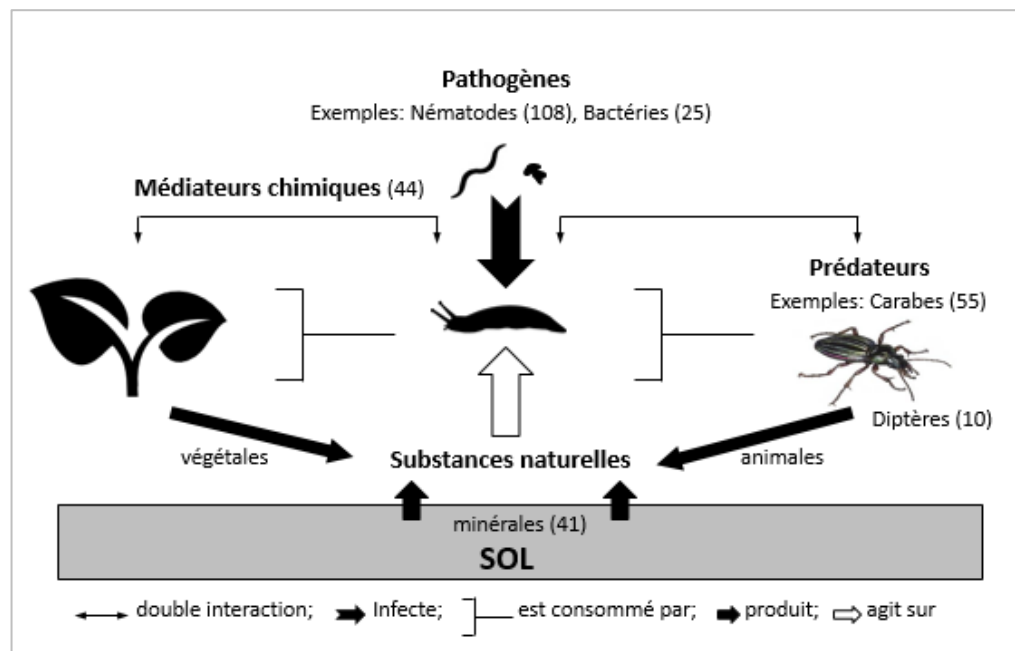
Biocontrôle, un levier à intégrer dans une combinaison de solutions

Pas de baguette magique. Si le biocontrôle fait figure d'alternative aux produits phytosanitaires de synthèse, les cas de substitution « nette », où une solution remplace l'autre, toutes choses égales par ailleurs, restent rares. L'objectif est plutôt de créer de nouveaux outils, à intégrer dans des stratégies globales en évolution, où l'intrant chimique n'est plus une réponse unique. Retour sur différents leviers pour optimiser l'intégration des agents de biocontrôle.

Associer biocontrôle et choix variétal pour réduire les doses des produits phytosanitaires de synthèse

Le projet [MilPomBio](#) visait à identifier les solutions les plus prometteuses contre le mildiou de la pomme de terre, parmi une liste de 42 produits de biocontrôle, déjà formulés ou à des stades plus préliminaires. Après une phase d'expérimentation en laboratoire, les plus prometteurs ont été testés au champ. « Nous avons retenu les solutions à base de phosphites comme prometteurs, témoigne Antoine Menil, chercheur chez Vegenov. Nous les avons testées en combinaison avec un fongicide traditionnel à différentes doses, tout en suivant l'effet génétique, chaque variété ayant une sensibilité propre au mildiou. » Une manière de proposer des conclusions plus appliquées. Ainsi, il ressort que la dose de fongicide traditionnel peut être réduite considérablement, mais pas de manière uniforme selon les variétés. Pour certaines, l'usage de fongicide peut être réduit de 90 % sans impact sur le rendement. Pour d'autres, ce chiffre est actuellement plutôt limité à 40 % d'économie de fongicide.

« Pour certaines variétés, l'usage de fongicide peut être réduit de 90 % sans impact sur le rendement »



Relations biotiques et abiotiques de la limace avec son environnement. Le nombre d'articles répertoriés entre 1992 et 2018 est affiché entre parenthèses pour chaque moyen de biocontrôle.

Crédit image : © André Chabert, ACTA

Intégrer le biocontrôle dans les itinéraires techniques et associer les cultures de « plantes de service »

« Quand il s'agit des limaces, il est difficile de dissocier les pratiques agronomiques et la mise en place du biocontrôle, quelle que soit la solution envisagée ! »

Les limaces étaient dans le viseur de [Biolim](#). L'objectif était, là aussi, d'établir un panorama des pistes de biocontrôle envisageables contre ce ravageur : substances naturelles, prédateurs de la limace ou encore « plantes de services », comme par exemple les moutardes répulsives, implantées en interculture. Chaque agent de biocontrôle draine ses atouts et ses limites, mais pour André Chabert, chercheur à l'ACTA, un dénominateur commun se dégage : « Quand il s'agit des limaces, il est difficile de dissocier les pratiques agronomiques et la mise en place du biocontrôle, quelle que soit la solution envisagée ! ». C'est donc sur la cohérence à cette échelle globale qu'il faut évaluer les performances.

Dans le cas de [Pro-Bio-Taupin](#), le spectre de départ du projet était encore une fois très large. Face au taupin, insecte dont les larves sont fortement nuisibles et contre lequel les solutions chimiques sont de moins en moins nombreuses et efficaces, les chercheurs ont exploré plusieurs voies, dont les substances naturelles à base de glucosinolates. « Il en faut de grandes quantités pour garantir une certaine efficacité, précise Jean-Baptiste Thibord, chercheur à Arvalis. Une piste intéressante serait de cultiver les plantes produisant ces substances directement au champ, avant ou en même temps que la culture à protéger. » Aujourd'hui, la piste de l'interculture est plus mature que celle de l'association à des plantes compagnes. Dans tous les cas, ces stratégies nécessitent de la part des agriculteurs une évolution de leurs pratiques et de leurs rotations.



Limace grise sur feuille de maïs. Projet [BIOLIM](#).
Crédit photo : © André Chabert, ACTA



Agriote, larve de taupin.
Crédit photo : © Serge CARRE, INRAE



Pourriture grise sur grappe. Projet [BIOBOT](#).
Crédit photo : © Nicolas Aveline, IFV

Prévenir les dégâts par l'épidémiosurveillance et la prophylaxie

André Chabert, porteur du projet [Biolim](#) insiste fortement sur la nécessité de caractériser précisément la présence du ravageur dans les parcelles. « Les capteurs et des pièges permettant de suivre les populations de limace sont le premier allié de la protection des cultures, biocontrôle inclus ! »

En vigne, la pourriture grise, due au champignon Botrytis, a des répercussions sur le rendement et dégrade la qualité des raisins. Pour les responsables de [Biobot](#), le biocontrôle est un recours intéressant, à travers les 14 solutions actuellement homologuées. Le projet avait pour but de déterminer les meilleurs moyens d'intégrer le biocontrôle dans les itinéraires des pratiques de conduite de la vigne. Pour Nicolas Aveline, l'un des enseignements est la complémentarité avec les mesures prophylactiques. « L'une d'entre elle consiste à réduire le volume de feuilles sur la vigne, pour aérer le fruit et limiter les conditions favorables aux champignons. Outre son effet direct sur le pathogène, cette pratique a aussi le mérite de faciliter l'accès à la grappe pour les produits de biocontrôle », illustre-t-il.

L'activation de plusieurs leviers est indispensable

► Le regard d'Anthony Ginez, chargé d'expérimentation à l'Apré

Au sein de l'Association provençale de recherche et d'expérimentation légumière (Apré), Anthony Ginez travaille sur la protection des cultures sous abris. Selon lui, le biocontrôle, de par son efficacité parfois moins nette que celle des solutions chimiques, passe forcément par une approche combinatoire. « Dans mon travail, l'activation de plusieurs leviers est indispensable. Le biocontrôle vient s'ajouter aux barrières physiques contre les ravageurs, comme les filets, la biodiversité fonctionnelle favorable aux auxiliaires et, en dernier recours, les produits phytosanitaires. » Il lui arrive même parfois de combiner le biocontrôle... avec le biocontrôle ! « Contre les pucerons du fraisier, nous associons, par exemple, les prédateurs que sont les chrysopes et les coccinelles, avec des sels potassiques d'acides gras, substance naturelle aux caractéristiques insecticides, et sans action négative sur les auxiliaires. »

Les OAD au renfort du biocontrôle

Pour protéger leurs cultures, les exploitants ont régulièrement recours à des Outils d'Aide à la Décision (OAD). Derrière ce vocable se cachent différentes manières d'aiguiller l'agriculteur dans ses pratiques. Le biocontrôle ne fait pas exception, et les projets Ecophyto les intègrent bien souvent dans leurs travaux. Dans le cas de [MilPomBio](#), c'est un OAD utilisé aussi pour la lutte chimique, en l'occurrence Mileos, qui est mis en avant pour déterminer le besoin réel et le bon moment de traiter. [Biobot](#) a repris « l'indice de Ciliberti », utilisé en conventionnel pour positionner au mieux l'application antifongique, et l'a amélioré pour l'usage du biocontrôle. Dans d'autres cas, un OAD spécifique peut être développé, comme Deci Control, au stade du prototype à l'Association provençale de recherche et d'expérimentation légumière (Apré), pour les cultures maraîchères. « Pour le moment, nous travaillons principalement à l'échelle locale, mais l'objectif est de programmer l'outil au niveau national. » indique Antony Ginez, chargé d'expérimentation à l'APREL.



Webinaire 4

Un monde d'odeurs



Isomate®: diffuseur de phéromone dans un verger en production fruitière intégrée ou biologique.
Crédit photo : © Jean-Charles Bouvier, INRAE

Programme de la session

▶ <u>SEMIOTRAP</u>	Développement d'un piège attractif de biocontrôle pour surveiller et contrôler le papillon palmivore, <i>Paysandisia archon</i> (<u>JEVI 2016</u>)	Johann Fournil (M2i)
▶ <u>OPTIM'PHERO</u>	Optimiser les Phéromones et Transposer les résultats obtenus sur la processionnaire du pin à d'autres Insectes Modèles, lépidoptères ravageurs des Zones Non Agricoles (<u>PSPE2</u>)	
▶ <u>AM&BAS</u>	Agro-messages et lutte contre les bio-agresseurs insectes en production de semences et grandes cultures (<u>PSPE2</u>)	Brigitte Frérot iEES Paris

INVITÉS TÉMOINS : **Emmanuelle Jacquin-Joly**, Directrice de recherche à INRAE – iEES Paris
Philippe Lucas, Directeur de recherche à INRAE – iEES Paris
Denis Thiery, Directeur de recherche à INRAE – UMR SAVE



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)



Phéromones et kairomones, une lutte chimique fondée sur la nature

Nous sommes entourés d'odeurs qui peuvent nous attirer, nous dégoûter, nous orienter... Il en va de même pour les insectes ravageurs ! Alors que la confusion sexuelle vit une véritable success story au sein des vignobles français, la recherche sur l'utilisation des phéromones et des kairomones pour lutter contre les bioagresseurs des cultures apporte des perspectives prometteuses. Dans ce vaste champ scientifique et technique, les projets Semiotrap, Optim'Phero et Am&Bas éclairent des perspectives alléchantes.

Qu'il s'agisse de piéger, d'empêcher l'accouplement ou d'éloigner les insectes ravageurs des cultures, tout est possible avec les odeurs ! C'est bien ce que révèlent les projets [Semiotrap](#), [Optim'Phero](#) et [Am&Bas](#), conduits dans le cadre de l'axe 2 du Plan Ecophyto. Alors que la confusion sexuelle est utilisée aujourd'hui sur 17 % de la viticulture française, les signaux chimiques, phéromones et kairomones en tête, apparaissent comme des solutions de plus en plus prometteuses pour le biocontrôle, avec un atout de taille : les odeurs sont respectueuses de l'environnement.

Les équipes ayant réussi à identifier, caractériser et synthétiser la phéromone pour démontrer in fine son pouvoir attractif sur les mâles comme les femelles

Identifier, formuler et observer l'effet attractif de la phéromone

Visant la protection des palmiers patrimoniaux du pourtour de la Méditerranée contre le papillon ravageur *Paysandisia archon*, le projet [Semiotrap](#) a permis de très grandes avancées pour le biocontrôle. « Nous avons un grand nombre de verrous scientifiques à lever : est-il possible de caractériser, synthétiser et utiliser une phéromone pour piéger cet insecte ? Si oui, comment s'en servir ? Comment la disposer ? Quel piège développer pour cet insecte ? », énumère Johann Fournil, de la société M2i. Les résultats sont un véritable succès, les équipes ayant réussi à identifier, caractériser et synthétiser la phéromone pour démontrer in fine son pouvoir attractif sur les mâles comme les femelles. Mais la particularité de l'insecte, un papillon de grande taille avec un vol stationnaire, s'est révélée plus coriace pour les essais de piégeage. « Nous avons envisagé deux types de pièges : électrique et filet, continue-t-il. Aucune des solutions ne s'est montrée efficace car le papillon résiste à la décharge et ne descend pas dans le filet. » La recherche se poursuit donc sur la période 2022-2023 afin de trouver une solution de piégeage et la commercialiser.

Le paintball et l'atomiseur pour la confusion sexuelle, solutions déjà disponibles sur le marché

Pour [Optim'Phero](#) en revanche, la commercialisation est déjà effective ! « Suite à ce projet Ecophyto, nous avons déjà obtenu deux autorisations de mise sur le marché et commercialisé deux produits », explique Johann Fournil, la société M2i étant à nouveau partenaire du projet. Cette fois-ci les phéromones servent à empêcher la reproduction de deux ravageurs problématiques, tant sur le plan environnemental que patrimonial, en France et en Europe : la chenille processionnaire du pin et la pyrale du buis. Les recherches ont ainsi permis de mettre au point des solutions efficaces. « Sur le pin, nous obtenons une très forte réduction de population de papillons de 78 %, et une longévité du produit de juin à octobre, continue-t-il. Sur le buis, grâce à une combinaison avec un larvicide, nous arrivons en moyenne à une division par dix du nombre de papillons. » L'équipe du projet est allée encore plus loin en mettant au point deux innovations sur les procédés d'application. Alors que dans le cas du buis, les phéromones sont appliquées grâce à un atomiseur manuel, pour le pin, les chercheurs ont pensé... au paintball ! La solution est ainsi formulée dans un gel, contenu dans une bille biodégradable entièrement composée de matériaux naturels, projetée aisément contre l'arbre depuis le sol grâce aux lanceurs.

Nous avons déjà obtenu deux autorisations de mise sur le marché et commercialisé deux produits



Adulte de *Paysandisia archon*, avec ailes ouvertes.
Crédit photo : © Jean Drescher, INRAE



Chenille de la processionnaire de pin.
Crédit photo : © Olivier Bertel, INRAE

Les kairomones comme nouveaux critères de sélection variétale des plantes cultivées

Dans ce monde des odeurs, le projet [Am&Bas](#) a choisi de s'intéresser à un autre type de message chimique, les kairomones. Alors que les phéromones servent à communiquer au sein d'une même espèce, les kairomones interviennent entre les espèces pour provoquer un changement de comportement du ravageur. Souvent émises par les plantes pour attirer les insectes, elles peuvent aussi servir à les piéger et à modifier le comportement de la ponte. C'est en tout cas le pari fait par l'équipe du projet, qui a démontré l'efficacité d'une kairomone contre deux ravageurs de grandes cultures : le charançon *Tychius aureolus* sur la luzerne et la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*. Même si les modèles de pièges adéquats n'ont pas encore été trouvés, l'identification de cette kairomone ouvre de larges perspectives en termes de sélection génétique, comme l'explique Brigitte Frérot d'INRAE : « Les variétés cultivées sont toutes attractives ! Elles produisent les mêmes composés volatils pertinents pour l'insecte ravageur. Ces données peuvent orienter la sélection vers des variétés résistantes, qui ne produisent pas cette kairomone. » Le projet [Am&Bas](#) a ainsi permis de trouver une solution pour concentrer les pontes loin des cultures et piéger en masse ces deux ravageurs. Il dessine aussi des perspectives de recherche sur l'intégration de la production de kairomones dans les critères de sélection variétale des plantes.

► **Les regards d'Emmanuelle Jacquin-Joly et de Philippe Lucas**, directeurs de recherche à INRAE

« Le machine learning et la modélisation 3D accélèrent la découverte de signaux chimiques pour le biocontrôle »

Attractif, répulsif, bloquant. Voici les trois grands types de signaux chimiques recherchés par les équipes sous la direction de Emmanuelle Jacquin-Joly à INRAE. Pour les identifier, les chercheurs utilisent le principe de l'écologie chimique inverse, une véritable innovation : « nous travaillons à partir des récepteurs olfactifs de l'insecte, puis nous remontons jusqu'à son comportement afin d'étudier l'efficacité du signal chimique pour le biocontrôle. » Cette approche repose sur la divergence des récepteurs olfactifs : chaque famille d'insectes possède ses propres récepteurs, qui sont aussi très différents de ceux des vertébrés. Ainsi la lutte est ciblée, sans effet collatéral sur les auxiliaires. « Une fois le récepteur d'intérêt identifié, nous l'utilisons pour cribler des molécules volatiles *in vitro* et *in silico*, puis nous

modélisons sa structure 3D afin de voir quelle molécule sera en mesure de correspondre à sa géométrie, et donc d'induire une réponse, explique-t-elle. Il était difficile d'utiliser cette méthode auparavant car nous ne pouvions pas réaliser de modélisation 3D : avec la cryomicroscopie électronique, c'est désormais possible ! » Le couplage entre le signal chimique et le récepteur est ensuite vérifié expérimentalement, puis un test est réalisé sur l'insecte ravageur pour étudier son comportement. « Avec cette méthode, entre 60 et 80 % des molécules prédites sont actives », précise la directrice. Philippe Lucas, également directeur de recherche à INRAE, présente une autre application des récepteurs olfactifs, à travers le projet *PheroSensor*, visant à développer des capteurs bioinspirés à base de récepteurs d'insectes qui détectent la présence d'insectes ravageurs sans les capturer, grâce à la détection des phéromones qu'ils émettent dans l'environnement. « Pour la preuve de concept, nous nous concentrons sur 3 ravageurs d'importance économique : le charançon rouge du palmier, la légionnaire d'automne et le ver du cotonnier » explique-t-il.

« Ainsi la lutte est ciblée, sans effet collatéral sur les auxiliaires »

► **Le regard de Denis Thiery, directeur de recherche à INRAE**

Confusion sexuelle en vigne : éviter les zones blanches !

La viticulture représente un enjeu majeur pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires. « Avec 3 % des surfaces cultivées, la vigne représente 20 % des usages nationaux », explique Denis Thiery, directeur de recherche INRAE. Avec un taux d'efficacité compris entre 80 % et 90 %, l'utilisation de phéromones pour la confusion sexuelle se place en tête des méthodes de lutte biologique, mais présente certaines limites : accouplements des ravageurs en fin de journée lorsque la concentration de phéromones est basse, allongement de la période de lutte estivale jusqu'à la fin septembre, efficacité dépendante du niveau de la population du ravageur, difficulté dans les milieux chauds et ventés, absorption des phéromones par la cuticule des feuilles. Pour les dépasser, Denis Thiery avance trois pistes : « Il faut à tout prix éviter les zones blanches, trop faiblement concentrées en phéromones, et utiliser des techniques de diffusion plus modernes que les diffuseurs passifs, comme les Puffer ® par exemple. Nous avons également besoin de récolter beaucoup plus de mesures sur la concentration en phéromones, grâce à des capteurs placés au champ. ».

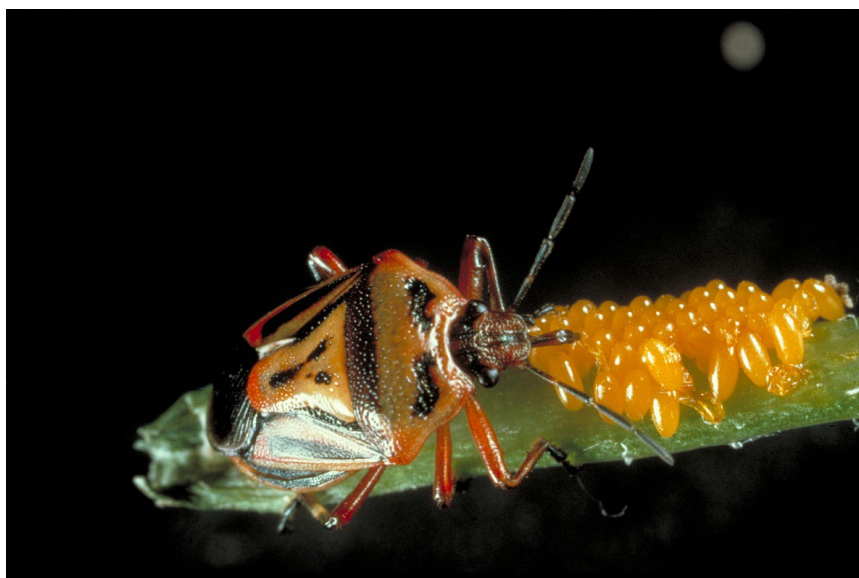


Tychius aureolus, charançon des graines de Luzerne.
Crédit photo : © Serge Carre, INRAE



Larve de la Pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* L.) dans une tige de maïs.
Boigneville (91720). Crédit photo : © Pascal Thiebeau, INRAE

Macro-organismes : les frères ennemis...



Adulte de *Perillus bioculatus* (punaise oophage) se nourrissant des œufs de *Leptinotarsa decemlineata* (doryphore). Crédit photo : © Jeanne Daumal, INRAE

Programme de la session

▶ Rhizodia	Régulation de populations de cochenilles diaspines par lâchers d'une coccinelle coccidiphage <i>Rhizobius lophantae</i> (PSPE2)	Maria-Marta Fernandez (CTIFL)
▶ BIOCCYD	Luttes biologiques contre le carpocapse de la pomme, <i>Cydia pomonella</i> (BIOControl of CYDia pomonella) (PSPE2)	Nicolas Borowiec (UMR ISA)
▶ ACAROSOL	Contrôle Biologique des Acariens sur Solanaceae (PSPE2)	Marie-Stéphane Tixier (SupAgro)

INVITÉ TÉMOIN : Cécilia Multeau, Chargée de partenariat et Innovation Biocontrôle – INRAE

Marc Kenis, Responsable de l'analyse du risque et de l'écologie de l'invasion – CABI



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)





Gérer des populations d'auxiliaires pour réguler naturellement les ravageurs

Trouver le bon équilibre entre les ravageurs et les auxiliaires pour réguler durablement, et naturellement, la pression sur les cultures agricoles. La dynamique des populations est au cœur de la lutte biologique avec des macro-organismes. De l'introduction d'une nouvelle espèce à l'augmentation de populations déjà en place, les trois projets [Rhizodia](#), [Acarosol](#) et [Bioccyd](#) délivrent des résultats qui vont au-delà de la diminution de l'indice de fréquence de traitement (IFT). Ils précisent les critères d'une agroécologie performante.

Le recours aux macro-organismes auxiliaires (invertébrés, insectes, acariens ou nématodes) met en lumière le potentiel de régulation naturelle des ravageurs. Qu'il s'agisse d'augmenter le nombre d'individus d'une espèce déjà présente ou d'en introduire une nouvelle, la question de l'équilibre des populations d'auxiliaires et de ravageurs est au cœur de la lutte.

Rhizodia pose la question de la survie hivernale des auxiliaires

Le projet [Rhizodia](#) éclaire bien cette problématique dans le cas de la régulation biologique des cochenilles diaspines en culture de cassis. « Depuis 15 ans, les producteurs de cassis font face à des dégâts qui peuvent aller jusqu'à nécessiter l'arrachage de la parcelle », explique Maria-Martha Fernandez, du Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL). Pour contrer cette cochenille blanche, les équipes du projet identifient la coccinelle *Rhizobius lophantae*, qui présente la particularité de se multiplier facilement en élevage, un critère indispensable pour la lutte biologique. L'objectif est double : regarder si la régulation fonctionne, et réduire les coûts pour les exploitants. « Les lâchers représentent entre 20 et 45 % du produit brut, c'est un investissement important ! », insiste-t-elle. Avec deux lâchers de coccinelles, soit 6 000 individus, au stade où les larves de cochenilles colonisent la plante, les résultats ne permettent pas de mettre en évidence l'efficacité de l'intervention. « Nous observons une baisse de la population de 69 % la première année, mais une réapparition du ravageur en troisième année, avec une explosion du nombre d'individus à l'endroit où nous avons effectué les lâchers de coccinelles », explique Maria-Martha Fernandez. Et surtout, les coccinelles ont disparu de la parcelle, ce qui pose la question de leur survie hivernale... Après d'autres tentatives, en modifiant le lieu et la date des lâchers de coccinelles, les chercheurs n'obtiennent pas plus de résultats prometteurs sur l'efficacité du traitement. Les recherches continuent et pourraient s'orienter vers l'identification et l'élevage de nouveaux parasitoïdes pour contrer cette cochenille blanche.


 L'objectif est double : regarder si la régulation fonctionne, et réduire les coûts pour les exploitants 

L'intérêt des plantes compagnes pour abriter les populations d'auxiliaires

Contre les acariens ravageurs des solanacées, en particulier *Aculops lycopersici* sur les tomates, le projet [Acarosol](#) a réussi à identifier un prédateur prometteur de la famille des Phytoseiidae, *Typhlodromus (Anthoseius) recki*. « Pour l'instant, l'ensemble des essais réalisés avec les acariens de cette famille se sont soldés par des échecs, explique Marie-Stéphane Tixier, professeure à Montpellier SupAgro. La structure même du plant de tomate empêche le développement et la dispersion de ces acariens prédateurs et donc la consommation de leurs proies. » Lors de l'identification et la collecte de *Typhlodromus (Anthoseius) recki*, les chercheurs s'aperçoivent que l'acarien est naturellement présent dans les champs de tomate. Mais ils découvrent aussi une autre particularité : les populations s'installent naturellement sur la menthe. Ils décident alors d'effectuer les lâchers en déposant des branches de menthe à côté des plants de tomates, afin de proposer un environnement

qui puisse faciliter le développement et la dispersion des populations. Pari gagné ! Les résultats confirment l'efficacité de l'auxiliaire et ainsi la première alternative biologique efficace contre *Aculops lycopersici*. Voire plus, car s'agissant d'un prédateur généraliste, *Typhlodromus (Anthoseius) recki* pourrait s'avérer efficace contre d'autres ravageurs. Ce projet remet aussi en lumière l'intérêt du développement des plantes compagnes en tant que réservoir d'auxiliaires pour l'agriculture.

« La possibilité d'introduire *Mastrus ridens* en France est une très bonne perspective pour réduire les indices de fréquence de traitement »

Un nouveau service écosystémique de gestion durable du carpocapse

Contre le carpocapse des pommes, *Cydia pomonella*, des méthodes de biocontrôle existent mais leur utilisation et leur efficacité restent limitées. Les responsables du projet [Bioccyd](#) décident donc de compléter ces techniques en testant deux méthodes de lutte biologiques, l'une utilisant un parasitoïde déjà présent, du genre *Trichogramma*, l'autre ayant recours à l'introduction et l'acclimatation d'un parasitoïde exotique, *Mastrus ridens*. Alors que le premier volet apparaît finalement comme peu pertinent, du fait d'un taux de collecte d'individus faible et d'une absence de spécificité par rapport au carpocapse, le second semble plus prometteur. « Ce parasitoïde avait déjà été introduit dans d'autres pays pour lutter contre *Cydia pomonella* », explique Nicolas Borowiec, de l'INRAE. Les chercheurs mènent les expérimentations complémentaires pour confirmer la spécificité de ce parasitoïde et obtiennent des autorités sanitaires le droit d'introduire *Mastrus ridens* sur le territoire, puis de faire des lâchers de populations en plein champ, dans la région d'Avignon. Un vrai parcours du combattant ! « La possibilité d'introduire *Mastrus ridens* en France est une très bonne perspective pour réduire les indices de fréquence de traitement, se réjouit-il. Son établissement permanent et sa dispersion naturelle permettrait de réguler durablement les populations de carpocapses. En cas de succès, on disposerait d'un nouveau service écosystémique gratuit pour les producteurs concernés. »

► Le regard de Marc Kenis, chercheur au centre de recherche suisse CABI

« La lutte biologique par acclimatation apporte des bénéfices économiques et écologique à long terme »

La lutte biologique classique, ou par acclimatation, concerne l'introduction d'un prédateur exotique pour rétablir le contrôle naturel d'un insecte ravageur. « Depuis 1889, 6164 introductions ont été effectuées contre 692 insectes ravageurs, explique le chercheur du CABI, Marc Kenis. Un programme de lutte biologique bien établi offre un contrôle permanent des ravageurs avec des bénéfices économiques très élevés : dans les années 1990, le ratio coût/bénéfice de la lutte biologique contre la cochenille du manioc en Afrique était de 1 pour 200 à 500. Et ils augmentent avec le temps puisque le prédateur continue de contrôler le ravageur ! » Les bénéfices sont également écologiques, en sauvant des populations végétales, souvent patrimoniales, d'une disparition certaine : c'est le cas par exemple des coccinelles qui ont sauvé les gommiers de l'île Sainte-Hélène, grâce au contrôle naturel des cochenilles. Les risques existent aussi, en particulier des effets négatifs sur la biodiversité indigène, mais le renforcement des protocoles d'évaluation les limite fortement, ainsi que la biologie même des espèces auxiliaires. « En règle générale, un parasite n'élimine pas une espèce non-cible, car un équilibre se développe entre les proies et les agents biologiques, analyse-t-il. Lorsque la population du ravageur baisse, celle du prédateur aussi. »

« Un programme de lutte biologique bien établi offre un contrôle permanent des ravageurs avec des bénéfices économiques très élevés »

► **Le regard de Cécilia Multeau, Chargée de partenariat et Innovation Biocontrôle à INRAE**

Les macro-organismes, un secteur dynamique !

Le marché des macro-organismes en biocontrôle est en cours de transformation. Les enjeux sont nombreux : production à l'échelle industrielle, législation non harmonisée au niveau européen et entrée en vigueur de la Convention sur la biodiversité, diversification des modèles d'affaires avec la création de fermes à insectes au sein de coopératives, et suivi des effets non intentionnels pour évaluer le risque d'interférences entre auxiliaires, notamment lors de l'introduction de macro-organismes exotiques. Cécilia Multeau, chargée du partenariat et de l'innovation à INRAE dans le domaine du biocontrôle, illustre quelques axes d'innovation : « En sélection génétique par exemple, des traits variés sont maintenant ciblés comme la longévité ou plus spécifiquement la résistance à des stress thermiques. Dans le cas de la production, l'automatisation et la révolution numérique font évoluer les process. Il y a aussi de nombreuses innovations dans les stratégies d'introduction et de déploiement des auxiliaires. Enfin, la technique de l'insecte stérile, nouvelle en France, se déploie sous l'impulsion du [collectif TIS](#), avec une transposition sur de nouveaux insectes, comme *Drosophila suzukii* par exemple. »



Coccinelle à sept points (*Coccinella septempunctata*).
Crédit photo : © Bastien Castagneyrol, INRAE



Trichogramma brassicae parasitant une ooplaque d'*Ostrinia nubilalis* (pyrale du maïs).
Crédit photo : © Jeannine Pizzol, INRAE



Salle d'élevage de *Mastus ridens*, un parasitoïde de la larve du carpocapse des pommes (*Cydia pomonella*). INRAE Sophia Antipolis.
Crédit photo : © Nicolas Bertrand, INRAE



Webinaire 6

La résistance en protection des cultures



Les vignes du domaine du Château Couhins au soleil couchant, Villenave d'Ornon, Gironde, FRANCE, 21 juin 2018. *Crédit photo* : © INRAE

Programme de la session

▶ <u>DAS-REVI</u>	Développement et appropriation sociotechnique des résistances variétales en viticulture durable (<u>Pesticides 2014</u>)	François Hochereau (UMR INRAE SAD-APT)
▶ <u>MDRisque</u>	Evaluation du risque de la résistance multidrogues chez l'agent de la septoriose du blé <i>Mycosphaerella graminicola</i> (<u>Pesticides 2014</u>)	Anne-Sophie Walker (INRAE BIOGER)

INVITÉ TÉMOIN : Marie-France Coriot-Costet, Directrice de recherche – INRAE UMR SAVE

Mourad Hannachi, Chargé de recherche – INRAE UMR SADAPT

Marie Turner, Responsable R&D Qualité et Santé des Plantes – Vegenov



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)



Protection des cultures : enjeux du développement de résistances

La protection des cultures face à des agressions biotiques de l'environnement, parfois très nombreuses et difficiles à contrecarrer, apparaît comme un enjeu essentiel pour le secteur agricole, et nécessite souvent de faire preuve d'inventivité.

Face aux épisodes fréquents de pression élevée des bio-agresseurs sur les cultures, il est nécessaire de trouver des solutions de protection efficaces. L'utilisation intensive des produits phytopharmaceutiques est remise en question à cause des impacts qu'elle provoque sur la santé humaine et des écosystèmes. De plus, leur utilisation répétitive confère à certains bio-agresseurs une résistance à ces produits, mettant en péril les cultures. La place est donc donnée dans cette « bataille » aux méthodes alternatives aux produits de synthèse. Analyse d'un système dynamique, où la sélection naturelle rivalise avec les moyens déployés par l'Homme pour préserver la santé des plantes.

L'innovation par hybridation variétale, un levier d'action contre les maladies de la vigne

Le secteur viti-vinicole subit les ravages causés par des champignons pathogènes tels que l'oïdium ou le mildiou, c'est la raison pour laquelle deux tiers des fongicides en France sont consommés pour y faire face. Une quantité importante, qui pourrait encore augmenter dans les années à venir d'après les dires de Marie-France Corio-Costet, chercheuse à INRAE : « La première apparition d'une résistance de l'oïdium de la vigne aux fongicides de type QoI, inhibiteurs de la respiration mitochondriale, a été détectée en 2008, et en seulement quelques années, elle est devenue quasi-totale et généralisée sur l'ensemble du territoire viticole français ». Cette acquisition de résistance aux fongicides par les pathogènes est due à des mutations, qui confèrent un avantage sélectif à la souche pour sa survie ou sa reproduction. Celle-ci va alors davantage se multiplier et se répandre : c'est le phénomène de sélection. Souvent, le premier réflexe serait d'employer davantage produits phytosanitaires, en espérant avoir une meilleure efficacité contre ces bio-agresseurs. Mais cela alimente un cercle vicieux, dont on ne pourra sortir qu'en développant des méthodes alternatives.

L'utilisation de cépages résistants, comme le Cabernet-Jura ou le Souvignier, représente ainsi un levier à développer pour lutter contre ces maladies. Le projet [DAS-REVI](#) s'attache donc à identifier les avantages et difficultés socio-économiques liées à la culture de ces variétés développées par hybridation. « Ces variétés nous ont permis de passer un cap et de réduire de 90% notre utilisation de produits phytosanitaires », témoigne Jérémie Ducourt, viticulteur dans la région bordelaise faisant partie des pionniers ayant démarré l'exploitation de ces variétés dès 2014. Les gains apportés par ces variétés sont multiples : coûts financiers réduits, protection environnementale, facilité de culture... Ce sont autant de raisons qui justifient un choix qui semblait au départ risqué : le secteur viti-vinicole étant construit sur une image de traditions, avec des cépages historiques, dont certains devenus des marques internationales, et des réglementations multiples (AOP et AOC). Les modalités d'une intégration durable de ces nouvelles variétés dans ce marché très compétitif restent encore à définir selon l'accueil que réservent les consommateurs à ces produits.

« Ces variétés nous ont permis de passer un cap et de réduire de 90% notre utilisation de produits phytosanitaires »

Une course à l'armement pour protéger les cultures

Un phénomène inquiétant est observé dans les champs en France et dans plusieurs pays d'Europe depuis 2007 : certaines souches du champignon pathogène *Zymoseptoria tritici*, responsable de la septoriose du blé, développent une capacité de « résistance multidrogues » (MDR) à plusieurs produits phytosanitaires. Des réarrangements génomiques causent une surexpression de transporteurs membranaires, qui permettent un efflux accru de d'une grande diversité de fongicides hors des cellules du pathogène. Ce dernier devient alors moins sensible et continue de ravager des cultures malgré les traitements. Ce phénomène récent, étudié à INRAE par Anne-Sophie Walker et Sabine Fillingner dans le cadre du projet [MDRisque](#), présente un réel risque pour les productions agricoles, car peu de solutions existent à ce jour pour y faire face. « La mise en place d'un réseau de surveillance pour suivre et tenter de limiter la sélection de cette mutation à plus vaste échelle est un premier pas, assure Anne-Sophie Walker, et le projet [MDRisque](#) a permis de faire prendre conscience des dangers que représente le mécanisme de MDR ».

Mais cette acquisition de résistance s'inscrit dans un cadre plus large de politique de gestion des produits phytosanitaires, qu'il faudrait remettre en cause selon Mourad Hannachi, chargé de recherche à INRAE. « Ce que l'on observe aujourd'hui, c'est que lorsqu'une nouvelle variété résistante à une maladie est commercialisée, de nombreux exploitants vont l'employer. Ainsi, plus l'utilisation est massive plus on accroît la probabilité de la rendre sensible en seulement quelques années » explique-t-il. Ces produits étant donc soumis à la « Tragédie des Biens Communs », il propose de les considérer et de les gérer comme tels. « Un bien commun se définit comme une ressource difficilement exclusive, et source de rivalités ». Pour éviter l'épuisement de cette ressource, une solution : mettre en place une coordination de tous les acteurs de la filière et des territoires, depuis la mise au point de ces variétés jusqu'aux utilisateurs. Mais cette nouvelle forme de gestion implique des changements de fond et nécessite l'impulsion d'une réelle volonté politique.

Stimuler les défenses plutôt que combattre les bio-agresseurs

Suite aux conclusions encourageantes établies à l'issue du RMT Elicitra quant à la capacité partielle de protection des plantes par les SDP (stimulateurs de défense des plantes), un nouveau projet intitulé [BESTIM](#) (Stimuler la santé de la plante dans des systèmes agro-écologiques), lancé début 2021, a pour but d'approfondir les recherches dans ce domaine, et en particulier le concept d'immunité écologique. Marie Turner, responsable R&D Qualité et Santé des Plantes chez Vegenov, définit ce concept comme « les facteurs externes et internes de l'environnement dans lequel une plante se développe, qui participent à stimuler son système immunitaire ». On pourrait par exemple penser que la génétique, le microbiote, les contraintes climatiques ou encore les interactions avec d'autres espèces entrent en ligne de compte dans la santé d'une plante. Employés seuls ou associés à d'autres produits phytosanitaires pour en améliorer l'efficacité, les SDP pourraient alors représenter un nouveau moyen de protection des plantes, et trouver de nombreuses applications concrètes permettant la transition de filières agricoles vers des modes de production plus durables, à condition toutefois que cette forte stimulation du système immunitaire ne nuise pas au développement et à la croissance même des végétaux.

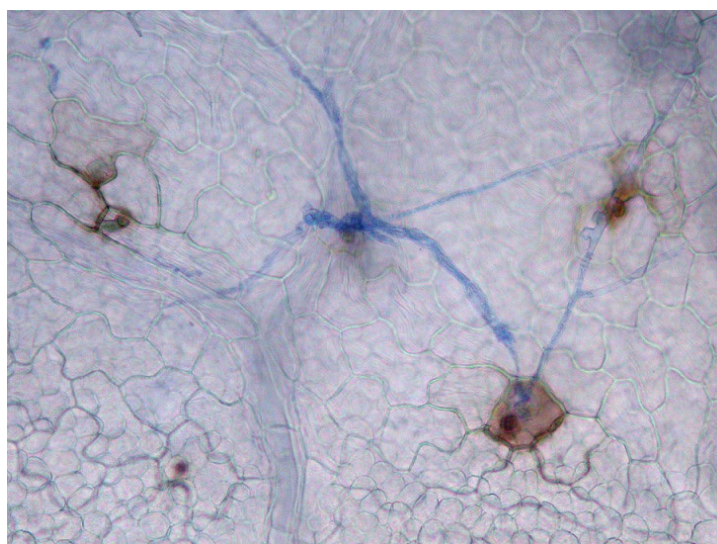
Plus l'utilisation est massive, plus on accroît la probabilité de la rendre sensible en seulement quelques années



Vignes du Château Couhins sous le soleil de l'automne. Villenave d'Ornon, 21 octobre 2021. *Crédit photo : © Nicolas Bertrand, INRAE*



Septoriose du blé. *Crédit photo : © Frédéric Suffert, INRAE*

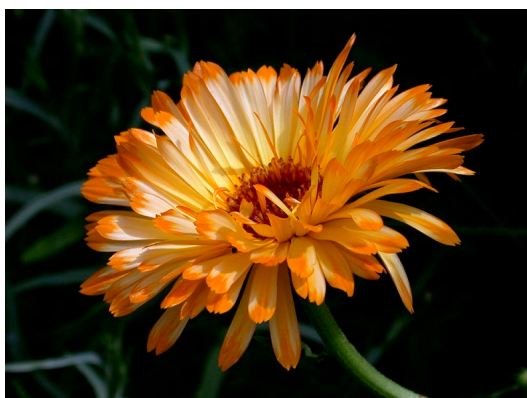


Réaction de défense chez une plante sensible traitée par un stimulateur des défenses naturelles (SDN) : réponse hypersensibilité des cellules attaquées (cellules colorées en brun) et dégradation du mycélium de champignon parasite (en bleu). Grossissement x 100.
Crédit photo : © TROUVELOT Sophie - Université Bourgogne / INRAE



Webinaire 7

La flore compagne au service de la santé des cultures et du sol



Fleur de souci. Crédit photo : © Corine Enard, INRAE



Inflorescence de moutarde des champs.
Crédit photo : © Corine Enard, INRAE



Fleur de sarrasin. Crédit photo : © Jean Weber, INRAE

Programme de la session

▶ <u>FLEUR</u>	Manipulation de la biodiversité floristique en cultures de céréales (PSPE2)	Joan van Baaren (UMR CNRS ECOBIO)
▶ <u>MacroPlus</u>	Quelles techniques pour renforcer l'installation de <i>Macrolophus pygmaeus</i> ? (PSPE2)	Jérôme Lambion (GRAB)
▶ <u>SERUM</u>	Désinfection des sols en cultures maraîchères (PSPE2)	Ingrid Arnault (Université de Tours)

INVITÉ TÉMOIN : Christophe Jarry, Directeur du Jardin Enchanté (Herblay)



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)



Renforcer la santé des cultures et des sols avec une flore compagne

Les produits phytopharmaceutiques ont pour vocation d'assurer la santé des cultures. Mais ce ne sont pas les seuls à pouvoir exercer ce rôle protecteur : une flore compagne constituée de certaines espèces spécifiques, plantées antérieurement ou simultanément aux cultures, incarne une alternative intéressante.

Il existe au sein des écosystèmes des mécanismes de lutte biologique interspécifique qui représentent un riche potentiel à exploiter pour assurer la santé des cultures et du sol. La gestion intelligente d'une biodiversité végétale, favorisant certaines espèces pour le rôle bénéfique qu'elles exercent sur l'écosystème des cultures, apparaît comme un levier d'action potentiellement puissant et encore peu mobilisé pour soutenir une protection plus naturelle. Voici une analyse de ces fonctionnalités que peuvent apporter des plantes compagnes au service de la santé des cultures.



Le pouvoir d'attraction des fleurs sur les auxiliaires au service de la santé des cultures

Nous ne sommes pas les seuls à apprécier les fleurs colorées et odorantes, les insectes en raffolent aussi. Le projet [FLEUR](#), mené par Joan Van Baaren, chercheuse au CNRS, s'intéressait à la lutte biologique par conservation en champs de céréales. « Cela consiste à aménager l'environnement autour des parcelles cultivées de façon à favoriser les ennemis naturels des ravageurs des cultures », explique-t-elle. Plus précisément, ce projet se concentrait sur un levier d'action : la mise en place de bandes fleuries, constituées d'espèces judicieusement choisies et positionnées pour servir à la fois « le gîte et le couvert » aux auxiliaires, leur apportant des ressources (pollen, nectar) et un refuge.



Reste à identifier les espèces végétales à assembler pour obtenir la protection la plus efficace possible. Par exemple, pour réguler les populations de pucerons transmettant le virus responsable de la jaunisse nanisante de l'orge (JNO) à l'automne, un mélange de sarrasin, bleuet, moutarde et fève s'est révélé particulièrement efficace dans les champs de céréales en Bretagne. « Les contraintes à prendre en compte sont nombreuses », précise Joan Van Baaren. « Il faut que la période de floraison soit la même que la période de développement et croissance de l'espèce cultivée, que les prédateurs attirés ne soient pas dangereux pour les cultures voisines. Il faut aussi prendre en compte l'impact du changement climatique : certains ennemis naturels ont une période d'activité de plus en plus longue, ce qui fait peser une menace permanente sur les cultures ».

Cette solution peut aussi s'appliquer aux cultures sous serre. Jérôme Lambion, responsable du projet [MacroPlus](#), s'est concentré sur les punaises *Macrolophus pygmaeus*, prédatrices de certains bio-agresseurs qui menacent les cultures de tomates, comme les acariens, les aleurodes ou la mineuse de la tomate *Tuta absoluta*... L'efficacité des *Macrolophus* était déjà connue, et ces punaises sont d'ailleurs aujourd'hui utilisées par lâchers ponctuels sur les cultures, mais cette solution de biocontrôle coûte cher. Il fallait donc parvenir à les attirer naturellement, ou à les maintenir durablement à proximité immédiate des cultures dans les serres. « Les plants de soucis servent de gîte et de couvert au *Macrolophus*. Nous avons donc installé des bandes fleuries de soucis à l'intérieur et à l'extérieur des serres ». Lorsque ce n'était pas suffisant, les chercheurs ont aussi coupé des tiges de soucis, pour les déposer aux pieds des plants de tomates, et renforcer ainsi un transfert actif des *Macrolophus* vers les cultures à protéger. Et cela fonctionne ! Les populations d'acariens, de *Tuta absoluta* et des aleurodes sont en effet significativement moins

Reste à identifier les espèces végétales à assembler pour obtenir la protection la plus efficace possible


 La lutte biologique par conservation ... doit s'intégrer dans un mode de gestion plus global, en se combinant avec d'autres méthodes compatibles 

importantes sur les plants de tomates côtoyés par les soucis. Jérôme Lambion relativise tout de même ces résultats : « La lutte biologique par conservation est un levier utile pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires, mais elle doit s'intégrer dans un mode de gestion plus global, en se combinant avec d'autres méthodes compatibles ». Se pose aussi la question de la sensibilité aux parasites des plantes compagnes elles-mêmes : « Le souci peut être attaqué par l'oïdium [un champignon], ce qui pourrait diminuer l'appétence des *Macrolophus*, mais ne représente a priori pas un risque supplémentaire de transmission aux cultures car ce n'est pas la même espèce ».


 Il s'agit d'une dynamique dans laquelle j'ai engagé toute mon entreprise 

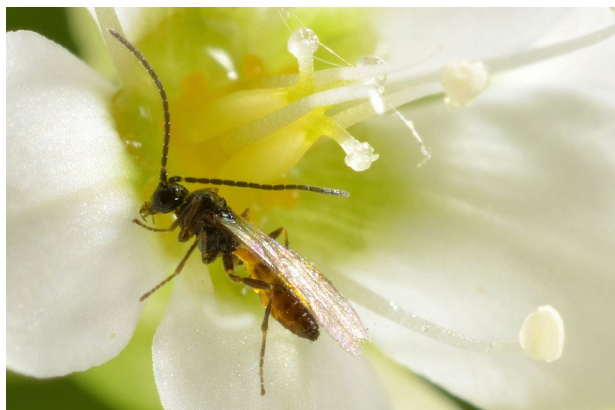
Des applications concrètes de ce mode de protection sont déjà mises en place ! Depuis trois ans, Christophe Jarry, horticulteur en région parisienne, produit 15 000 chrysanthèmes sans utiliser de produits phytosanitaires. « Atteindre ce résultat a nécessité de nombreux tests », témoigne-t-il. « Nous ne nous sommes pas contentés d'installer des bandes fleuries sur les délaissés de serre et entre les lignes de cultures, il s'agit d'une dynamique dans laquelle j'ai engagé toute mon entreprise. C'est du travail, cela nécessite des formations, de l'entretien et un suivi attentif ». Il a en effet également installé des hôtels à insectes, nids à mésanges, nichoirs à chouettes... Ces installations ont aussi une vocation pédagogique vis-à-vis des clients, pour leur faire comprendre notre démarche ». Si au départ les risques économiques à prendre étaient importants, Christophe Jarry est aujourd'hui très satisfait des résultats, et entend étendre ce mode de protection à d'autres espèces de fleurs qu'il cultive.



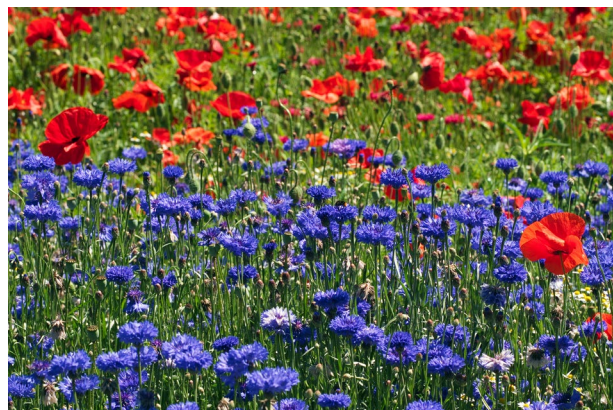
Bande de soucis plantée dans une culture de tomate. Projet [MacroPlus](#).
Crédit photo : © Jérôme Lambion, GRAB

Des plantes pour purifier le sol

Protéger les cultures ne consiste pas seulement à protéger les plantes que l'on cultive : la bonne santé du sol est également une composante essentielle que l'on aurait tort de sous-estimer. En effet, de nombreuses espèces, telles que l'agent responsable du flétrissement bactérien en région tropicale ou les nématodes de la tomate, vivent dans le sol et causent de graves maladies aux cultures. Pour y faire face, on traite aujourd'hui le sol avec un produit phytosanitaire de synthèse : le disulfure de diméthyle (DMDS). Mais pour réduire cette dépendance aux produits phytosanitaires, le projet [SERUM](#) a cherché à étudier des alternatives possibles sur des cultures de tomates en France métropolitaine et aux Antilles. « Le choix des plantes de services dépend évidemment de leur pouvoir d'assainissement des sols, mais aussi de leur disponibilité géographique. Nous avons mené nos expériences avec des Crotalaires et des *Allium* [notamment des oignons], en conditions contrôlées en laboratoire et en champ », explique Ingrid Arnault, responsable du Centre d'Expertise et de Transfert Universitaire (CETU) Innophyt de l'Université de Tours. Le principe : la plante de service est cultivée sur une parcelle à assainir, puis découpée et déposée en couche « protectrice » pour se décomposer sur le sol de cette même parcelle (technique du mulch). On peut aussi faire un broyat de la plante de service, que l'on enfouit dans le sol, ou encore mener une culture associée de la plante de service et de l'espèce que l'on souhaite cultiver. « Le chanvre du Bengale a montré des résultats très prometteurs, réduisant significativement l'abondance de l'agent du flétrissement bactérien et des nématodes de la tomate là où on avait précédemment traité le sol, et sans causer d'effets indésirables sur les populations d'autres espèces d'insectes ». Cependant, la protection des cultures grâce à cette méthode reste partielle. On pourrait imaginer la combiner à une utilisation de DMDS, mais à plus faible dose. Reste tout de même encore la difficulté d'application concrète de cette méthode par les producteurs : deux cycles de semis, croissance, coupe et décomposition du chanvre du Bengale semblent nécessaires pour assainir le sol, ce qui équivaut à environ 200 jours d'immobilisation de la parcelle. Pendant cette période, les producteurs ne peuvent rien cultiver sur leurs terres, causant un manque à gagner que la plupart d'entre eux ne peuvent pas se permettre...



Aphidius matricariae en train de se nourrir sur une fleur de sarrasin. Projet [FLEUR](#). Crédit photo : © Bernard Chaubert, INRAE



Coquelicots et bleuets (Ile de France). Crédit photo : © Jean Weber, INRAE



Mulch de *C. Spectabilis*. Projet [SERUM](#). Crédit photo : © Ingrid Arnault, CETU Innophyt



Webinaire 8

Les itinéraires techniques vers le zéro phyto



Parcelles expérimentales à l'INRAE de Versailles. Lin en fleurs.
Crédit photo : © Nicolas Bertrand, INRAE



Tracteur enjambeur travaillant dans une parcelle de vignes du domaine du Château Couhins, Villenave d'Ornon, Gironde, FRANCE, 21 juin 2018. Crédit photo : © Nicolas Bertrand, INRAE

Programme de la session

▶ <u>Req-Puc</u>	Quelles stratégies d'irrigation et de fertilisation pour réguler les populations de puceron vert en vergers de pêchers ? (Pesticides 2014)	Marie-Odile Jordan (INRAE PSH)
▶ <u>ECOVERGER</u>	Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs. Une approche par modélisation appliquée au pêcher et au manguier (Pesticides 2014)	Isabelle Grechi (CIRAD UPR HortSys)
▶ <u>BIOCOUC</u>	Lutte BIOlogique contre la maladie du court-noué de la vigne : impact de l'intégration de techniques culturales impliquant des jachères en inter-culture et l'utilisation d'un porte-greffe résistant, sur les populations de nématodes ; compréhension du mode d'action des plantes COUvre-sol à effet nématicide (Pesticides 2014)	Olivier Lemaire (Université de Strasbourg)

INVITÉ TÉMOIN : Thierry Goujon, Directeur – Coopérative Terre de Lin



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)



Itinéraires techniques vers le zéro phyto

La mise en place des innovations concernant la moindre dépendance aux produits phytosanitaires doit actuellement prendre en compte les contraintes spécifiques auxquelles font face les producteurs. Nous nous sommes ainsi interrogés sur la contribution possible d'itinéraires techniques différents dans la conduite des cultures sans pesticides. Que ce soit à travers des travaux scientifiques en arboriculture, viticulture ou en culture de lin, le développement de méthodes alternatives nécessite une fine connaissance des spécificités de chaque parcelle, et une constante adaptation aux besoins des cultures. Si le « zéro phyto » apparaît donc encore comme un idéal vers lequel tendre, des leviers agronomiques favorables à la forte réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires incarnent autant de pistes incontournables à maîtriser et combiner pour mener à bien la transition agro-écologique.

Lutter contre les bio-agresseurs des vergers par un changement des pratiques culturales

Le puceron vert pose de sérieux problèmes en arboriculture, causant des dégâts importants sur les fruits, feuilles et rameaux des arbres, tout en étant aussi vecteur de maladies. Marie-Odile Jordan, chercheuse à INRAE, s'est intéressée aux stratégies de régulation des populations de pucerons verts à travers l'adaptation de certaines pratiques agricoles. « Des études préliminaires avaient montré que des apports d'eau et d'azote aux jeunes arbres augmentaient le nombre de pucerons et la sévérité des infestations », témoigne-t-elle. Ainsi, le projet [RegPuc](#) visait à estimer si il était envisageable de limiter efficacement les infestations des pucerons dans les vergers commerciaux via l'irrigation et la fertilisation. Il fallait donc prendre en compte la double contrainte d'un environnement fluctuant des infestations naturelles de plusieurs espèces de pucerons et de garantie de la qualité de la production. « La sévérité d'infestation d'un arbre dépend du pourcentage de rameaux touchés et de la nocivité de l'espèce de puceron prédominante ». Ainsi, une double modulation en eau et en azote a permis de limiter les infestations des pucerons en 2018 et 2019, car cela modifie la composition des apex de l'arbre, qui contiennent moins de sucres solubles et d'acides aminés. « Il faut aussi prendre en compte un effet année dû à la météo, et un effet variétal : les pêchers de la variété Ivoire, plus vigoureux et précoces, sont par exemple plus sensibles aux pucerons que ceux de la variété Conquête ». Des résultats encourageants mais qu'il faut nuancer : « Les effets restent d'ampleur limitée, et ces pratiques ne peuvent donc être utilisées seules. L'idée serait alors de constituer une « boîte à outils » de méthodes alternatives, que chaque arboriculteur pourrait adapter selon les besoins de ses parcelles et de ce qu'il fait déjà ».

Le projet [ECOVERGER](#) mené par Isabelle Grechi, chercheuse au CIRAD, s'intéressait à évaluer la viabilité des solutions techniques alternatives de lutte contre des bio-agresseurs des vergers d'importance économique : la pourriture brune sur pêchers, la mouche des fruits et la cécidomyie des fleurs sur manguiers. Là encore, « il fallait prendre en compte les contraintes techniques et économiques, ainsi que la qualité des productions » indique Isabelle Grechi. Plusieurs leviers d'actions ont été identifiés : avancer la récolte à environ 20 jours avant pleine maturité pour les mangues et synchroniser la période de floraison pour restreindre la période de sensibilité des fruits et d'exposition d'inflorescences aux bio-agresseurs ; limiter l'irrigation pour assurer une croissance lente des fruits, ce qui les rend ainsi moins sensibles à l'infection par la pourriture brune ; récolter très régulièrement les fruits infectés pour empêcher la propagation des spores pathogènes ; ou encore couvrir le sol avec des bâches ou maintenir un enherbement pour perturber la phase du cycle de développement dans le sol des cécidomyies des fleurs. « Ces leviers sont

« L'idée serait de constituer une « boîte à outils » de méthodes alternatives »

« Certains freins peuvent aussi être levés grâce à une information mieux partagée »

efficaces, et pour certains faciles à mettre en place. Certains freins peuvent aussi être levés grâce à une information mieux partagée. Par exemple, concernant la récolte précoce des fruits : contrairement à ce que l'on pourrait penser, si la récolte des mangues est faite 20 jours avant pleine maturité, cela ne réduit que de 5% la qualité du fruit [estimée en fonction de sa masse fraîche et de sa sucrosité par rapport au stade mature] », explique Isabelle Grechi. « D'autres leviers, pour être plus facilement adoptés par les arboriculteurs nécessitent des formations techniques, et une incitation économique ». Le développement d'un outil pour mieux accompagner la conception d'itinéraires mobilisant des méthodes alternatives se poursuit dans le projet [ODACE](#), qui a pris le relais de [ECOVERGER](#).

Introduire des plantes de couverture à effet nématicide pour lutter contre le vecteur du court-noué de la vigne

La maladie du court-noué de la vigne, dont le virus est transmis par le nématode du sol *Xiphinema index*, provoque de lourds dégâts en viticulture. En effet, elle conduit au dépérissement des pieds infestés et persiste dans la parcelle aussi longtemps que la vigne est cultivée : les viticulteurs sont donc contraints d'arracher les pieds touchés. Le projet [BIOCOCU](#) s'intéresse à l'utilisation des Fabacées comme le mélilot, le trèfle violet, le lotier et le sainfoin, pour leur effet antagoniste vis-à-vis de ce nématode. « Les extraits de sainfoin et de lotier sont les plus efficaces au laboratoire, atteignant un pouvoir nématicide de 80% avec les extraits racinaires », explique Lise Negrel, chercheuse au sein de l'entreprise Multifolia. « Dans les vignobles, les jachères de Fabacées en inter-cultures seules n'ont pas eu d'efficacité démontrée. En revanche, l'épandage de granulés Vitifolia [granulés de sainfoin commercialisés par l'entreprise Multifolia] après replantation de vignes a permis de diminuer le retour et la propagation de la maladie ». Le fort potentiel de ces granulés continue à être estimé aujourd'hui sur une échelle de temps plus longue. Olivier Lemaire, chercheur à INRAE, explique : « Depuis 2018, nous menons un suivi de la cinétique de recontamination des parcelles où *Xiphinema index* était présent. Ces parcelles ont été mises en jachère de luzerne pendant deux ans. Ensuite, au début de la troisième année, nous avons procédé à un épandage de 10 tonnes par hectare de granulés de sainfoin, avant de replanter, au printemps de la même année, de nouveaux pieds de vignes. Les résultats que nous obtenons sont prometteurs ». Il reste encore quelques inconnus à élucider, notamment concernant les doses maximales d'épandage ou encore l'influence des conditions pédoclimatiques sur l'efficacité des granulés. « Il est clair que ce n'est pas un, mais des leviers qu'il faut mettre en place pour apprendre à vivre avec le court-noué sans devoir recourir à l'utilisation de produits phytosanitaires. Les granulés et plantes nématicides incarnent un de ces leviers d'action aisément mobilisable ».

Il est clair que ce n'est pas un, mais des leviers qu'il faut mettre en place



Rouissage de lin textile en Normandie. Crédit photo : © Jean Weber, INRAE

► **Le regard de Thierry Goujon, directeur de la coopérative Terre de Lin**

« **Combiner les leviers d'action tout au long du cycle de production** »

Thierry Goujon, directeur de la coopérative Terre de Lin regroupant environ 700 producteurs en Normandie, témoigne des avancées menées dans la filière : « Nous travaillons à adapter nos modes de cultures : pour lutter contre les adventices, nous privilégions un désherbage mécanique par binage, ou encore par faux-semis. Ces méthodes ne sont pas parfaites, notamment parce qu'elles dépendent des conditions climatiques, mais elles permettent de réduire notre utilisation de produits phytosanitaires ». Autre levier d'action : l'utilisation de variétés résistantes mises au point par innovation génétique, qui ont déjà notamment permis de lutter efficacement contre la maladie de la fusariose qui sévissait il y a une vingtaine d'années. La coopérative a également changé ses méthodes de préparation des semences. Pour éliminer les pathogènes, une technique de désinfection à la vapeur a été mise au point. « C'est en quelque sorte un procédé de pasteurisation des semences, qui répond parfaitement aux normes sanitaires. Pour la production 2021, nous allons ainsi désinfecter entre 7000 et 8000 tonnes de semences sans utiliser aucun produit phytosanitaire ». Des résultats de très bon augure, qui permettent de renforcer l'image de qualité et de naturalité de la filière, et qui pourraient aussi être valorisés économiquement.



Colonie de pucerons verts du pêcher. *Crédit photo* : © Yvon Robert, INRAE



Dégâts de mouches des fruits sur mangue. Projet [ECOVERGER](#).
Crédit photo : © Isabelle Grechi, CIRAD



Webinaire 9

Regarder plus large que la parcelle



Paysage du Cantal près de Salers. *Crédit photo : © Nicolas Bertrand, INRAE*

Programme de la session

▶ <u>RESCAPE</u>	Résistance des paysages agricoles aux transferts de pesticides dans les sols et les organismes vivants (RESistance of agricultural landSCAPEs to pesticide transfers in soils and living organisms) (Pesticides 2014)	Céline Pelosi, Colette Bertrand (INRAE UMR EcoSys) Clémentine Fritsch (Chrono-Environnement CNRS/UBFC)
▶ <u>RESYST</u>	REsistance des SYStèmes agricoles Tropicaux à la réduction des pressions de pollution par les pesticides à l'échelle du bassin versant (Pesticides 2014)	Charles Mottes (CIRAD)
▶ <u>TRAJECTOIRES</u>	Trajectoires familiales et utilisation des pesticides dans des territoires agricoles à enjeux (Pesticides 2014)	Carole Barthélémy (Université Aix Marseille) Gilles Armani (Université Lumière Lyon 2)
▶ <u>ALT'CIM</u>	Vers le zéro phyto dans les cimetières normands (JEVI 2016)	Flore Diradourian (ASTREDHOR)
▶ <u>ALTHERCOL</u>	Les pratiques alternatives aux herbicides dans les jardins collectifs en ville (JEVI 2016)	Francesca Di Pietro (Université de Tours, UMR CITERES)



Pour regarder l'enregistrement intégral de cette session, rendez-vous sur [la chaîne YouTube du colloque](#)



Regarder au-delà de la parcelle

La réduction de la dépendance aux produits phytosanitaires nécessite la maîtrise de quantités moins importantes à l'échelle des parcelles et le changement de pratiques culturales sur celles-ci. Cependant, les enjeux de la mise en place de cette dynamique en zone agricole ou non agricole, ne se jouent pas qu'à cette échelle. En « regardant plus large que la parcelle », on comprend que celle-ci s'intègre dans un territoire avec des spécificités, sources de contraintes mais aussi d'opportunités, et que l'utilisation des produits phytosanitaires dépend aussi des représentations qu'en ont les différents acteurs (agriculteurs, collectivités, citoyens...).

Envisager une politique de gestion des produits phytosanitaires coordonnée à l'échelle des territoires

Une partie des produits phytosanitaires employés sur une parcelle donnée diffuse via l'atmosphère et le sol aux parcelles voisines. Le projet [RESCAPE](#) s'est intéressé à qualifier ces transferts à l'échelle des paysages en évaluant la contamination des sols agricoles et l'exposition des organismes vivants non-cibles des pesticides. « Nous avons travaillé sur 60 fenêtres paysagères représentant différentes mosaïques agricoles, avec des densités variables de haies ou de proportions de zones non traitées [prairies et parcelles en agriculture biologique] », explique Céline Pelosi, chercheuse à INRAE. Des résidus de fongicides, insecticides et herbicides ont ensuite été recherchés non seulement dans des échantillons de sols, mais aussi dans les tissus de vers de terre, de carabes et de petits mammifères. « Nous avons mis en évidence une contamination quasi-systématique des échantillons étudiés : au moins un résidu de pesticide a été retrouvé dans tous les échantillons de sols et de petits mammifères, avec très fréquemment des mélanges de fongicides, herbicides et insecticides, par exemple époxiconazole, diflufenican et imidaclopride ». 40% des échantillons de sol présentaient des concentrations dépassant le seuil de toxicité chronique pour les vers de terre pour au moins un pesticide. « Nous avons aussi mené une évaluation du risque des mélanges de pesticides, concluant à un risque élevé pour près de la moitié des sols étudiés, incluant la majorité des sols en agriculture conventionnelle mais également des sols non traités ». Heureusement ces zones non traitées sont significativement moins contaminées, mettant en évidence leur potentiel en tant que « zones refuges » pour les organismes vivants vis-à-vis de l'exposition aux pesticides. Les prairies et haies, non traitées avec des produits phytosanitaires, ont donc une importance capitale à l'échelle du paysage. D'autant plus qu'une modélisation de la dispersion atmosphérique des pesticides a montré que les haies « font barrière » aux dépôts de ces derniers sur les zones adjacentes non-cibles. Ainsi, les chercheurs recommandent une gestion des agroécosystèmes non pas à l'échelle de la parcelle, mais du paysage, en augmentant le nombre de zones non traitées et les infrastructures agro-écologiques comme les haies et les zones arbustives. Ce mode de gestion nécessite alors une coordination efficace des différents acteurs présents sur un territoire.

L'importance d'une telle coordination a aussi été mise en évidence par le projet [RESYST](#) mené par Charles Mottes, chercheur au CIRAD. L'enjeu de ce projet était de faire évoluer les pratiques agricoles dans le bassin versant du Galion en Martinique pour limiter la pollution de la rivière. « Partant du constat que les trois grandes filières de production de l'île [cane à sucre, bananes d'exportation et production diversifiée pour le marché local] travaillent de manière très déconnectée, il fallait envisager de coordonner les acteurs pour co-construire avec eux quinze innovations à l'échelle du territoire permettant notamment une nouvelle gestion de l'enherbement, que nous avons ensuite testées avec des mises en situation ». Le but affiché : « montrer que le territoire est porteur de ressources et de leviers que les filières seules n'envisagent pas », en construisant de nouveaux liens entre agriculteurs, en valorisant les territoires et leurs ressources, tout en tenant compte des spécificités locales.

Les prairies et haies ont donc une importance capitale à l'échelle du paysage

Les travaux du projet [Trajectoires](#) mettent en lumière la nécessité de s'adapter aux contraintes locales rencontrées par les professionnels

Prendre en compte les facteurs socio-culturels pour réussir la transition

La mise en place de nouvelles pratiques agricoles est également déterminée par des facteurs socio-culturels. Le projet [Trajectoires](#) piloté par Carole Barthélémy, enseignante-chercheuse en sociologie, portait sur les causes sociologiques déterminant le succès ou l'échec des dispositifs de réduction d'utilisation des pesticides. Trois trajectoires, menant ou non au changement, ont été identifiées : la trajectoire familiale de changement d'utilisations des produits phytopharmaceutiques entre les générations, la trajectoire matérielle d'évolution des produits phytosanitaires eux-mêmes, et la trajectoire des transformations du territoire. « Pour les quatre territoires agricoles où l'étude a été menée, les enquêtes évoquent une période ayant commencé à l'après-guerre où les produits phytosanitaires étaient utilisés de façon systématique. Depuis, il y a vraisemblablement eu une prise de conscience, puisque nous avons pu constater des initiatives individuelles ou collectives plus ou moins anciennes de remise en cause de cette norme ». [Trajectoires](#) a aussi questionné l'efficacité de la formation CERTIPHYTO, passeport obligatoire pour tous les utilisateurs de produits phytosanitaires. « Nous voulions identifier les limites de ce dispositif pensé de manière uniforme, alors qu'il s'adresse à des groupes sociaux aux capitaux culturels et économiques très différents : certains considèrent cette formation comme inutile, d'autres n'ont pas les moyens de la mettre en pratique », déplore Carole Barthélémy. Ces travaux mettent en lumière la nécessité de s'adapter aux contraintes locales rencontrées par les professionnels.

Le projet [ALTHERCOL](#) s'intéressait également au lien entre l'origine socio-démographique des jardiniers des jardins partagés familiaux, et leur volonté de mettre en place des pratiques alternatives aux herbicides. « L'enquête portait à la fois sur les gestionnaires de ces jardins (associations ou communes) valorisant un jardinage sans pesticides mais ne souhaitant pas laisser de place à la flore spontanée, et sur les jardiniers répartis en 4 types selon leur utilisation de pesticides », explique Francesca Di Pietro, enseignante-chercheuse à l'Université de Tours. « Nos analyses ont montré que l'utilisation des pesticides dépendait de la proximité à la ruralité des jardiniers, c'est-à-dire le lieu d'enfance où ils ont appris à jardiner, et de leur lieu de vie actuel. Par ailleurs, nous avons découvert que les jardiniers jeunes et venant de la ville sont les plus tolérants vis-à-vis de la flore spontanée ». Ainsi, pour accompagner les jardiniers vers une réduction d'utilisation de pesticides, le projet [ALTHERCOL](#) propose de mettre en place des formations, de diffuser des informations écrites et d'organiser des discussions entre jardiniers pour favoriser les échanges de connaissances et de bonnes pratiques.

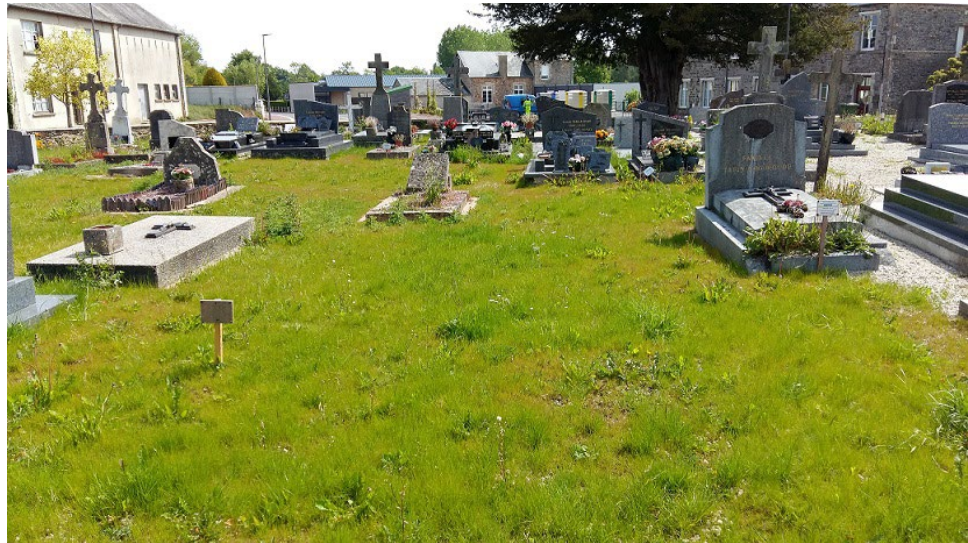


Aval d'un des territoires pilotes du projet [RESYST](#) : le bassin versant du Galion
Crédit photo : © Charles Mottes, CIRAD.

Une large majorité soutient la mise en place de cette végétation propice à la biodiversité et à rendre le cimetière plus attrayant

Favoriser la biodiversité dans les cimetières

Le projet [ALT'CIM](#) visait à développer une végétalisation alternative dans les cimetières qui ne nécessite pas l'emploi de produits phytosanitaires. Différentes espèces végétales et techniques d'implantation ont été testées sur huit cimetières normands. L'enherbement des allées avec du Ray-Grass résistant au piétinement, la plantation de vivaces comme la camomille entre les tombes et au dos de celles-ci, la mise en place de prairies fleuries et de tapis pré-végétalisés sont des exemples de végétalisation faciles à entretenir sans produits phytosanitaires. Une enquête sur le degré d'acceptation de cette nouvelle végétalisation a ensuite été menée auprès des usagers des cimetières, révélant qu'une large majorité soutient la mise en place de cette végétation propice à la biodiversité et à rendre le cimetière plus attrayant, même si cela confère tout de même une charge de travail plus importante aux gestionnaires.



Cimetière du Hommet d'Arthenay (50) – Hydroseeding. Projet [Alt'Cim](#).
Crédit photo : © David Philippart, FREDON Normandie



Paysage agricole de la ZAPVS (Zone Atelier Plaine & Val de Sèvre), parcelle cultivée et haie adjacente. Projet [Rescape](#). Crédit photo : © Céline Pelosi, INRAE



CONCLUSION

Trois regards sur le Colloque Ecophyto Recherche & Innovation

Il est important d'avoir ce temps de partage de résultats ... pour pouvoir discuter des performances qu'il est possible d'atteindre avec les leviers proposés par ces projets

► **Le regard de Marion Bardy,**
adjointe à la sous-directrice de la recherche,
de l'innovation et des coopérations internationales
au ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

Ce colloque a été organisé dans le cadre du plan Ecophyto, qui a été lancé en 2008 en réponse à des attentes citoyennes fortes de préservation de la santé humaine et de l'environnement. Les ambitions du plan ont été revues périodiquement, résultant aujourd'hui au plan Ecophyto II+. Les projets présentés dans ce colloque, qui s'articule en un format original d'une série de webinaires thématiques, ont été financés dans le cadre de ce plan et ouvrent ainsi des voies en proposant différentes stratégies afin de réduire l'usage des produits phytosanitaires, que ce soit dans le contexte agricole ou bien dans le contexte des JEVI [Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures]. « Il est important d'avoir ce temps de partage de résultats dans le cadre de ce colloque pour pouvoir discuter des performances qu'il est possible d'atteindre avec les leviers proposés par ces projets et d'identifier les moyens de leur mise en œuvre concrète » explique Marion Bardy. « De plus, les discussions tout au long ces webinaires serviront à alimenter les réflexions sur les différentes orientations de l'axe Recherche & Innovation du plan » ajoute-t-elle. Ces projets de recherche contribuent non seulement à alimenter les connaissances mais aussi à structurer les communautés de chercheurs sur ces thématiques. De plus, ils s'articulent avec des projets issus d'autres programmes financés par le Plan Ecophyto et qui accompagnent également cette transition agroécologique, comme les appels à projets « [Cultiver et protéger autrement](#) » et « [Maturation](#) ». Enfin, il est important de faire connaître tout ce qui est produit, et pas uniquement à l'échelle nationale. « Du côté de la recherche, l'INRAE a fait par exemple une alliance européenne autour de question de la construction d'une agriculture sans pesticides. Du côté des institutions, nous sommes en train de travailler avec nos homologues européens dans le cadre du comité européen pour la recherche en agriculture [SCAR](#). ».

► **Le regard de Xavier Reboud,**
président du comité scientifique d'orientation
« Recherche & Innovation » (CSO R&I)

Les thématiques abordées dans cette série de webinaires s'inscrivent dans la politique scientifique que le CSO R&I défend, celle qui vise à impulser l'acquisition de connaissances identifiées comme prioritaires pour l'atteinte des objectifs du plan Ecophyto. Le format des sessions a été travaillé en amont pour présenter de manière didactique les projets financés par le plan Ecophyto, mais aussi pour susciter des échanges intenses entre les conférenciers et avec les auditeurs sur

« Certains projets présentés au fil des sessions ont pu générer des partenariats pour le développement de solutions alternatives commercialisées »

les thématiques abordés. « Nous avons fait le choix de joindre un regard extérieur à chaque session, à travers un ou des invités témoins. Cela permet de prendre du recul sur les thématiques » souligne Xavier Reboud. Certains projets présentés au fil des sessions ont pu générer des partenariats pour le développement de solutions alternatives commercialisées ou prêtes à l'être, et cela aurait pu s'étendre encore comme on l'a bien perçu à travers le contenu très prometteur de certains projets. « Les répercussions sur le marché nécessitent la conjonction de deux facteurs, le premier étant l'expression d'une attente forte, le deuxième étant la présence de porteurs qui endossent le risque des opportunités offertes. Il reste donc crucial de lier précocement des partenariats, afin de permettre une articulation entre scientifiques et praticiens de tout ordre » précise-t-il. Un autre point positif souligné est le format didactique de ces sessions, dont la diffusion peut facilement toucher un public élargi, et favoriser ainsi ces partenariats. Les ressources de ce colloque sont disponibles au public : les vidéos sur la [chaîne YouTube du colloque](#) et les brochures des webinaires sur la [page EcophytoPIC du colloque](#).

« Ce qui est frappant, c'est la diversité des propositions formulées, des angles d'attaque nouveaux pour trouver des alternatives à différentes échelles »

► **Le regard de Lucile Gauchet,**
chargée de mission co-pilotage du plan Ecophyto
au sein de la Direction générale de l'Aménagement,
du Logement et de la Nature du Ministère de la Transition Ecologique

Au sein des projets restitués dans ce colloque, une place centrale a été accordée aux alternatives techniques aux produits phytosanitaires de synthèse, et en particulier au biocontrôle. « Ce qui est frappant, c'est la diversité des propositions formulées, des angles d'attaque nouveaux pour trouver des alternatives à différentes échelles, mettant en avant des leviers différents à intégrer dans les itinéraires techniques et poussant également à la réflexion au-delà de la seule parcelle » souligne-t-elle. Ensuite, il est à noter que les projets présentés sont issus de programmes lancés il y a maintenant plusieurs années (2015 – 2016), ce qui souligne bien le travail d'anticipation qu'exerce l'axe Recherche & Innovation. « Le travail fourni par le CSO R&I appuyé par la cellule d'animation, contribue à structurer la communauté scientifique autour de la thématique de la réduction de l'usage des pesticides ». Il est aussi à noter que l'axe Recherche et Innovation du plan Ecophyto prend en compte d'autres aspects cruciaux et d'actualité, comme la santé et l'impact sur l'environnement, mais à travers d'autres appels à proposition de recherche, qui n'ont pas été présentés lors de ce colloque. Lucile Gauchet rappelle également que la France a été pionnière en fixant les objectifs ambitieux du Plan Ecophyto de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, nécessitant un effort de recherche supplémentaire, qui s'est traduit par l'augmentation des moyens alloués à cet axe dans le cadre d'Ecophyto II+. On en perçoit l'effet d'entraînement pour un changement aujourd'hui, puisque l'Union Européenne s'est également fixée des objectifs ambitieux dans le cadre de la déclinaison du Pacte Vert, avec les stratégies « de la Ferme à la table » et « biodiversité de l'UE ». Enfin, se pose la question de la portée de ces projets de recherche, notamment par rapport au transfert des connaissances aux acteurs concernés : agriculteurs, conseillers, pouvoirs publics etc. Il paraît donc aujourd'hui indispensable de se réinterroger sur les moyens de maximiser les effets leviers.



Annexe

Fiches descriptives des projets

ACAROSOL

ALT'CIM

ALTHERCOL

AM&BAS

AttractMyFly

BIOBOT

BIOCCYD

BIOCOU

BIOLIM

BIOTI-VIGNE

DAS-REVI

DESHERBAL

DICABIO

ECOVERGER

ENFIN !

FLEUR

LIPOCONTRÔLE

MacroPlus

MDRisque

MilPomBio

NABUCO

OPTIM'PHERO

PRO-BIO-TAUPIN

Reg-Puc

Rescape

RESYST

Rhizodia

SEMIOTRAP

SERUM

Systemyc

TRAJECTOIRES



Contrôle Biologique des Acariens ravageurs sur Solanaceae

Année de démarrage : 2015
Année de fin : 2018

Responsable scientifique
Marie-Stéphane Tixier,
Institut Agro-Montpellier SupAgro
marie-stephane.tixier@supagro.fr

Partenaires
Institut Agro-Montpellier SupAgro ; INRAE UMR
CBGP ; CTIFL-Ballandran ; SONITO ; Koppert

Financement
Coût total du projet : 527 989 €
Subvention Écophyto : 90 347 €

Mots clés :

Acariens ; Lutte biologique ; Tomates ; Biodiversité ; Transitions agroécologiques ; Gestion par macro-organismes

Contexte et principaux objectifs

Les acariens peuvent entraîner sur la tomate des pertes de rendements importantes (jusqu'à 65%) nécessitant l'application de pesticides dont l'utilisation n'est pas satisfaisante d'un point de vue environnemental, économique et sociétal. Les acariens prédateurs Phytoseiidae sont les ennemis naturels les plus efficaces des acariens ravageurs. Cependant, sur tomates, ces auxiliaires sont peu efficaces du fait des caractéristiques physiques et biochimiques de cette plante. Il s'agit donc dans ce projet de rechercher des prédateurs endémiques d'Europe adaptés aux Solanaceae, et de tester les caractéristiques de prédation au laboratoire et en serres expérimentales. La présence de prédateurs dans les bordures non cultivées de cultures plein champ est aussi étudiée. Les principales hypothèses testées sont les suivantes :

1. Il existe des prédateurs encore non connus, endémiques d'Europe et adaptés à la tomate.
2. Ils ont des caractéristiques de prédation intéressantes.
3. Ils peuvent être élevés en masse et lâchés dans les parcelles.
4. Ils sont naturellement présents sur des plantes non cultivées en bordure de champ.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Les résultats du projet ont permis globalement de répondre aux attentes en termes de lutte biologique contre les acariens ravageurs de la tomate, et notamment le plus important, *Aculops lycopersici* agent de l'acariose bronzée de la tomate. Le travail a été organisé en trois étapes majeures.

1. Recherche et caractérisation de la biodiversité « utile » et originale

Plusieurs missions de terrain ont été effectuées, plus de 100 plantes (33 espèces de Solanaceae) ont été collectées en France et au Maroc. Quatre espèces de Phytoseiidae principales ont été trouvées.

Des essais en laboratoire ont permis de déterminer des différences de prédation entre les espèces et les populations étudiées. Une espèce de prédateurs (*T. (A.) recki*) a été sélectionnée pour poursuivre les tests à plus grande échelle. De plus, des analyses moléculaires et morphologiques ont permis de montrer des relations entre ces traits, les plantes hôtes et les capacités de prédation des populations de *T. (A.) recki* considérées.

2. Caractérisation des capacités de dispersion du prédateur sur les tomates.

Des tests en laboratoire ont montré que les femelles du prédateur se déplacent sur ces tiges, et qu'elles sont attirées par la nourriture (pollen ou *Aculops lycopersici*). Cependant, les résultats des pré-tests sur plantes entières ont été décevants, montrant une faible dispersion des prédateurs le long des tiges de tomates. Ainsi, la perspective de réaliser des élevages de masse par le partenaire industriel a été abandonnée et une solution alternative a dû être trouvée.

3. Etude de l'efficacité biologique en conditions expérimentales sous serres.

Du fait de l'impossibilité de réaliser des élevages de masse, deux autres « types d'apport » de prédateurs ont été étudiés.

Des plantes compagnes, plantes réservoirs d'ennemis naturels. Lors de l'étude de la diversité des prédateurs, nous avons montré, que l'espèce choisie était présente en grandes quantités sur des menthes. Ainsi, nous avons opté pour étudier l'impact de la présence de pieds de menthe sur le contrôle des ravageurs présents sur des pieds de tomates à proximité. Des expérimentations ont montré que *T. (A.) recki* se disperse des menthes vers les tomates infestées que ce soit sur disque de feuille ou sur plantes entières. Une densité de plantation de 6 tomates/3 menthes semble suffisante pour permettre cette dispersion. *T. (A.) recki* semble se disperser davantage lorsque les tomates sont infestées. Ce résultat ouvre des perspectives en termes de lutte par plantes relais.

Des introductions inoculatives du prédateur. Du fait de la présence de nombre important du prédateur sur les feuilles de menthe, des introductions de branches de menthe sur des pieds de tomates ont été réalisées, ceci en conditions de serre expérimentale. Des branches de menthe ont été introduites, puis une semaine plus tard, les ravageurs inoculés (*A. lycopersici*). Les expérimentations en serre ont montré un contrôle satisfaisant biologique et sans précédent de *A. lycopersici*.

Il est à noter que l'espèce de prédateur sélectionnée a aussi été observée dans les abords non cultivés des parcelles de tomates plein champ échantillonnées ouvrant ainsi aussi des perspectives en termes de lutte biologique par conservation de la biodiversité.

Perspectives en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Ce projet ouvre la voie au développement de deux stratégies de lutte biologique :

- ▶ **Utilisation de plantes compagnes.** Nos résultats ouvrent de nouvelles perspectives de marché pour (i) les pépiniéristes comme fournisseurs de plantes compagnes et (ii) pour les entreprises commercialisant des auxiliaires et/ou des plantes compagnes abritant déjà ces auxiliaires.
- ▶ **Lutte biologique par augmentation.** Nos résultats intéresseront les firmes de biocontrôle car elles pourront développer ensuite des tests complémentaires pour envisager une commercialisation. Les enjeux économiques sont très importants étant donnée la forte demande de solutions biologiques contre *A. lycopersici* dans le monde entier.

Recherche :

Les résultats du projet sont très positifs car (i) c'est la première fois qu'une espèce de prédateur s'avère aussi efficace pour contrôler *Aculops lycopersici* et (ii) de nouvelles perspectives de lutte biologique par l'utilisation de plantes compagnes sont envisagées. Ce travail se poursuit dans un projet Ecophyto Maturation, BioLycTom dans un objectif plus opérationnel de tester (i) les conditions optimales d'apports de Phytoseiidae, (ii) l'impact du prédateur sur d'autres ravageurs de la tomate, (iii) les effets positifs et potentiellement négatifs de la présence de plantes compagnes dans les cultures, ceci sur le plan biologique, technique et socio-économique.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ Gard B., Douin M., Tixier M.-S. 2021. **A new hope for the biological control of *Aculops lycopersici* (Acari: Eriophyidae) with the predatory mite *Typhlodromus (Anthoseius) recki* Wainstein (Acari: Phytoseiidae).** International Congress of Entomology, Helsinki. Prévu en 2020 et reporté en 2021.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ Tixier M.-S., Douin M., Kreiter S. 2020. **Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) on plants of the family Solanaceae: results of a survey in the south of France and a review of world biodiversity.** Experimental and Applied Acarology 81 : 357–388
- ▶ Tixier M.-S., Perez Martinez S., Douin M. 2020. **Markers for life traits: the example of variations in morphology, molecular and amino acid sequences within the species *Typhlodromus (Anthoseius) recki* Wainstein (Acari: Mesostigmata: Phytoseiidae).** Journal of Linnean Society accepté. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blaa103>
- ▶ Tixier M.-S., Douin M., Oliva R., Gonzalez L., Pount B., Kreiter S. 2020. **Distribution and biological features of the species *Typhlodromus (Anthoseius) recki* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae*, *T. evansi* (Acari: Tetranychidae) and *Aculops lycopersici* (Acari: Eriophyidae).** Acarologia Acarologia 60 (4) : 684-697. DOI : 10.24349 / acarologia / 20204396



Vers le zéro-phyto dans les cimetières normands

Année de démarrage : 2017
Année de fin : 2021

Partenaires
ASTREDHOR ; FREDON Normandie

Responsable scientifique
Agnès Langlois, ASTREDHOR
agnes.langlois@astredhor.fr

Financement
Coût total du projet : 193 845 €
Subvention Écophyto : 145 383 €

Mots clés :

JEVI ; Zéro-phyto ; Gestion intégrée des cimetières ; Solutions de végétalisation ; Espaces contraints ; Valorisation paysagère des lieux de recueillement

Contexte et principaux objectifs

En 2022, la réglementation change et les cimetières deviennent des lieux où l'utilisation des produits phytosanitaires sera interdite. L'expérience montre que c'est dans ces lieux que la mutation est la plus difficile à mener.

Dans cet univers fortement minéralisé, la moindre plante spontanée est vite considérée comme intolérable. Il en résulte souvent une utilisation d'herbicides afin de conserver ces espaces « propres ».

Les objectifs du projet sont :

- 1) Définir et inventorier les différentes typologies des cimetières normands et leurs problématiques, tout en inventoriant les démarches et solutions déjà existantes
- 2) Accompagner l'évolution des perceptions culturelles des cimetières par une communication et une sensibilisation spécifiques
- 3) Accompagner les collectivités dans la transition et la pérennisation du zéro-phyto dans leur cimetière en testant des solutions de végétalisation pour réduire le temps d'entretien et faire accepter le végétal
- 4) Se conformer aux usages des lieux
- 5) Végétaliser, dans le but de valoriser le paysage et le patrimoine

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Les mises en place des essais de végétalisation se sont déroulées à l'automne 2017 ainsi qu'au printemps 2018. Ces expérimentations ont pris plusieurs formes : enherbement, plantation de vivaces, solutions pré-végétalisées et mélanges fleuris.

Les modalités d'enherbement ont principalement été testées dans les allées principales et secondaires des cimetières. Sur les sites où l'enherbement était général, il a été réalisé en hydro-seeding. Complexe à la mise en place, cette méthode a l'avantage de favoriser le démarrage de l'enherbement. Le rendu est rapide et intéressant, le coût quant à lui est plus élevé qu'un enherbement classique.

Lorsque les gazons ont été mis en place au niveau des allées principales, allées secondaires et contre-allées, cela s'est fait majoritairement par semis.

En dehors de contraintes particulières (ombrage de certains espaces) et dans le cadre de nos essais, les gazons Euronature TPV1 de chez Top green et Routemaster 3 donnent les meilleurs résultats en termes de couverture du sol. Ces derniers semés rattrapent *in fine* l'hydro-seeding au bout de quelques mois.

Lorsque les inter-tombes étaient trop étroites pour être engazonnées, d'autres solutions comme la plantation de vivaces ont été testées. Elles ont été plantées seules, ou en modules composés de plusieurs espèces. Les taxons ont été mis en place sur plusieurs sites. L'étude s'est portée sur le pourcentage de couverture du sol, l'impact envahissant, l'esthétisme... Le tableau suivant reprend ces résultats.

	Faculté d'installation	Concurrence vis-à-vis des adventices	Impact envahissant	Aspect esthétique
<i>Centaurea simplicaulis</i>	+++	++++	++	++++
<i>Prunella vulgaris</i>	++++	++++	+++	+++
<i>Acaena microphylla</i>	++++	++++	++++	+++
<i>Frankenia laevis</i>	+++	+++	++++	++
<i>Muehlenbeckia complexa</i>	++	+++	++	++
<i>Erigeron karvinskianus</i>	+++	++++	+	++++
<i>Chamaemelum nobile</i>	++++	+++	+	++++
<i>Polygonum affine 'Dimitry'</i>	+++	+++	++++	++++
<i>Sedum album 'Coral carpet'</i>	++	+++	+	++++
<i>Sedum spurium 'Woodoo'</i>	++	+++	+	++++
<i>Origanum vulgare 'Compactum'</i>	+++	++	+	+++

Comparatif synthétique des meilleurs taxons de plantes vivaces sur critères d'adaptation et de développement, essais du programme ALT'CIM. Crédits : Agnès Langlois, ASTREDHOR

Les observations ont pu dégager des espèces intéressantes aussi bien par leur capacité d'adaptation que par leur taux de recouvrement : *Centaurea simplicaulis*, *Prunella vulgaris* et *Chamaemelum nobile*.



Arnières / Iton (27), *Chamaemelum nobile*.
Crédit photo : © David Philippart, FREDON Normandie



Régneville / mer (50) : *Prunella vulgaris*.
Crédit photo : © David Philippart, FREDON Normandie



Vaucelles, Caen (14) : *Centaurea simplicaulis*.
Crédit photo : © David Philippart, FREDON Normandie

A contrario, d'autres ont montré un impact envahissant très important : *Acaena microphylla*, *Frankenia laevis* et *Polygonum affine 'Dimitry'*.



Vaucelles, Caen (14), *Polygonum affine 'Dimitry'*.
Crédit photo : © David Philippart, FREDON Normandie



Vaucelles, Caen (14), *Frankenia laevis*.
Crédit photo : © David Philippart, FREDON Normandie

Un certain nombre d'espèces ont été testées en association, placées entre des tombes hautes, sur lesquelles des végétaux potentiellement envahissants ne peuvent pas monter. Indépendamment des associations de végétaux, les espèces *Hernaria glabra*, *Polygonum affine*, *Thymus serpyllum*, *Saponaria ocymoides* et *Stachys byzantina* donnent des résultats intéressants.

D'autres solutions de végétalisation comme les tapis pré-cultivés ont également été installés sur trois sites. L'implantation a été réalisée aux abords des pierres tombales. Les tapis ou dalles végétalisés comprennent à la fois les végétaux (sédums ou vivaces) et le substrat nécessaire à leur croissance, avec ou sans trame coco pour le maintien. Ces systèmes permettent une mise en place rapide et un résultat visuel immédiat. Ces derniers peuvent être mis en comparaison avec les sedums mis en place sous forme de fragments.

Les tapis pré-cultivés sont une solution très efficace dès la mise en place, car ils couvrent directement le sol et évitent ainsi l'émergence des plantes spontanées et la reprise est facilitée. Les sedums présentent l'avantage d'être plus ras que les vivaces ce qui facilite leur acceptation aux abords des monuments. Si les tapis de végétaux montrent les résultats les plus rapides et efficaces, ils seront réservés à des espaces restreints et des zones stratégiques en raison de leur coût important.



Regnéville / mer (50) : tapis de vivaces. Crédit photo : © David Philippart, FREDON Normandie



Regnéville / mer (50) : tapis de Sedums. Crédit photo : © David Philippart, FREDON Normandie

Les mélanges fleuris ont été testés sur trois sites, à différents emplacements dans les cimetières. De manière générale, les mélanges fleuris sont conseillés pour 2-3 ans. Au-delà, on observe une perte de diversité du mélange, et une nouvelle mise en place s'avère nécessaire.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Les résultats obtenus dans ALT'CIM permettent d'aiguiller des collectivités souhaitant passer au zéro-phyto dans leurs cimetières. La diversité des solutions testées permet, pour chaque espace complexe de ces lieux de recueillement, de proposer une, voire plusieurs solutions : allées principales ou secondaires, inter-tombes, inter-rangs, espaces en attente de sépulture, mise en valeur de certains monuments...

Il ressort du projet que l'enherbement est l'une des solutions les plus simples à mettre en œuvre. Cependant, la configuration étant différente pour chaque cimetière, la végétalisation à base de vivaces ou sédums trouve également sa légitimité.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ Colloque « **Que vont devenir les cimetières en Normandie, et ailleurs ?** », 30-31/08 et 1^{er}/09 2017. CCIC Cerisy-la-Salle (Intervention FLORYSAGE), par Fédération Normande pour la sauvegarde des cimetières et du patrimoine funéraire.
- ▶ Colloque FLORYSAGE 2017 « **Paysage et entretien des cimetières** », 29/11/17. Conseil Départemental de l'Eure.
- ▶ ½ Journée Conférence « **Vers le zéro-phyto dans les cimetières de la Manche** ». Conseil Départemental de la Manche, février 2018.
- ▶ Journée technique « **Végétalisation des espaces contraints : massifs de voiries et cimetières** », 06/04/18. Lycée des métiers Jean Rostand (Offranville, 76).
- ▶ Journée Technique partenariale CAUE14/FLORYSAGE « **Quand le zéro-phyto nourrit le projet de paysage** », mai 2018.
- ▶ Journée technique Caen la mer et Plante & Cité « **Zéro-phyto dans l'espace public : pour aller plus loin que la réglementation** », en partenariat avec FLORYSAGE, Hortis, Unep, septembre 2018.
- ▶ Journées Portes Ouvertes ASTREDHOR Seine-Manche et Pays de la Loire, septembre 2018.
- ▶ 2e forum « Champs d'Innovation » de la chambre d'Agriculture de Normandie, Caen, 18/10/18.
- ▶ ½ Journée Technique partenariale FREDON/Le Havre Seine Métropole (Cellule de Protection des ressources en eau) / FLORYSAGE « **Le zéro-phyto au quotidien dans ma commune : je végétalise le cimetière** », avril 2019.
- ▶ Intervention au Salon Vert : « **Sensibiliser et accompagner les collectivités dans la végétalisation de leur cimetière, afin de faciliter la transition zéro-phyto** », Saint-Chéron, 23/09/2020.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION :

- ▶ Paris Normandie, octobre 2017 : « **Le « zéro pesticides » arrive au cimetière de La Bonneville-sur-Iton** ».
- ▶ Ouest France, octobre 2018 : « **Quand on dit zéro phytos, c'est zéro** ».
- ▶ Le Lien Horticole, janvier 2018 : « **Cimetières normands : Accompagner les collectivités dans la transition zéro-phyto de leur cimetière** ».

Autres valorisations :

- ▶ « **(Ré)aménager et entretenir les cimetières de Normandie** ». Plaquette parue en 2018.
- ▶ « **Diagnostic du paysage funéraire normand** ». Plaquette parue en 2019.
- ▶ « **Passer au zéro-phyto dans mon cimetière : la solution de la végétalisation** ». Plaquette à paraître.
- ▶ « **Info'Charte** » n°13 et n°15. FREDON Haute-Normandie (avril et octobre 2018).
- ▶ « **Comment (ré)aménager et entretenir les cimetières en Normandie ?** ». Guide à paraître.
- ▶ Fiche Technique FLORYSAGE « **Végétaliser son cimetière pour le gérer sans produit phytosanitaires** » (Destinée aux adhérents, 2020).
- ▶ « **Kit de communication** » ALT'CIM (Affiche, panoneaux, flyers).



Alternative aux herbicides dans les jardins collectifs

Année de démarrage : 2017
Année de fin : 2020

Partenaires
Université de Tours UMR CITERES ; France Nature
Environnement Centre Val de Loire (FNE-CVdL)

Responsable scientifique
Francesca Di Pietro, Université de Tours UMR
CITERES
dipietro@univ-tours.fr

Financement
Coût total du projet : 174 760 €
Subvention Écophyto : 119 760 €

Mots clés :

Jardins familiaux ; Pratiques horticoles ; Pesticides ; Socio-démographie ; Flore spontanée ; Jardiniers ; Motivations ; Représentations ; Biodiversité urbaine ; Biocontrôle

Contexte et principaux objectifs

Les 2/3 des volumes de pesticides destinés aux usages non-agricoles sont orientés vers les jardins particuliers ; les pesticides pour jardiniers amateurs touchent une partie considérable de la population. Dans les jardins collectifs, comme dans les jardins particuliers, toutes les gammes des pratiques horticoles, des plus intensives et consommatrices de pesticides aux plus biologiques, sont présentes. Toutefois, du fait d'une dimension collective, ces jardins peuvent représenter un lieu d'expérimentation pour de nombreux jardiniers, ainsi qu'un lieu de diffusion de méthodes classées dans le biocontrôle. Nous postulons que **les jardins collectifs sont une opportunité pour favoriser l'appropriation des méthodes de biocontrôle et faciliter l'abandon de l'utilisation des pesticides dans le jardinage amateur**. Il semble important d'accompagner la transition des jardiniers vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement, et vers l'adoption des méthodes de biocontrôle, étant donné que les stocks de pesticides peuvent durer encore plusieurs années et que des pratiques alternatives inappropriées sont parfois mises en place.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Nous avons mobilisé des méthodologies spécifiques pour :

- 1) Identifier les jardins familiaux de façon exhaustive dans deux agglomérations : Tours et Orléans (photo-interprétation, cartographie)
- 2) Interroger les gestionnaires des jardins familiaux (17 entretiens)
- 3) Interroger les jardiniers (30 entretiens exploratoires et 150 questionnaires)
- 4) Connaître la structure des jardins familiaux et leur flore spontanée (150 relevés de structure des parcelles, 150 relevés botaniques dans les parcelles, 150 relevés botaniques dans les allées)

Notre étude montre que, d'après les gestionnaires des jardins familiaux, les pratiques de jardinage écologique sont de plus en plus répandues dans ces espaces, et la plupart des gestionnaires s'engagent en faveur de ces nouvelles pratiques à travers la réglementation, la formation et les discussions avec



Les parcelles et les allées, deux espaces bien distincts dans les jardins familiaux. Crédit photo : © F. Di Pietro, Université de Tours

les jardiniers. Toutefois, pour nombre d'entre eux, ce changement se réduit à un remplacement de produits par d'autres moins nocifs (exemple : la bouillie bordelaise). En outre, les jardins familiaux sont considérés par les gestionnaires comme des espaces de production de légumes. Si la faune auxiliaire y est acceptée voire favorisée, « l'herbe », considérée comme antinomique à la fonction de production, reste sujette à l'hostilité.

Les entretiens exploratoires auprès des jardiniers familiaux ont permis de caractériser la diversité des pratiques de jardinage, des motivations et des attitudes des jardiniers vis-à-vis de cette activité. En particulier, nous avons défini un spectre d'usage des pesticides de synthèse et de mise en place de méthodes alternatives. Nous avons mis en évidence de nombreux liens entre la position des jardiniers sur ce spectre, leur type et leur profil socio-démographique. Cette typologie a permis de cibler les problématiques liées à chaque type de jardinier et d'envisager des moyens pour y répondre. L'utilisation de pesticides de synthèse n'est pas influencée par les paramètres socio-démographiques, mais elle est liée au lieu de l'enfance (milieu rural) et à l'identification à la campagne. En revanche l'âge et le milieu social, ainsi que le lieu de l'enfance, influencent l'acceptation de la flore et de la faune spontanées, mais aussi la gestion du sol, la fertilisation, la variété de légumes cultivés, ainsi que l'aptitude à changer de pratiques. Ces éléments ont été confirmés sur un échantillon plus large de 150 jardiniers des jardins familiaux, interrogés par des questionnaires.

L'analyse de la structure des jardins et de la végétation spontanée des parcelles et des allées montre que **la structure interne des parcelles** varie de façon significative entre les sites et les jardins, et les associations ont une influence significative sur le nombre d'arbres plantés par les jardiniers. Les femmes ont tendance à exploiter moins d'espace que les hommes. La végétation spontanée des allées est fortement corrélée aux pratiques de jardinage et à la structure des jardins : la part d'espèces pérennes augmente de façon significative avec la part de haies, et, de façon surprenante, diminue avec la part d'espace non cultivé et la part de vigne. **La végétation spontanée des parcelles** varie en fonction du nombre d'arbres d'ornement (lié aux espèces pérennes).

En outre, les pratiques de jardinage, en particulier le travail superficiel du sol à la main et l'utilisation de la bouillie bordelaise, influencent de façon significative la richesse spécifique et la part d'espèces pérennes présentes dans les parcelles et les allées.



Les parcelles des jardins familiaux peuvent être des espaces cultivés de façon intensive.
Crédit Photo : © F. Di Pietro

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Pour accompagner la transition des jardiniers vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement, 4 orientations sont pertinentes :

- 1) Organiser des « causeries » rassemblant les jardiniers et un médiateur : à privilégier pour les jardiniers les plus utilisateurs de pesticides de synthèse.
- 2) Diffuser des informations écrites sur papier (ce qui exclut toutefois les jardiniers analphabètes ou parlant peu le français) et sur Internet (utilisé toutefois surtout par les jardiniers peu utilisateurs de pesticides).
- 3) Former les jardiniers en s'appuyant sur ce qu'ils font déjà.
- 4) Former les gestionnaires sur le jardinage biologique et les sensibiliser à d'autres formes d'esthétique du jardin.

Recherche :

Les perspectives de recherche s'orientent vers les conditions de convergence entre objectifs alimentaires et écologiques (conservation de la biodiversité urbaine). Les résultats sont en cours d'analyse approfondie et de valorisation par des publications scientifiques. Dans le cadre de l'animation du programme Ecophyto II et du projet ALTHERCOL, des échanges ont pu se nouer avec l'INRAE d'Orléans (Jérôme Rousselet). Ces échanges ont abouti à un partenariat dans le cadre du projet OSTils (direction : Jérôme Rousselet), dont un des volets porte sur les raisons du choix de plantation des essences d'arbres par les particuliers. Ce projet a été accepté pour financement et vient de débuter.



Organiser des « causeries » rassemblant les jardiniers et un médiateur : à privilégier pour les jardiniers les plus utilisateurs de pesticides de synthèse.
Crédit photo : © F. Di Pietro

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ Di Pietro F. (2020), animation de l'Atelier 3 (**Pourquoi jardinez-vous ?**), séminaire Le Biocontrôle pour les jardiniers amateurs, Paris - La Défense (France), 11 février 2020.
- ▶ Di Pietro F. & Poiré M. (2018), **Évolution des fonctions et des pratiques horticoles dans les jardins familiaux**, communication orale, séminaire Biocontrôle. Les nouvelles pratiques pour un jardinage au naturel, Fondettes (France), 13 décembre 2018

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

PARUES

- ▶ **Faire nature en ville. Les jardins familiaux entre production alimentaire et loisirs : quelle place pour la biodiversité ? Attitude des gestionnaires vis-à-vis des pratiques de jardinage, de la faune et de la flore spontanées.** Di Pietro F. & Poiré M., Carrière JP. *et al.* (Eds.), 2021. Édité chez L'Harmattan.

À PARAÎTRE

- ▶ Dynamiques Environnementales n°47 : **Nature spontanée, nature maîtrisée : quelle place pour la biodiversité dans les jardins familiaux ?** Poiré M. & Di Pietro F. (soumis)
- ▶ Espaces et sociétés : **Motivations, pratiques de jardinage et rapport à la nature dans les jardins familiaux.** Di Pietro F., Gardair E. & Poiré M. (à paraître début 2023)
- ▶ Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales n°17(2) : **Rapport à la nature et contrôle de l'alimentation dans les jardins familiaux.** Di Pietro F., Gardair E., Poiré M. & Gosset S.

Deux autres articles scientifiques sont en préparation, l'un portant sur les résultats du questionnaire, l'autre sur les analyses botaniques.

Articles de valorisation / vulgarisation :

- ▶ Microscop, Hors-série n° 18 (octobre 2018, pp14-15) : **Jardins collectifs en ville : nature spontanée, nature maîtrisée.** Di Pietro F. & Poiré M. Lien vers le document : <http://www.dr8.cnrs.fr/CNRS-Hebdo/Documents/542/Document.aspx>



Agro-message et lutte contre les bio-agresseurs insectes en production de semences et en grandes cultures

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2017

Partenaires

INRAE IEES Paris ; ARVALIS ; FNAMS ; M2i

Responsable scientifique

Brigitte Frérot, INRAE IEES Paris

brigitte.frerot@inrae.fr

Financement

Coût total du projet : 277 432 €

Subvention Écophyto : 100 000 €

Mots clés :

Tychius aureolus ; *Ostrinia nubilalis* ; Luzerne ; Maïs ; Paysage chimique ; Attraction ; Biocontrôle ; Médiateurs chimiques ; Kairomone ; Piégeage de masse ; Amélioration variétale

Contexte et principaux objectifs

Suite à l'interdiction de la plupart des insecticides conventionnels du fait de leur impact sur l'environnement et la santé, certaines filières, dont les semences et les grandes cultures, se retrouvent en situation d'impasse technique. Ces productions doivent évoluer en accord avec le plan Ecophyto mais avec comme impératif la conservation de la performance, de la qualité et de la durabilité des exploitations.

Les médiateurs chimiques sont une des solutions de biocontrôle et peuvent constituer une bonne alternative aux traitements insecticides classiques. L'objectif du projet AM&BAS est de les utiliser pour limiter les populations de la pyrale du maïs et du charançon de la luzerne. Le projet peut se concevoir comme un passage du laboratoire aux champs car il vise à valider les potentialités de médiateurs chimiques de type kairomone dans la lutte contre les deux ravageurs. L'accent a été mis sur des diffuseurs biodégradables apportant un plus technologique. Le projet regroupe un industriel, une interprofession, des instituts techniques et un laboratoire de recherche de l'INRAE autour d'attractifs potentiels issus de recherches antérieures.



Essai avec diffuseur INRAE
Crédit photo : © Brigitte Frérot, INRAE

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

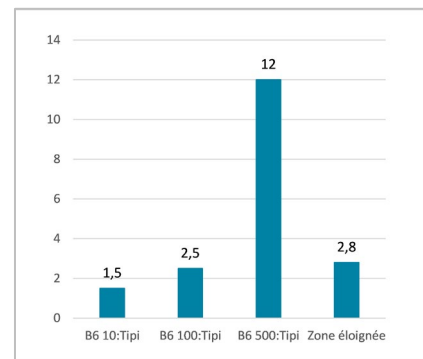
Le projet AM&BAS fait suite à des recherches qui démontraient au laboratoire que les processus de localisation et de reconnaissance de la plante hôte par les insectes étaient étroitement liés à l'olfaction de signaux chimiques spécifiques émis par la plante.

Il n'y a pas de doute sur le fait que la plante-hôte attire les femelles fécondées de Pyrale du maïs et que la luzerne au stade gousse attire les *Tychius*. Les signaux chimiques émis par les deux plantes sont identifiés. La perception de certains des composés par les organes olfactifs des deux insectes est validée.

Pour la pyrale du maïs, les tests comportementaux au laboratoire valident l'attractivité d'un mélange déjà identifié et mettent en évidence une action sur la ponte. Cette action est confirmée au champ. L'attraction du mélange n'est pas confirmée aux champs, mais aucun des pièges testés ne convient à la capture des femelles de Pyrale. L'étude de la perception des molécules identifiées par les antennes des insectes met en évidence des molécules clés qui, si elles n'étaient plus émises par la plante, interdiraient la localisation par l'insecte. L'attraction des femelles fécondées est bien une nouvelle voie de protection des cultures mais nous avons affaire à un système complexe où l'insecte est un détecteur précis.

Pour *Tychius aureolus*, un mélange s'avère attractif et est capable de concentrer les insectes dans la zone où le mélange est émis. Son utilisation permettrait de constituer des zones pièges. Par contre aucun piège adapté au comportement de l'insecte n'a été identifié. Des composés clés de la relation ont aussi été identifiés notamment pour le stade gousse.

L'hypothèse de l'attraction des ravageurs à l'extérieur de la parcelle ou en bordure est validée pour *Tychius aureolus*. Pour la Pyrale du maïs, le résultat positif de la première année n'a pas été validé la seconde année, peut-être à cause de biais liés à des populations trop importantes. Les diffusions des diffuseurs INRAE et M2i ont été calibrées. Les expérimentations ont permis d'améliorer et de faire évoluer les matrices de diffusion de M2i. Ces matrices sont biodégradables, faciles d'utilisation. L'attractif proposé dans le cadre du projet a été évalué avec un piège ayant par ailleurs démontré son intérêt pour les captures de papillons mâles attirés par une phéromone sexuelle. Dans le contexte de notre étude, les résultats n'ont pas permis de valider l'efficacité de l'attractif pour la capture des individus femelles. Les travaux méritent d'être poursuivis.



Concentration des pontes de la Pyrale du maïs - Nombre moyen d'oöplagues comptées sur 10 pieds de maïs dans des zones proches de l'attractif B6, à différentes doses
Crédit image : © Brigitte Frérot, INRAE

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Pour le couple Maïs – Pyrale, une Déclaration d'Invention et de Résultats Valorisables (DIRV) a été déposée à l'INRAE. La compétitivité en présence de la plante-hôte doit être renforcée mais nous disposons de toutes les informations pour améliorer les assemblages de molécules de synthèse.

Pour le couple Luzerne-*Tychius*, une publication est en cours de rédaction.

Pour les deux couples, nous avons identifié les composés clés du processus de la colonisation de la plante-hôte par l'insecte. Cette connaissance pourra être utilisée lors de la sélection de variétés résistantes. Les connaissances acquises sur la relation olfactive entre l'insecte et sa plante hôte permettront de sélectionner des plantes résistantes qui n'émettent pas les signaux chimiques clés.

Recherche :

Les recherches sur les relations olfactives entre les insectes ravageurs et leurs plantes hôtes doivent être poursuivies car elles peuvent produire de nouveaux outils de lutte contre les insectes ravageurs ou des nouveaux critères de sélection de plantes cultivées résistantes aux insectes. Ce dernier point induit une nouvelle piste de recherche sur les gènes des signaux chimiques clés. Ils pourraient être sélectionnés pour produire des plantes non reconnues par l'insecte spécialiste. Cette sélection sera une avancée en termes de lutte propre et bio compatible contre un ravageur. La génétique de la plupart des plantes cultivées étant bien connue, il sera facile de supprimer un alcool léger et un terpène.

Publications et colloques scientifiques :

COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Perspective de lutte contre les insectes monophages. Du paysage chimique à la protection des plantes.** AFPP – Sixième conférence sur les moyens alternatifs de protection pour une production intégrée. Ene LEPPIK, Centina PINIER, Céline ROBERT, Véronique BIARNES, Pierre TAUPIN, Jean-Baptiste THIBORD, Brigitte FREROT - Lille le 21, 22 et 23 mars 2018.
- ▶ **L'attraction des femelles fécondées, une nouvelle voie de recherche pour la protection des plantes cultivées :** AFPP – Nouvelles contributions à la protection des cultures contre les ravageurs. Ene LEPPIK, Centina PINIER, Magali GRANGER, Jean-Baptiste THIBORD et Brigitte FREROT – Montpellier le 24 octobre 2017.

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ **Peut-on leurrer la pyrale avec le parfum du maïs ?** Phytoma, n° 707, 26-29 (2017). Ene LEPPIK, Centina PINIER, Magali GRANGER, Jean-Baptiste THIBORD et Brigitte FREROT
- ▶ **L'attraction des femelles fécondées de lépidoptères ; une nouvelle voie de recherche pour la protection des plantes cultivées.** Phloem (2018). Brigitte FREROT.
- ▶ **Ravageurs du maïs - Le « parfum » du maïs synthétisé.** Perspectives-agricoles (2018). Voir avec Paloma Cabeza-Orcel – p.cabeza@perspectives-agricoles.com
- ▶ **« Tromper les insectes ravageurs des cultures grâce à l'écologie chimique »** (21/06/2018)
[Article à retrouver ici.](#)

AUTRES VALORISATIONS :

- ▶ Confirmation des résultats antérieurs sur l'identification de signaux émis par la plante-hôte : **DIRV** pour l'attractif Pyrale du maïs
- ▶ Optimisation des diffuseurs biodégradables (M2i)
- ▶ **Salons de l'agriculture 2018 et 2019** avec Arvalis et Passion céréales 2018 « des odeurs au services de l'Agriculture »
- ▶ **Un parfum pour protéger les plantes / Passion céréales :** [Vidéo en ligne à retrouver ici](#)

ATTRACTMYFLY

Développement d'attractifs et auto-dissémination de champignons entomopathogènes pour lutter contre la mouche du melon *Zeugodacus cucurbitae*

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2018

Responsable scientifique

Laurent Costet, UMR PVBMT CIRAD

laurent.costet@cirad.fr

Partenaires

CIRAD UMR PVBMT ; ARMEFLHOR ; AB7 Innovation ; Natural Plant Protection SA et Betel Réunion SAS (groupe Arysta LifeScience)

Financement

Coût total du projet : 262 426 €

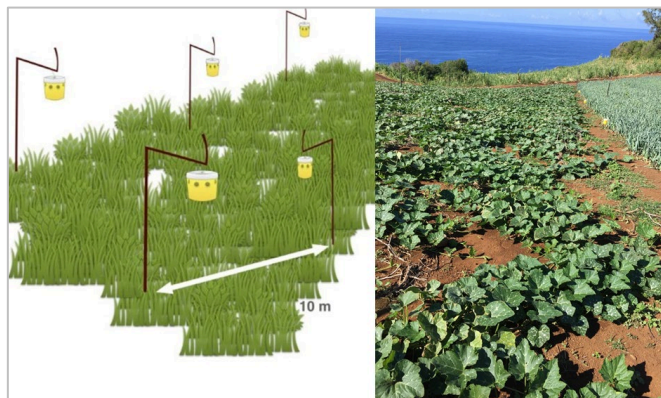
Subvention Écophyto : 100 000 €

Mots clés :

Lutte olfactive et piégeage ; Pratique élémentaire alternative ; Culture légumière ; Mouche des fruits attractifs spécifiques ; Kairomones ; Entomopathogènes ; *Beauveria spp.* ; Auto-dissémination ; « Attract and disseminate »

Contexte et principaux objectifs

Les mouches des fruits (*Tephritidae*) sont des ravageurs des cultures fruitières et légumières en zones tropicales et tempérées, notamment en France métropolitaine et d'outre-mer. Des insecticides de synthèses sont utilisés en masse pour les contrôler. Des méthodes de luttés alternatives, telles que le piégeage de masse, ont donné de bons résultats, mais leur développement est limité, pour certaines espèces, par l'absence d'attractif spécifique des femelles responsables des dégâts. *Zeugodacus cucurbitae*, la mouche du melon, limite la culture des cucurbitacées. Des kairomones, substances attractives des femelles émises par les plantes hôtes ont été identifiées. Un objectif du projet AttractMyFly était de développer un dispositif de piégeage de masse des femelles contenant un polymère diffuseur de kairomones. Un autre objectif était d'évaluer une stratégie d'auto-contamination-dissémination de champignons entomopathogènes. La disponibilité d'un attractif spécifique des mâles permet d'envisager de les attirer dans le dispositif pour les utiliser comme vecteurs de spores et contaminer spécifiquement les femelles lors de l'accouplement.



Dispositif expérimental au champ d'évaluation des pièges : les pièges sont maintenus sur un piquet en fer à 50 centimètres du sol. Ils sont disposés le long de la bordure du champ avec une distance de 10 mètres séparant chaque piège.

Crédit image et photo : © Anne-Sophie Zoogones, CIRAD

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

À partir de 10 composés potentiellement impliqués dans l'attraction des femelles de la mouche du melon, *Zeugodacus cucurbitae*, un mélange de deux composés volatils de synthèse C1 et C2, aussi attractif qu'une odeur de fruits frais, avait été identifié au laboratoire. Un objectif était d'incorporer les kairomones dans un polymère diffuseur et de développer un dispositif de piégeage de masse des femelles.

Ces polymères diffuseurs ont été développés puis évalués au laboratoire à l'aide d'olfactomètres à une voie. Les polymères incorporant C1 et C2 sont aussi attractifs qu'une odeur de fruit frais. La capacité de piégeage de différents dispositifs a ensuite été évaluée en condition semi-contrôlée dans de grandes cages en extérieur. Nous avons testé différents pièges avec différentes combinaisons de kairomones intégrées dans différents polymères. Les kairomones C1 et C2 ont confirmé leur attractivité, mais pour des quantités réduites d'un facteur 10 par rapport à

celles utilisées en laboratoire. Un dispositif de piégeage de type TephriTrap rempli d'eau savonneuse a été retenu. La capacité de piégeage de ce dispositif a alors été évaluée au champ de juin 2017 à janvier 2018 dans 13 parcelles de *cucurbitaceae* réparties sur l'Île de la Réunion, avec différentes quantités des kairomones C1 et C2 intégrées dans les polymères. Les dispositifs contenant des quantités supérieures ou égales à 27 mg de C1 et C2, piègent significativement plus les femelles par rapport au témoin. Nous avons donc mis au point au cours du projet un dispositif « Attract and Kill » basé sur des attractifs kairomonaux, qui cible les femelles.

Il est aussi envisageable d'attirer les mâles avec un attractif spécifique, le cue-lure, dans un dispositif contenant des spores. Ils serviraient alors de vecteurs de spores pour contaminer les femelles lors de l'accouplement. Un autre objectif était de développer un dispositif d'auto-contamination-dissémination de champignons entomopathogènes.



Souche de *Beauveria hoplocheli*.
Crédit photo : © Isabelle Merle, CIRAD

La première étape fut d'identifier un agent de lutte biologique homologable. Nous avons évalué sur *Z. cucurbitae*, le pouvoir pathogène de trois souches de *Beauveria* commerciales. La souche I-2961 est la plus pathogène pour la mouche du melon et a été retenue pour la suite de l'étude.

Le concept d'auto contamination-dissémination ciblant spécifiquement les femelles, repose sur la possibilité d'un transfert des spores de *Beauveria* du mâle vers la femelle lors de l'accouplement. La seconde étape était de tester ce transfert pour *Z. cucurbitae*.

La transmission de spores des mâles aux femelles lors de l'accouplement augmente significativement la mortalité des femelles si les mâles ont la possibilité de s'accoupler moins d'une heure après leur contamination. Par contre, 24 h après leur contamination, les mâles n'induisaient plus la mortalité des femelles.



Mouche du melon femelle mycosée par un *Beauveria hoplocheli*.
Crédit photo : © Brice Derepas, CIRAD

Finalement, nous avons conçu un dispositif d'attraction contamination. Il repose sur l'attraction des mâles avec un polymère diffusant du cue-lure, une formulation de spores de la souche I-2961, et un piège de type Tephritrap modifié. Ce dispositif est opérationnel au laboratoire. Nous avons donc fait la preuve de concept de la méthode d'auto-contamination-dissémination. Cependant : d'une part, la plage de temps durant laquelle le transfert des spores est possible semble trop courte pour que cette stratégie ait un effet sur les populations sur le terrain et d'autre part, nous avons démontré qu'une partie de l'inoculum transporté par les mâles était déposé dans l'environnement et permettait de transmettre la maladie à d'autres individus.



De gauche à droite. Représentation schématique d'une femelle de la mouche du melon. Crédit image : Toulassi Nurbel, CIRAD. Souche de *Beauveria hoplocheli* et dispositif d'auto-contamination. Crédit photos : Isabelle Merle, CIRAD. Mouche du melon femelle mycosée par un *Beauveria hoplocheli*. Crédit photo : © Brice Derepas, CIRAD

Perspectives en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

La stratégie de piégeage de masse de la mouche du melon basée sur l'utilisation des kairomones possède un potentiel de transfert et de valorisation à court terme. L'utilisation de pièges développés au cours du projet est envisageable après une phase de validation. Les tests de pathogénicité des souches commerciales de *Beauveria* étudiées permettent d'envisager dès à présent des extensions d'usages à de nombreux ravageurs. La stratégie d'auto-dissémination de spores de *Beauveria* ciblant les femelles est prometteuse mais nécessite encore des travaux de recherche.

Recherche :

La poursuite des travaux de recherche sur la stratégie de piégeage de masse basée sur l'utilisation des kairomones se focalisera sur l'optimisation du piégeage en jouant sur les diffuseurs, les quantités d'attractifs, le nombre d'attractifs et le dispositif de piégeage. L'utilisation de ces composés kairomonaux nécessite également des études concernant la spécificité du piégeage ainsi que sur les aspects toxicologiques. Concernant la stratégie d'auto-dissémination de spores de *Beauveria* permettant de cibler les femelles, des travaux seront poursuivis pour optimiser le dispositif d'auto contamination en jouant notamment sur la formulation des spores, et pour évaluer son potentiel réel sur le terrain.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES

- ▶ **International Congress on Invertebrate Pathology and Microbial Control (24-28/07/2016) : Abstract of the 49th Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology : Characterization of the pathogenicity of commercial or precommercial *Beauveria* sp. strains against the melon fly *Bactrocera cucurbitae*.** Rohrlich C., Merle I., Payet-Hoarau M., Télismart H., Besse S., Nibouche S., & Costet L. (2016). Tours, France [Poster FU 5].

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- ▶ **PLOS one, 13(7), e0199199 : Variation in physiological host range in three strains of two species of the entomopathogenic fungus *Beauveria*.** Rohrlich C., Merle I., Hassani I. M., Verger M., Zuin M., Besse S., Robene I., Nibouche S. & Costet L. (2018).
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0199199>.

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ **Fertile : Bulletin de l'Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière Légumière et HORTICOLE (Armefflor).** (n°41, p 14) : *Lutte biologique contre la mouche du melon : des résultats prometteurs.* Graindorge R. et Costet L. (2018).

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION :

- ▶ Comité de Pilotage AttractMyFly, Réunion de lancement, 10/04/2015
- ▶ Comité de Pilotage AttractMyFly, 22/09/2016

AUTRES VALORISATIONS :

FORMATION

- ▶ **Thèse de doctorat en Biologie des Populations et Ecologie de l'Université de la Réunion : Lutte biologique à base de champignons entomopathogènes du genre *Beauveria* en zone tropicale.** Soutenue le 3 octobre 2018. 149 p. Rohrlich C. (2018)
- ▶ **Mémoire de Master 2 Sciences et Technologie Santé mention Biologie et Technologie du Végétal, spécialité Production et Technologie du Végétal (Protev) de l'Université d'Angers : Caractérisation de la capacité de transfert de spores de champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* des mâles aux femelles de la mouche du melon *Zeugodacus cucurbitae* lors de l'accouplement.** 33 p. Verger D. (2017)
- ▶ **Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome de l'ESA d'Angers : Caractérisation de la capacité de transfert de spores de *Beauveria bassiana* des mâles aux femelles de la mouche du melon *Zeugodacus cucurbitae* lors de l'accouplement.** 84 p. Venard J. (2016)
- ▶ **Mémoire de fin d'étude d'ingénieur agronome de l'ENSAIA spécialité « protection des cultures » et de l'Université de Lorraine : Caractérisation du pouvoir pathogène de souches de *Beauveria* sp. sur la mouche du melon *Bactrocera cucurbitae* et de la capacité de transfert horizontal des spores du champignon lors de l'accouplement.** 39 p. Merle I. (2015)



Optimisation du biocontrôle pour lutter contre la pourriture grise de la vigne, gestion globale et intégrée

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2019

Partenaires

IFV ; INRAE UMR SAVE ; Chambre d'Agriculture de la Gironde

Responsable scientifique

Nicolas Aveline,

IFV (Institut Français de la Vigne et du Vin)

nicolas.aveline@vignevin.com

Financement

Coût total du projet : 141 394 €

Subvention Écophyto : 96 845 €

Mots clés :

Viticulture ; Botrytis ; Pourriture grise ; Biocontrôle ; Micro-organismes ; Agents de lutte biologique ; Outil d'Aide à la décision ; Modification de l'itinéraire technique

Contexte et principaux objectifs

La pourriture grise est une maladie qui se déclare sur vigne en fin de saison sur baies (moisissure grisâtre et pulvérulente) et qui peut s'étendre à toute la grappe. Outre des dégâts sur le rendement (quantité), le champignon induit des mauvais goûts dans le vin dès 5% de baies atteintes dans la vendange. Classiquement, la lutte phytosanitaire contre cette maladie peut représenter 1 à 2 IFT, qui entraînent très régulièrement la présence de résidus dans les vins.

Les alternatives de biocontrôle existent, ce sont même les premiers produits de biocontrôle qui ont été inscrits sur vigne dans la liste officielle. Malheureusement, l'usage de ces produits reste limité et difficile à cerner : notamment les modes d'action très diversifiés posent de nombreuses questions sur le positionnement idéal et les stratégies d'emploi. De plus, le Botrytis est une maladie difficile à prévoir et son développement en fin de saison peut être explosif.



Baies botrytisées.

Crédit photo : © Nicolas Aveline, IFV

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

De nombreux résultats permettent l'évaluation de produits de biocontrôle contre le Botrytis de la vigne sur 3 années d'essais sur deux plateformes girondines : 14 produits ou substances ont été testés dans un cadre d'expérimentation pour les comparer strictement : 6 applications en saison et, pour quelques produits, selon les données de l'outil d'aide à la décision « indice de Ciliberti » pour les positionner au mieux en post-véraison. Les résultats montrent en général de faibles niveaux d'efficacité de protection. Parmi les produits testés, l'Armcarb® (bicarbonate de potassium) semble être la solution qui apporte régulièrement une différence claire avec le témoin non traité, quel que soit le millésime. Certains produits dont des micro-organismes de la famille des *Bacillus* : Amylo-X®, S38 (bactérie modèle INRA) et Rhapsody® ont montré assez régulièrement des efficacités. Les autres produits provoquent des résultats trop variables selon les années pour que l'on puisse conclure sur leur intérêt.

La validité et surtout la généralité des résultats obtenus sur l'ensemble du projet est complexe : les 3 millésimes ont été très contrastés en terme de climatologie (gel en 2017) et la pression botrytis est restée plutôt moyenne et peu intense.

Les mesures complémentaires (vigueur, compacité des grappes, pression tordeuses...) ont été réalisées et n'ont pas toujours montré des corrélations intra-parcellaires évidentes. Le test du taux de contamination par *B. cinerea* des capuchons floraux se révèle intéressant malgré des taux fluctuants d'un millésime à l'autre et des contraintes d'identification. Il est informatif sur le plan de la connaissance de la maladie et indicateur de pression parasitaire en début de saison. C'est un outil potentiel pour évaluer l'effet précoce de produits de biocontrôle sur le pathogène nécessitant encore quelques améliorations méthodologiques.

L'outil d'aide à la décision « indice de Ciliberti » post-véraison développé par l'INRAE permet de modéliser un indice climatique quotidien de développement du botrytis (température et hygrométrie) divisé en 4 grandes classes de risque. Il a permis de positionner en fin de saison les applications de biocontrôle judicieusement par rapport aux périodes de risques pré-identifiées.

Testé sur les essais avec certains produits candidats et en grande parcelle sur une exploitation en 2017, il a été transféré en 2018 vers les expérimentateurs partenaires. Son interprétation et les règles de décision ont évolué au cours du projet pour aboutir en 2019 à une version de calcul en ligne.

Liens avec le plan Écophyto :

- ▶ **Développement du biocontrôle** : les stratégies proposées et étudiées dans le projet sont 100% biocontrôle, aucune utilisation de produits classiques en alternance ou en association n'a donc été étudiée. Dans la stricte thématique de la baisse des intrants, ce projet vise aussi à définir des stratégies biocontrôle qui permettent de s'affranchir de la problématique des résidus généralement générés par les anti-botrytis classiques.
- ▶ **Optimiser l'utilisation des produits de biocontrôle** : l'usage et le positionnement des produits de biocontrôle ont été étudiés notamment en fin de saison jusqu'à quelques jours avant la vendange, période pendant laquelle le recours aux produits chimiques est limité. Ainsi, on dispose de nouvelles possibilités d'interventions pour gérer le botrytis.
- ▶ **Développement d'un outil d'aide à la décision** : l'indice de Ciliberti a été employé et amélioré (définition des règles de décision, seuils) pour positionner judicieusement certains produits de biocontrôle alors en post-véraison et pendant la maturité.

Perspectives en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Les quelques solutions de biocontrôle candidates avec des résultats d'efficacité intéressants sont utilisées actuellement (2019, 2020...) dans d'autres programmes de recherche appliquée au niveau régional (Projet Alt'Fongi Biocontrôle, projet BEE). L'objectif est de les intégrer dans un programme de protection global utilisant un maximum de produits de biocontrôle, de la prophylaxie et un recours minimal aux pesticides classiques.



Culture de capuchons floraux dans une boîte de Petri.

Crédit photo : © Nicolas Aveline, IFV

L'utilisation de l'indice de Ciliberti ouvre des perspectives de recherche quant au positionnement des produits anti-Botrytis et l'identification des phases cruciales de développement de la maladie. Son transfert via des outils globaux diffusé par l'IFV tels que le logiciel en ligne DECITRAIT® devrait permettre de l'intégrer dans une gestion de la protection globale et donner des indications pour l'emploi optimisé du biocontrôle contre la pourriture grise.

L'indicateur précoce expérimental « taux de contamination des capuchons floraux » est très intéressant pour visualiser la pression du botrytis à la floraison mais aussi pour mesurer l'effet de certains produits de biocontrôle appliqués à cette période. Une amélioration de l'identification sera néanmoins à préciser (recours à l'outil moléculaire ?) pour identifier et quantifier le botrytis plus efficacement. Il pourrait ensuite être intégré à l'indicateur Potentiel de Réceptivité au Botrytis (PRB) publié annuellement par l'INRAE et permettre de donner une efficacité en usage précoce des solutions testées.

Enfin, nos essais ont montré que la bactérie *B. ginsengihumi* S38 isolée par l'INRAE possédait un potentiel anti-botrytis intéressant au vignoble.

Recherche :

Les travaux menés lors du projet ont montré l'importance des connaissances en amont, aussi bien sur le Botrytis et son développement que sur le mode d'action des produits de biocontrôle. Des questions restent posées sur l'épidémiologie du pathogène et la prédiction de son développement, mais des avancées claires sont obtenues sur certains indicateurs de risques utilisés dans BIOBOT. Des travaux et des projets ont été lancés dans ce sens par l'UMT SEVEN, comme par exemple l'identification et la quantification de la sporée dans l'air au vignoble pendant la saison, ou encore des études dynamiques sur les facteurs agro-climatiques déterminant le développement de l'épidémie. Tous ces travaux de connaissance enrichiront d'éventuels indicateurs de pilotage pour mieux gérer la protection et l'apport éventuel de traitements de biocontrôle.

Notons le besoin d'un outil de traçabilité des micro-organismes de biocontrôle (adapté à chaque souche) pour savoir si la souche est toujours présente et vivante sur la végétation et sur les grappes afin de mieux connaître ses conditions d'installation ou de survie et prévoir ainsi des positionnements et des renouvellements adaptés.

Les travaux de l'INRAE UMR SAVE sur la bactérie *B. ginsengihumi* S38 (Calvo *et al.*, 2019) confirment le très grand intérêt des microorganismes présents à l'état naturel dans le vignoble. Des travaux de recherche pourraient être menés pour améliorer l'utilisation de ce type de bactérie, notamment en termes de production de masse et de formulation.

Enfin, plus globalement, la recherche sur des produits de biocontrôle ou de biostimulants potentiellement efficaces contre la pourriture grise est à poursuivre : les modes d'action tels que la stimulation des défenses, le renforcement des barrières physiques... ne sont pas très présents dans la liste biocontrôle. Le statut européen des « substances de base » peut aussi se révéler un bon réservoir pour trouver des produits alternatifs aux fongicides de synthèse qui pourraient avoir une action régulière et significative sur la pourriture grise.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Rencontres Viticoles d'Aquitaine, Lycée Viticole de Blanquefort 2018** : *Le biocontrôle pour lutter contre la Pourriture Grise : les projets BIOBOT et ALB's (RVA 2018) [PPT]*. Aveline N.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Frontiers in Plant Science (n° 10, 2019, p 105)** : *Microbial Antagonism Toward Botrytis Bunch Rot of Grapes in Multiple Field Tests Using One Bacillus ginsengihumi Strain and Formulated Biological Control Products*. Calvo Garrido C., Dupin S., Aveline N., Roudet J., Davidou L., Fermaud M.

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ **Guide ACTA : Guide ACTA Biocontrôle 2018** : *Lutte contre la Pourriture Grise sur Vigne*. Aveline N., Fermaud M., Chantelot E.
- ▶ **Guide ACTA : Guide ACTA Biocontrôle 2019** : *Lutte contre la Pourriture Grise sur Vigne*. Aveline N., Fermaud M., Chantelot E.

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION :

- ▶ **Union Girondine des Vins de Bordeaux (2017, pp 53-54)** : *Utiliser les produits de biocontrôle pour protéger la vigne contre la pourriture grise en viticulture biologique : résultats des essais menés dans le RESAQ Vitibio*. Aveline N., Davidou L.

AUTRES VALORISATIONS :

- ▶ **Bordeaux ISVV : Cours Master 2 Œnologie sciences de la vigne, UE pathologie viticole (2017)** : *Epidémiologie et lutte contre Botrytis cinerea au vignoble*. Aveline N., Fermaud M.
- ▶ **Présentation d'un poster à Perpignan (2018)** : *BIOBOT : Evaluation de produits de biocontrôle contre la pourriture grise (B. cinerea) au vignoble*. Aveline N., Dupin S., Davidou L., Calvo Garrido C., Roudet J., Fermaud M.



Luttes biologiques contre le carpocapse de la pomme, *Cydia pomonella* (BIOControl of *CYD*ia *pomonella*)

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2018

Partenaires

Institut Sophia Agrobiotech ; BIOLINE Agrosiences

Responsable scientifique

Nicolas Ris, INRAE ISA

nicolas.ris@inrae.fr

Financement

Coût total du projet : 303 142 €

Subvention Écophyto : 103 918 €

Mots clés :

Acclimatation ; Augmentation ; *Cydia pomonella* ; Lutte Biologique ; Parasitoïde

Contexte et principaux objectifs

Le carpocapse de la pomme, *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae) est, parmi les macro-organismes, le bioagresseur majeur en vergers de pommes en France et dans le monde du fait (i) de sa large répartition géographique, (ii) de l'impact économique des dégâts causés, (iii) de l'utilisation excessive en insecticides qu'il provoque et (iv) des limites des méthodes de contrôle disponibles actuellement. Parmi les méthodes de biocontrôle disponibles, de nombreux espoirs ont été placés jusqu'à présent dans la confusion sexuelle et l'utilisation de carpovirus, deux méthodes qui présentent toutefois des limites notables. Des méthodes d'éradication basées sur les lâchers d'insectes stériles ont également été déployées localement mais leur évaluation reste préliminaire. Enfin, les capacités de contrôler le carpocapse en favorisant la biodiversité fonctionnelle locale (lutte biologique par conservation) semble également limitées. Une diversification des méthodes de biocontrôle est donc nécessaire pour compléter les méthodes de gestion déjà existantes et, éventuellement, limiter les possibilités de leur contournement par le bioagresseur. Dans ce contexte, le projet BIOCCYD vise à évaluer deux méthodes de biocontrôle basées sur deux types de macro-organismes entomophages : des parasitoïdes oophages du genre *Trichogramma* (Hymenoptera : Trichogrammatidae) et un parasitoïde pré-pupal *Mastrus ridens* (Hymenoptera : Ichneumonidae).

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Concernant le volet « Lutte biologique par augmentation à l'aide de trichogrammes », des échantillonnages de trichogrammes ont été menés entre 2014 et 2016 sur une grande moitié Sud de la France de façon coordonnée entre ce projet « BIOCCYD », le projet PSPE1 2013-2015 « INDREGARB » et le projet ANR 2014-2019 « TRIPTIC ». Concernant les espèces végétales hôtes potentiels de *Cydia pomonella*, le taux de collecte de trichogrammes s'est avéré en moyenne faible. La diversité des espèces obtenues a été estimée par des approches moléculaires (« barcoding » sur une portion COI) et comparée à celles observées sur d'autres catégories de plantes : (i) des Rosacées non-hôtes de *C. pomonella* et sympatriques d'hôtes de *C. pomonella* ; (ii) d'autres plantes non-hôtes de *C. pomonella* et sympatriques d'hôtes de *C. pomonella* ; (iii) des Rosacées non-hôtes de *C. pomonella* et allopatriques des hôtes de *C. pomonella*. À l'exception du taxon moléculaire appelé « misG » (retrouvé uniquement sur pommiers cultivés), les principales espèces retrouvées sur les hôtes de *C. pomonella* s'avèrent communes et peu spécialisées. Concernant « misG », des études sont actuellement en cours pour préciser son statut taxonomique. Compte-tenu, d'une part, de ces résultats sur la diversité des trichogrammes et, d'autre part, de la stratégie de la société BIOLINE Agrosiences, les investigations concernant ce volet ont été arrêtées d'un commun accord.

Concernant le volet « Lutte biologique par acclimatation à l'aide de *Mastrus ridens* », plusieurs souches de *M. ridens* ont été introduites avec succès dans nos locaux (depuis la Nouvelle-Zélande : LOA n°FR15PA00001 du 22/05/2015 ; depuis le Chili : LOA n°FR16PA00001 du 19/01/2016 et LOA n°FR16PA00002 du 01/03/2016) suite à l'autorisation obtenue (19/05/2015). L'élevage de *M. ridens* s'est avéré relativement aisé pour du maintien de base mais beaucoup plus problématique pour des productions massives. Sur la base (i) des demandes d'introductions réalisées dans d'autres pays, (ii) de la littérature sur le sujet et (iii) d'expérimentations menées par nous-mêmes sur des hôtes non-cibles, une demande d'introduction dans l'environnement a été soumise à la DGAL et à l'ANSES le

4/03/2016. Ce dossier de 37 pages synthétise les connaissances acquises sur la biologie de *M. ridens*, décrit les communautés d'ennemis naturels de *C. pomonella* en France et dans le monde, et expose les bénéfices et les éventuels risques associés à son introduction dans l'environnement. Sur cette base et avec le recours à des experts indépendants, l'ANSES a émis un avis favorable le 04/01/2017 et un Arrêté co-signé par le Ministère de l'Agriculture et par le Ministère de l'Environnement a été officiellement émis le 09/05/2017. Comme pour d'autres primo-introductions d'auxiliaires exotiques, l'objectif est désormais de profiter de ces occasions originales de mettre en place un suivi post-lâcher multi-sites et pluriannuel afin d'évaluer précisément les performances de *M. ridens* au champ et greffer des questionnements de biologie des populations. Compte tenu des ressources financières et logistiques disponibles, seul un site situé en Vaucluse a fait l'objet de lâchers de *M. ridens* au second semestre 2018. Les tentatives pour lever des fonds supplémentaires permettant une évaluation précise des capacités d'établissement de *M. ridens* se sont avérées infructueuses en 2017 et 2018. En 2019 toutefois, un soutien financier a été obtenu auprès de FranceAgriMer (projet « BIOCCYD-Mastrus » ; Resp. : Nicolas BOROWIEC, INRAE).

Lien avec le plan Écophyto :

L'objectif initial du projet BIOCCYD était évidemment la réduction de l'usage des produits phytosanitaires contre le carpocapse de la pomme *C. pomonella*, en combinaison avec d'autres méthodes de biocontrôle (confusion sexuelle, carpovirusine, lutte biologique par conservation). Compte tenu des résultats obtenus, une perspective particulièrement intéressante qui s'est dégagée de nos travaux est la possibilité d'introduction de *Mastrus ridens* en France et son éventuel établissement. En cas de réussite, cela se traduirait en effet par la création d'un nouveau service écosystémique de régulation du carpocapse, gratuit pour les agriculteurs concernés.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

La lutte biologique par acclimatation relève en général de missions du service public : (i) l'évaluation « amont » des auxiliaires candidats, (ii) l'introduction sur le territoire de tout ou partie de ceux-ci et (iii) leurs évaluations post-lâcher sont, en effet, généralement assurées par des organismes de recherche et des acteurs technico-agronomiques (Instituts techniques, Stations expérimentales, Réseaux d'agriculteurs, etc.). L'implication de partenaires privés (biofabriques) est possible (cf. cas d'étude « cynips du châtaignier ») mais est, en général, limitée dans le temps.

Recherche :

La perspective de recherche la plus évidente est évidemment **l'évaluation pluri-annuelle et multi-sites de *Mastrus ridens*** que ce soit en termes de dynamique locale (établissement et démographie locale), de dispersion spatiale, et de niches écologiques réalisées (exploitation effective de *C. pomonella* sur les différentes plantes-hôtes ; impact éventuel sur espèces non-cibles). À bien des égards, cette évaluation post-lâcher répond à la fois à des attentes scientifiques (biologie des populations introduites) et des attentes agronomiques (évaluation du service rendu par *M. ridens* et impact sur les autres méthodes de contrôle du carpocapse).

Au travers de l'introduction de *Mastrus ridens* réalisée en 2018 dans le Vaucluse et peut-être d'autres opérations « miroirs », **l'influence de l'hétérogénéité environnementale** autour du site lâcher (< 1km) sur les dynamiques et dispersions locales est actuellement en cours d'étude (Thèse de David MURU, Institut Sophia Agrobiotech).

Une autre question particulièrement intéressante est **l'évaluation du mode de déterminisme du sexe (sl-CSD) de *M. ridens* sur sa dynamique des populations**. Le manque de variabilité génétique au locus sl-CSD induit en effet la production de mâles diploïdes reproductivement non fonctionnels qui entrent en compétition avec les mâles normaux (haploïdes) pour l'accouplement aux femelles. Le monitoring de la fréquence des mâles diploïdes *in natura*, voire la restauration de diversité génétique au locus sl-CSD, sont deux aspects qui mériteraient des investigations spécifiques.

Publications et colloques scientifiques :

DOCUMENTS TECHNIQUES :

- ▶ Borowiec N., Malausa T., Ris N. 2015. **Document technique relatif à l'introduction en milieu confiné de l'hyménoptère parasitoïde exotique, *Mastrus ridens***. 18pp.
- ▶ Borowiec N., Muru D., Malausa T., Ris N. 2016. **Document technique relatif à l'introduction dans l'environnement de l'hyménoptère parasitoïde exotique, *Mastrus ridens***. 37pp.
- ▶ Marchand A., Sellier N., Warot S., Ion-Scotta M., Ris N., Groussier-Bout G. 2017. **Formalisation d'un Centre de ressources biologiques dédié aux parastoïdes oophages : CRB EP-Coll.** Cahier des Techniques de l'INRA

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ Muru D., Auguste A., Fauvergue X., Malausa T., Ris N., Thaon M., Vercken E., Borowiec N. 2018. **Un parasitoïde exotique pour lutter contre le carpocapse.** Phytoma, la Défense des Végétaux. 710 : 37-41.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ Muru D., Marchand A., Calcagno V., Cruaud A., Rasplus J-Y., Ris N., Vercken E., Warot S., Groussier G. in prep. **Survey of the diversity of *Trichogramma* species in France and neighbouring areas with information related to their host plants and habitats**
- ▶ Warot S., Cruaud A., Groussier G., Malausa T., Martinez-Rodriguez P., Pintureau B., Seguret J., Ris N. **Insights into the molecular diversity and species delineation in the genus *Trichogramma* with a focus on West Palearctic**



Lutte BIOlogique contre la maladie du court-noué de la vigne : impact de l'intégration de techniques culturales impliquant des jachères en inter-culture et l'utilisation d'un porte-greffe résistant, sur les populations de nématodes

Cette fiche de synthèse n'est malheureusement pas disponible.



Techniques innovantes de biocontrôle contre les mollusques terrestres nuisibles aux cultures : Recherche de méthodologie d'évaluation adaptée à leur écophysiologie

Année de démarrage : 2015
Année de fin : 2018

Partenaires
ACTA ; Université de Rennes ; ARVALIS Institut du végétal ; Phyteurop ; Bayer-CropScience ; De Sangosse

Responsable scientifique
André Chabert, ACTA
andre.chabert@acta.asso.fr

Financement
Coût total du projet : 194 696 €
Subvention Écophyto : 100 000 €

Mots clés :

Limaces ; Biocontrôle ; Grandes cultures ; Écophysiologie ; Pratique élémentaire alternative ; Modification de l'itinéraire technique ; Reconception du système de culture ; Gestion par des macro-organismes

Contexte et principaux objectifs

Pour la plupart des plantes annuelles sensibles aux limaces, la lutte chimique est quasi systématique les années humides. Ce projet avait pour ambition de contribuer à développer de nouvelles voies de biocontrôle et ainsi contribuer à la réduction de l'usage des produits phytosanitaires hors biocontrôle. Les principales contributions ont été les suivantes :

- ▶ Evaluer les performances de nouvelles méthodes et produits de biocontrôle vis-à-vis des limaces ;
- ▶ Explorer de nouvelles voies d'étude via l'écologie chimique afin de préciser les relations sémiocchimiques entre les limaces et plantes mais aussi avec les carabes ;
- ▶ Identifier l'efficacité de méthodes de contrôles biologiques en rapport à celles des leviers agronomiques mobilisables contre ce ravageur ;
- ▶ Définir les conditions de leur emploi dans le cadre des systèmes de cultures pour réduire les populations de ce ravageur, via la combinaison de leviers identifiés et évalués pour une reconception des stratégies de protection intégrée ;
- ▶ Créer une dynamique de recherche d'innovation en rassemblant un partenariat public privé.

Les méthodologies employées ont été diffusées dans un premier temps, aux réseaux d'expérimentation des partenaires du projet BIOLIM permettant l'exploration de nouvelles voies de recherches par les sociétés privées et dans un deuxième temps, vers les acteurs des principales filières concernées par les attaques de limaces.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Ce projet PSPE2 BIOLIM a rassemblé un partenaire public (Université de Rennes 1) de par leurs expertises en écophysiologie des mollusques, des partenaires des instituts techniques et des sociétés privées pour leur contribution quant à l'expérimentation et pour leur connaissance des systèmes de cultures. Ainsi, ce projet consacré aux produits de biocontrôle des limaces a permis de faire un panorama des connaissances actuelles et de lancer de nouvelles expérimentations à ce sujet. Il a également inventorié l'efficacité des leviers agronomiques prophylactiques vis-à-vis des populations de limaces.

La première phase a été destinée à réaliser une approche de type méta-analyse à partir :

- i) Des données issues du projet CasDAR RESOLIM
- ii) De la bibliographie propre à la lutte contre les limaces
- iii) Des différentes voies de biocontrôle possibles. La spécificité de la démarche a été de prendre en compte les interactions entre la biologie des limaces, les systèmes de cultures et l'ensemble des techniques de lutte par biocontrôle envisageables à l'heure actuelle. Ces moyens sont diversifiés et reflètent les relations existantes entre la limace et son environnement biotique et abiotique (Figure 1 page suivante).

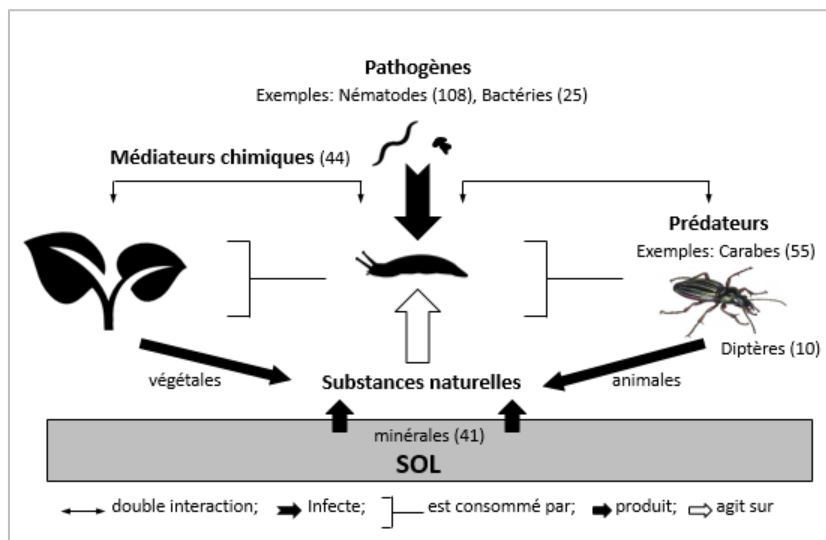


Figure 1 : Relations biotiques et abiotiques de la limace avec son environnement. Le nombre d'articles répertoriés entre 1992 et 2018 est affiché entre parenthèses pour chaque moyen de biocontrôle. *Crédit image : © André Chabert, ACTA*

Par la suite, ces moyens de contrôles biologiques ont été étudiés selon des méthodologies expérimentales adaptées afin d'évaluer leurs performances en tenant compte de la spécificité des traits de vie des limaces et de leurs potentialités d'insertion dans les systèmes de culture. Les études réalisées peuvent être résumées de la manière suivante :

1) L'usage de plantes de services comme culture intermédiaire

Pour préciser les possibilités d'usage des plantes de service, les études réalisées par l'université de Rennes étaient destinées à comprendre les interactions biochimiques entre les limaces et les plantes lors des phases de consommation des plantes par les limaces. Un protocole a permis d'établir la réponse gustative des limaces aux métabolites du colza émis au stade cotylédon. Il a pu être montré que la phénylalanine présente dans les plantules a un effet phagostimulant, mais lorsqu'elle est en mélange avec le glucosinolate émis lors de l'agression de la plante, elle perd alors cette propriété. Les limaces sont donc toujours capables de se nourrir de plantules de colza même si les défenses naturelles de la plante sont en œuvre, mais dans une moindre mesure.

Les études de laboratoire réalisées par ARVALIS ont porté sur les moutardes répulsives pour les périodes d'intercultures. Elles ont permis de mesurer la consommation préférentielle des limaces en présence de 4 variétés de moutarde. Ces méthodologies ont mis en évidence les différences entre espèces végétales qu'il convient de connaître pour anticiper leurs effets sur les populations de limaces *in situ* et donner des conseils adaptés.

2) Des substances naturelles d'origine minérale ou végétale aux propriétés toxiques et répulsives

L'ACTA a testé au laboratoire une formulation à base de caféine vis-à-vis des limaces grises qui a provoqué des mortalités par contact mais pas en formulation appât. Les sociétés détentrices des formulations n'ont pas poursuivi le développement de cette méthode. D'autres études ont mis en évidence que des décoctions d'ail destinées à protéger les plantes n'étaient pas suffisamment répulsives pour limiter les attaques de limaces.

3) Des macroorganismes : prédateurs comme les carabes, les staphylins et les araignées, ou parasites comme les nématodes

Des suivis par piégeage ont été réalisés à Boigneville dans l'objectif de savoir si les populations de carabes peuvent réguler celles des limaces. Les piégeages de ces dernières ont été nettement plus élevés dans une parcelle ayant un précédent orge de printemps par rapport à celle ayant eu un précédent colza. Par contre, le nombre total de carabes (*Poecilus cupreus* et *Pterostichus melanarius*) piégés est quasiment identique entre les deux parcelles. Dans ce cas, il n'y a donc pas eu de relation détectée entre ces deux populations. Le niveau de population des limaces dans cet essai semble être surtout dû au précédent.

► Synthèse des résultats

La synthèse des résultats concernant les performances des techniques de biocontrôle expérimentées a été faite de manière commune par l'ensemble des partenaires. Nous avons calculé des ratios permettant de comparer différents travaux issus de la bibliographie et ceux issus de ce projet. Le tableau 2 en annexe présente les ratios évaluant l'impact de différentes pratiques sur les limaces et leurs dégâts calculés à partir de l'analyse de la bibliographie et des travaux de BIOLIM.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Concernant les limaces en grandes cultures et certainement pour les autres cultures, il est difficile de dissocier les pratiques agronomiques et la mise en place du biocontrôle. Cela peut sembler une évidence, néanmoins les connaissances à mobiliser, pour répondre aux questions pratiques liées à la mise en œuvre des produits phytosanitaires de biocontrôle sont nombreuses, complexes et donc souvent éludées faute d'expertises disponibles sur le sujet. Cela peut déboucher sur des préconisations assez simplistes et peu adaptées aux multitudes de situations locales et climatiques. C'est en cela que le travail en réseau est important. Néanmoins, de nombreuses questions scientifiques et techniques liées à l'évaluation des produits de biocontrôle ne peuvent être résolues que par des essais analytiques qui demandent des moyens pour être réalisés de manière indépendante.

Recherche :

Une voie de recherche pourrait être de mettre en cohérence des jeux de données assez importants obtenus à différentes échelles (laboratoire, parcelle, système, exploitation...), ce qui demandera une poursuite de la concertation des partenaires et sans doute des collaborations autour de nouveaux projets. Le travail à poursuivre devrait développer les deux points suivants :

- 1) Maintenir un réseau d'expérimentations destinées aux limaces afin de réaliser une évaluation des produits phytosanitaires de biocontrôle de manière indépendante et de maintenir un réseau d'experts. Il faudra aussi valoriser les connaissances actuelles en écologie chimique afin de trouver de nouvelles voies de biocontrôle des limaces.
- 2) Ce réseau devra également contribuer à l'amplification de la démarche de méta-analyse initiée et au développement d'outils d'évaluation multicritère destinés à évaluer le risque limaces. Des extensions de ces deux approches pourraient être faites pour d'autres ravageurs des grandes cultures et aussi d'autres cultures.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Colloque de restitution du projet RESOLIM. 18/03/2016, Paris** : Présentation du projet BIOLIM et des travaux en cours.
- ▶ **Journée Terres Inovia. 26/01/17, Évreux** : présentation des résultats du projet RESOLIM et BIOLIM.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Phytoma (n°694, pp 34-37) : État des connaissances sur le biocontrôle vis-à-vis des limaces.** Mottin E., Tamine M., Chabert A. et Charrier M. (2016)
- ▶ **Discrimination of oilseed rape seedlings by the field slug *Deroceras reticulatum* and storage of salicylic acid in its digestive gland.** Tamine M., Jonard C., Van Der Linde M. & Charrier M. Article en préparation

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION :

Des contacts ont été établis avec différents acteurs du plan Ecophyto lors des présentations des résultats :

- ▶ Au séminaire PSPE le 2 décembre 2017
- ▶ À une journée avec des agriculteurs à Bourges en janvier 2017
- ▶ À des animateurs d'un projet Écophyto (action 30 000) sur la réduction de l'usage des anti-limaces, le 10 septembre 2018

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ **Rédaction d'une fiche concernant l'usage d'un anti-limaces de biocontrôle dans le cadre du contrat de solution**
- ▶ **Rédaction d'une partie de l'index Biocontrôle de l'ACTA**
- ▶ **Master 2 Patrimoine naturel et Biodiversité Université Rennes I (2015, 21 p) : Quels moyens de biocontrôle pour les ravageurs de culture ? Le cas des limaces.** Tamine M.
- ▶ **Master 2 Patrimoine naturel et Biodiversité Université Rennes I (2016, 25 p) : Étude expérimentale de l'interaction trophique entre le colza et son ravageur, la limace grise *Deroceras reticulatum* : facteurs stimulant la nutrition et réponses métaboliques interspécifiques.** Tamine M.
- ▶ **Master 1 Patrimoine naturel et Biodiversité Université Rennes I, (2017, 15 p) : Sélection gustative de métabolites du colza par la limace grise *Deroceras reticulatum* et devenir des phytohormones dans les tissus de la limace.** Van Der Linde M.

VALORISATIONS DISPONIBLES À LA DEMANDE :

- ▶ Livrables base Mendeley avec les 310 publications
- ▶ Base de données de types Excel avec l'analyse d'une centaine de publications
- ▶ Diverses présentations à des séminaires
- ▶ Le rapport final du projet
- ▶ Lien internet vers le projet : <https://ecophytopic.fr/recherche-innovation/protéger/projet-biolim>

BIOTI-VIGNE

Biotisation de plants de vigne en pépinière pour prévenir les maladies du bois

Année de démarrage : 2015
Année de fin : 2017

Responsable scientifique

Dr Marc Fermaud, UMR SAVE INRAE
marc.fermaud@inrae.fr

Partenaires

UMR SAVE INRAE ; Mercier Frères SARL et Société Biovitis

Financement

Coût total du projet : 253 938 €
Subvention Écophyto : 88 848 €

Mots clés :

Viticulture ; Pratique élémentaire alternative ; Biotisation ; Lutte biologique ; Biocontrôle

Contexte et principaux objectifs

La filière viti-vinicole française est très consommatrice de pesticides de synthèse : env. 20% des pesticides utilisés sur 3% de la surface agricole. Elle subit la crise du «dépérissement» liée notamment aux maladies du bois (MdBs). Le biocontrôle des MdBs s'avère donc un enjeu majeur afin d'éviter aussi le développement de fongicides de synthèse contre ces maladies. La biotisation de plants greffés-soudés en pépinière, au cœur de ce projet, consiste à inoculer les plantes avec des micro-organismes bénéfiques pour améliorer leur tolérance au stress biotique (infections par champignons pathogènes de MdBs).

L'originalité du projet repose sur :

- 1) Différents agents de biotisation (AdBs), souches de micro-organismes toutes issues du vignoble français
- 2) Leurs tests isolément et/ou en combinaison
- 3) Un végétal à un stade très précoce

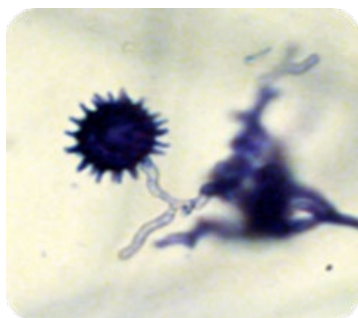
Les 2 objectifs majeurs sont :

- 1) Améliorer et limiter la variabilité du niveau de protection grâce à des AdBs candidats pré-identifiés dans nos recherches, ex. souches bactériennes et de *Pythium oligandrum*
- 2) Évaluer l'effet du porte-greffe sur la persistance et l'efficacité des AdBs en pépinières



Cep de vigne avec symptôme de bande brune sous l'écorce, fortement associé à l'Esca.
Crédit photo : © Pascal Lecomte, INRAE

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto



Vue au microscope de la forme sexuée de *Pythium oligandrum*, agent de biotisation utilisé avec succès contre les champignons des maladies du bois de la vigne.
Crédit photo : © Jonathan Gerbore, BIOVITIS

Deux expérimentations d'envergure ont été réalisées en 2015 et 2016. Les principaux objectifs, la méthodologie et les résultats sont décrits dans une publication scientifique (L. Daignies et al., 2018 Biological Control 119:59–67, doi: 10.1016/j.biocontrol.2018.01.008 <https://hal.inrae.fr/hal-02626154>) et sur une page Web dédiée (<http://www.maladie-du-bois-vigne.fr/Programmes-de-recherche/Les-projets-en-cours/Les-projets-de-biocontrôle/BIOTIVIGNE/Les-resultats-du-projet>).

► La première conclusion est de confirmer que la souche sélectionnée de *Pythium oligandrum* « Po » (oomycète) est un agent de biocontrôle ou de biotisation (AdB) extrêmement prometteur dans la protection de la vigne contre les MdBs de la vigne. Dès le stade de production en pépinière, les essais de biotisation montrent l'efficacité antagoniste des AdBs testés contre 2 champignons pathogènes majeurs des MdBs : *Phaeoaniella chlamydospora* (Pch) et *Neofusicoccum parvum* (Np). Dans les deux

campagnes d'essais, chez les plants biotisés par *P. oligandrum* (Po), la longueur des nécroses a été réduite significativement de 39-40% pour Pch et de 52-64% pour Np. L'absence de contact entre le pathogène, présent dans le greffon, et l'agent de biocontrôle Po qui colonise les racines, indique une action à distance par stimulation des défenses de la vigne. Le mécanisme est donc une induction au niveau racinaire par Po avec élicitation au niveau végétal qui limite l'infection et la colonisation du tronc par les deux champignons pathogènes étudiés. De plus, la bactérie antagoniste AdB, *Pantoea agglomerans* (Pa), a également réduit significativement la nécrose due au pathogène Np : de 22% à 38%.



Vue en coupe transversale de troncs de pieds mères de porte-greffes montrant d'importantes nécroses d'Esca : de type centrale et/ou sectorielle.

Crédit photo : © Jean-Michel Liminana, INRAE

- ▶ La seconde conclusion majeure provient de la mise œuvre combinée de Po en association avec des souches bactériennes pré-identifiées comme à fort potentiel de biocontrôle (résultats UMR SAVE, INRAE). Ces différents AdBs bactériens sont confirmés comme efficaces, mais dans une moindre mesure par rapport à Po. De plus, le cumul de différents AdBs dans la même plante ne s'est pas traduit par un effet de synergie (augmentation de l'efficacité par rapport à Po seul). Ceci n'est peut-être pas généralisable à d'autres pathosystèmes et/ou d'autres combinaisons microbiennes. Ainsi la combinaison de deux AdBs (Po et Pa) a réduit la longueur de la nécrose de Np de 33 à 52% selon l'année.
- ▶ La troisième conclusion majeure est de montrer le bon maintien, sur des périodes longues de 2 à 3 mois, de Po dans la rhizosphère et/ou racines des boutures de vigne greffées. La forte capacité de Po à coloniser la rhizosphère de vigne a donc été démontrée, ici pour la première fois et de façon novatrice et très pertinente en viticulture, sur des boutures greffées (études antérieures sur boutures non greffées).
- ▶ La quatrième conclusion, d'intérêt majeur pour de futures innovations, concerne les très bons niveaux de protection sur des plants greffés-soudés avec les deux porte-greffes testés (101-14 et SO4), très utilisés en France et dans beaucoup d'autres pays viticoles. L'extrapolation de nos résultats à des conditions de la pratique viticole en est donc considérablement augmentée, mais ce projet étant basé sur des essais en serres de pépinières (MERCIER), des prolongements expérimentaux sont nécessaires notamment dans différentes conditions au vignoble. Ceux-ci ont été engagés et une perspective appliquée essentielle, faisant directement suite à ce projet BiotiVigne, est le processus engagé vers l'homologation de la souche testée de l'agent de biocontrôle *Pythium oligandrum*.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Un certain niveau de généralité de cette étude est constatable, car les microorganismes testés montrent aussi des capacités antagonistes dans d'autres conditions/études de biocontrôle de champignons pathogènes sur vigne (ex. recherches à l'UMR SAVE, INRAE Bordeaux). Pour la société partenaire Biovitis, ce projet confirme l'intérêt et l'efficacité du microorganisme *P. oligandrum* (Po) en application au sol. La société s'est donc projetée, suite au projet Biotivigne, sur des essais terrain, au vignoble, en vue de l'homologation de cet agent de biocontrôle. La société Mercier, grâce à ce projet, a été confortée dans sa perspective majeure de développer une/des gamme(s) commerciale(s) avec des plants de boutures greffées biotisées.

Recherche :

En plus d'ouvrir des pistes novatrices en biocontrôle, ce projet soulève quelques questions clefs de recherche. Ainsi, le procédé de biotisation doit être encore approfondi pour quantifier la durée de ses effets bénéfiques, qui sont significatifs sur jeunes plants, et ce durant la vie entière d'une plante pérenne comme la vigne. Une autre question, donnant lieu à débat, est celle de la généralité d'un de nos résultats importants : l'association de microorganismes de biocontrôle antagonistes n'est pas toujours plus efficace que l'introduction d'un seul des microorganismes candidats ciblés (réponse certainement fonction du pathosystème et/ou de l'association des microorganismes considérés).

Publications et colloques scientifiques :

- ▶ **Biological Control (n°119, pp 59–67, 2018) : Efficacy of *P. oligandrum* affected by its association with bacterial BCAs and rootstock effect in controlling grapevine trunk diseases.** Leslie Daraignes, Jonathan Gerbore, Amira Yacoub, Laure Dubois, C. Romand, O. Zekri, Jean Roudet, P. Chambon, and Marc Fermaud. Doi: 10.1016/j.biocontrol.2018.01.008. URL : <https://hal.inrae.fr/hal-02626154>

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ Brochure INRA biocontrôle « **les conquêtes de l'INRA pour le biocontrôle** » à laquelle Marc Fermaud et Jonathan Gerbore ont contribué (dont projet BIOTIVIGNE), Publication INRA ou INRAE, juillet 2018 (https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/180529_presse_BIOCONTROLE_BD_.pdf)

AUTRES VALORISATIONS :

- ▶ **Site WEB dédié au projet** : <https://www.maladie-du-bois-vigne.fr/Programmes-de-recherche/Les-projets-en-cours/Les-projets-de-biocontrole/BIOTIVIGNE>
- ▶ **Page WEB BiotiVigne RESULTATS** : <http://www.maladie-du-bois-vigne.fr/Programmes-de-recherche/Les-projets-en-cours/Les-projets-de-biocontrole/BIOTIVIGNE/Les-resultats-du-projet>



Développement et appropriation sociotechnique des résistances variétales en viticulture durable

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2019

Responsable scientifique

François Hochereau, **INRAE UMR SADAPT**
francois.hochereau@inrae.fr

Laurent Delière, **INRAE UMR SAVE**
laurent.deliere@inrae.fr

Partenaires

INRAE UMR SADAPT ; INRAE UMR SAVE ; IFV
(Institut Français de la Vigne) ; Chambres
d'agriculture (Gironde, Hérault, Aude)

Financement

Coût total du projet : 306 197 €
Subvention Écophyto : 134 868 €

Mots clés :

Viticulture ; Amélioration variétale ; Variétés résistantes aux maladies ; Innovation environnementale ; Observatoire ; Évaluation socio-économique

Contexte et principaux objectifs

L'objectif du projet était d'étudier les pratiques pionnières d'introduction de variétés de vignes résistantes en France, afin d'identifier les principaux leviers et verrous réglementaires, techniques et socio-économiques qui participent au déploiement de ces innovations variétales (tâche 4).

L'étude des contextes allemands et suisses, où de telles variétés se diffusent depuis les années 2000, a permis de capitaliser des retours d'expériences et de mieux comprendre les modalités de définition d'un cadre expérimental participatif associant les différents acteurs « parties prenantes » (tâche 2).

En parallèle, nous avons considéré la manière dont les instances régulatrices et professionnelles de la viticulture, notamment l'INAO, ont fait évoluer le cadre réglementaire de l'expérimentation variétale (tâche 1).

Enfin, l'objectif du projet fut de fédérer les pratiques pionnières d'adoption de variétés résistantes par la constitution d'un réseau d'observation des résistances variétales. Ce réseau s'est structuré autour du partage d'un protocole de collecte et de capitalisation des données sur le comportement des cépages résistants (tâche 3).

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

En 2019, le réseau d'observation des cépages résistants est constitué de 87 parcelles réparties sur 43 sites (viticulteurs, coopératives, chambres d'agriculture), principalement en région Aquitaine et Occitanie. L'observation, menée de 2017 à 2019, a porté sur 23 variétés d'origines française, allemande et suisse. Elle montre une réduction de 96 % de l'IFT fongicide par rapport à la référence agreste 2016, avec 80% des traitements à l'encadrement de la floraison.

L'étude des freins à l'innovation variétale en France montre :

- ▶ Des temps de cycles de l'innovation variétale trop longs et surtout très cloisonnés. L'expérimentation VATE (Valeur Agronomique Technologique et Environnementale) française n'associe pas suffisamment en amont les viticulteurs pour tester les vins obtenus et les pépiniéristes pour préparer la diffusion des plants.
- ▶ Des rigidités fortes au niveau des appellations avec des contraintes d'expérimentation à fonds perdu et des critères de typicité trop stricts au sein et entre les appellations.

L'Allemagne et la Suisse s'illustrent au contraire par une très grande souplesse réglementaire et des démarches d'expérimentation beaucoup plus participatives.

Face aux demandes du terrain, la France a fortement assoupli le cadre expérimental, même s'il reste trop bureaucratique et trop structuré autour de l'INRAE et l'IFV. De même, l'INAO a bouleversé le sien, rendant désormais l'expérimentation possible, mais celle-ci reste contrainte par la forte hiérarchisation des appellations entre elles. De nombreux programmes régionaux de sélection variétale devraient déboucher sur un renouvellement variétal de grande ampleur. À ce titre, la dynamique est aujourd'hui beaucoup plus forte en France qu'ailleurs, où l'usage de cépages reste confidentiel après 20 ans d'histoire.

Au niveau des viticulteurs adoptants, le primat est donné à la qualité des vins sur les résistances variétales. Bien sûr, celles-ci sont déterminantes dans le choix des nouvelles variétés, sinon à quoi bon changer de cépages ? Les professionnels préfèrent une variété plus qualitative même si un peu moins résistante (sous réserve qu'elle ne s'écroule pas). Ils jugent pouvoir gérer un risque de résistance modéré par des pratiques *ad hoc*, alors qu'un risque marchand ne l'est pas si le vin ne séduit personne. La pratique de l'assemblage dans le Sud de la France devrait favoriser l'intégration d'un pourcentage de variétés résistantes dans des IGP, moins arc-boutées que les AOP sur des typicités homogènes et intéressées par une valorisation environnementale de leurs vins. Dans les IGP du Nord de la France, à dominante mono-cépage, ces variétés peuvent trouver leur place dans la production de vins effervescents, car les qualités vinicoles du cépage y sont moins déterminantes. C'est le cas aussi (et peut-être même plus) des alcools comme le Cognac ou l'Armagnac.

Plus globalement, la profession attend l'arrivée des variétés issues des programmes de rétrocroisements régionaux, visant à allier typicité et résistance variétale, et qui seront déployés dans une douzaine d'années. En attendant, les initiatives se concentrent dans les zones de conflit entre viticulteurs et rurbains, pour implanter des variétés avec le minimum de traitements, voire sans pesticides. Il serait souhaitable de mieux accompagner et fédérer les démarches d'expérimentations, au niveau des IGP ou des coopératives, afin de capitaliser les acquis agronomiques, pathologiques et qualitatifs au niveau des collectifs concernés, car l'observatoire mis en place reste avant tout un outil de recherche et de veille sanitaire.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Le projet était au départ assez prospectif dans la mesure où la diffusion de cépages résistants était alors assez confidentielle. Du fait des évolutions réglementaires récentes, les plantations n'ont vraiment démarré qu'en 2019. C'est la raison pour laquelle des ateliers d'échanges régionaux ont été envisagés dans le prolongement du projet. Du fait du Covid, ils ne seront programmés qu'à la fin 2021.

L'observatoire de suivi des cépages résistants permet de mieux former les viticulteurs à la compréhension du comportement des cépages face aux maladies. Un travail de thèse est programmé sur la vinification des cépages résistants qui devrait mieux coupler les aspects résistance et qualité variétale, et mieux répondre aux attentes exprimées par le terrain.

Recherche :

Le projet a permis d'initier à sa suite le projet OSCAR visant à consolider et à étendre le dispositif d'observation des cépages résistants. Il se prolonge aujourd'hui dans le PPR Curare sur le zéro pesticide en vigne avec un projet de thèse visant à construire une grille d'évaluation des variétés en expérimentation, combinant les aspects pathologiques, agronomiques et œnologiques.

Publications et colloques scientifiques :

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ S. Tabouret, 2019, **Setting up a "good" experimentation : the case of vine varieties testing in Languedoc**, Open Agriculture Journal, Elsevier.
- ▶ S. Guimier, F. Delmotte, A.S. Miclot, F. Fabre, I. Mazet, C. Couture, C. Schneider, L. Delière, 2019. **OSCAR, a national observatory to support the durable deployment of disease-resistant grapevine varieties**. Acta Horticulturae
- ▶ S. Tabouret, 2020, **Résister ! Une aptitude commune aux vignes, aux agents pathogènes, aux professionnels et aux scientifiques**, L'immunité des plantes : Pour des cultures résistantes aux maladies (C. Lannou, D. Roby, V. Ravigné, M. Hannachi, B. Moury, eds.), Paris, Quae, p.235-46
- ▶ F. Hochereau, 2020, **La résistance variétale, un objet-frontière à construire**, L'immunité des plantes : Pour des cultures résistantes aux maladies (C. Lannou, D. Roby, V. Ravigné, M. Hannachi, B. Moury, eds.), Paris, Quae, p. 257-58

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ F. Hochereau, 2019, **Classement, déclassement et reclassement de l'innovation variétale : Une comparaison franco-suisse**, RT 29 Sciences et Techniques en Société, congrès AFS, Aix en Provence
- ▶ F. Hochereau, 2019, **L'évolution des catégorisations du risque par l'adoption de cépages résistants en viticulture**, RT 38 sociologie de l'environnement et des risques, congrès AFS, Aix-en Provence
- ▶ F. Delmotte 2018. **OSCAR — a national observatory for a sustainable deployment of disease-resistant grape varieties**. XII International Conference on Grapevine Breeding and Genetics
- ▶ L. Delière. 2017. **Déploiement des variétés résistantes en viticulture : observatoire Oscar. Rencontres régionales de la recherche, du développement et de la formation**. Montagne, 13 décembre 2017
- ▶ L. Delière. 2017. **Un Observatoire du déploiement des cépages résistants**. Conférence SITEVI, 29 novembre 2017
- ▶ F. Hochereau, 2017, **Sélectionneurs et pépiniéristes : Métiers ou Expertises au carrefour des mutations du monde de la vigne**, Métiers de la vigne et du vin, 20-21 novembre, Paris Saclay

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION :

- ▶ L. Delière 2018. **Table ronde Cépages résistants : quelles avancées ?** Cognac 2025
- ▶ L. Delière. 2018. **Comment accompagner le déploiement des nouvelles variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium ?** Présentée à : Séances de l'Académie d'Agriculture « Révolution variétale en viticulture ! De nouveaux cépages résistant aux maladies : création, déploiement et impact sur la filière viticole », Paris, France (2018-05-30 - 2018-05-30)

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ **Un observatoire des cépages résistants pour lutter contre des maladies de la vigne**. Dépêche AFP, Bordeaux, 9 janvier 2017
- ▶ **Les cépages résistants en observation**. PHYTOMA n°718, Novembre 2018



DESHERBAL

Développement et étude de l'efficacité de substances allélopathiques pour améliorer le désherbage des espèces récalcitrantes

Année de démarrage : 2017

Année de fin : 2020

Responsable scientifique

Claire Richard, Institut de Chimie de Clermont-Ferrand/ CNRS
claire.richard@uca.fr

Partenaires

ICCF ; Laboratoire de Physique et Physiologie Intégratives de l'Arbre en environnement Fluctuant (PIAF) ; INRAE ; Mairie d'Aubière

Financement

Coût total du projet : 287 550 €
Subvention Écophyto : 87 346 €

Mots clés :

JEVI ; Gestion des adventices ; Allélopathie ; Phytotoxicité des métabolites secondaires ; Ciste ; Hysope ; Mulch ; Macérat ; Cyprès Leyland

Contexte et principaux objectifs

L'interdiction du désherbage chimique pose des difficultés pratiques aux gestionnaires responsables de l'entretien des JEVI. Le désherbage manuel est long et coûteux en main d'œuvre et le désherbage thermique est peu efficace du fait de la repousse rapide des adventices. Utiliser des plantes pour combattre les adventices est une alternative attractive. Cela consiste à mettre à profit la capacité des plantes à produire et libérer des composés phytotoxiques.

Sur la base des données de la littérature, nous avons donc sélectionné des plantes riches en terpènes et mis en place des expériences pour évaluer leur capacité à combattre les adventices lorsque les terpènes sont :

- (i) Émis par les plantes ;
- (ii) Libérés par des mulchs ou
- (iii) Appliqués sous forme de macérats.

Ces expériences devaient permettre de révéler les propriétés allélopathiques de plantes riches en terpènes et d'optimiser leur utilisation. Ce projet a eu un double objectif : avancer vers de nouvelles pistes de solutions de gestion des adventices et faire progresser les connaissances dans ce domaine à travers des études fondamentales.

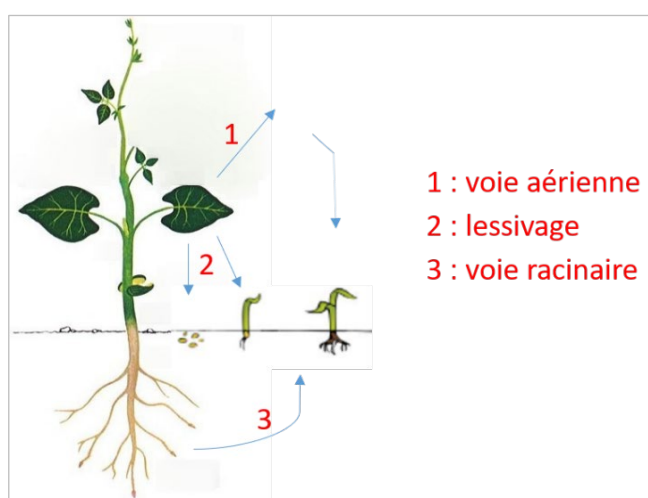


Figure 1 : Voies d'émission des composés phytotoxiques par les plantes allélopathiques. Crédit image : © Claire Richard, ICCF/CNRS

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Expérimentations sur plantes entières :

Le choix initial des plantes s'est porté sur *Lomelosia cretica*; *Centaurea bella*; *Hyssopus officinalis*; *Cistus creticus*; *Veronica polifolia* car ces plantes sont odorantes, rustiques (-15°C), esthétiques, non envahissantes, de taille modérée < 60 cm, à feuillage persistant et suggérées allélopathiques par certains pépiniéristes. Des analyses chimiques ont révélé que toutes, à l'exception de *Veronica polifolia*, émettent des terpènes.

Une première série de tests dans le jardin conservatoire de la mairie d'Aubière nous a permis de montrer que le ciste et l'hysope sont les plantes les plus prometteuses (Figure 2 page suivante) et de les retenir pour une deuxième série d'expérimentations en conditions réelles, en pieds d'arbre dans une cours d'école. Cette deuxième expérimentation n'a duré qu'à peine plus d'un an, ce qui n'a pas permis aux plantes de suffisamment grandir et d'exercer pleinement l'effet escompté. On peut quand même conclure que les résultats confirment ceux obtenus

dans le jardin conservatoire, à savoir que le ciste présente donc des propriétés intéressantes, seul ou en mélange avec l'hysope. Par ailleurs, des tests en pots ont montré que le ciste réduit nettement la vitesse de croissance du trèfle en le privant d'eau (Figure 3). Cette propriété pourrait contribuer à l'effet observé sur les adventices.

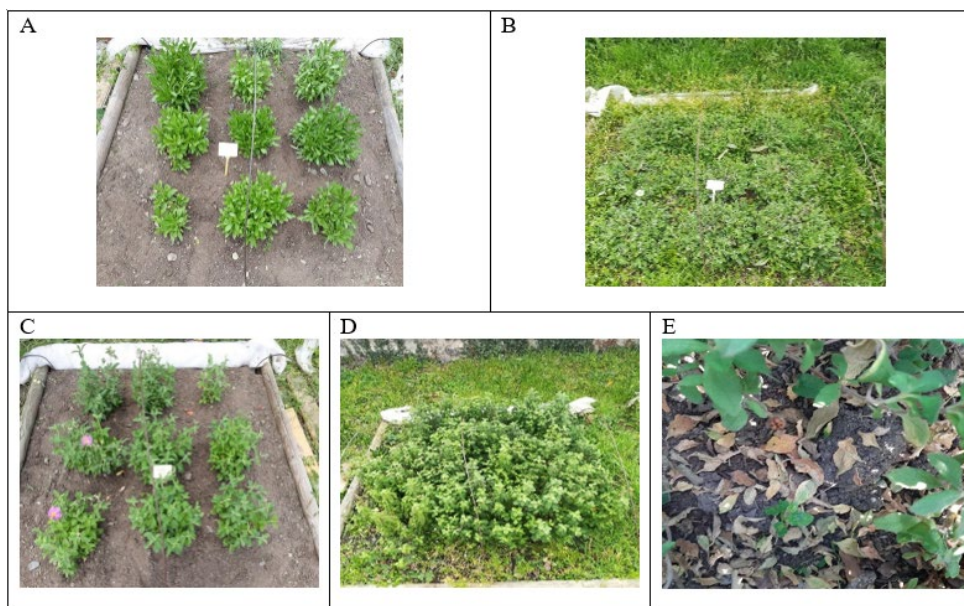


Figure 2 : Tests sur les plantes installées en carré (x9) dans le jardin conservatoire de la mairie d'Aubière. A : *Lomelosia* mai 2019 ; B : *Lomelosia* mars 2020 ; C : Cyste mai 2019 ; D : Cyste mars 2020 ; E : Cyste mars 2020, vue sous les cystes. Crédit photo : © Claire Richard, ICCF/CNRS

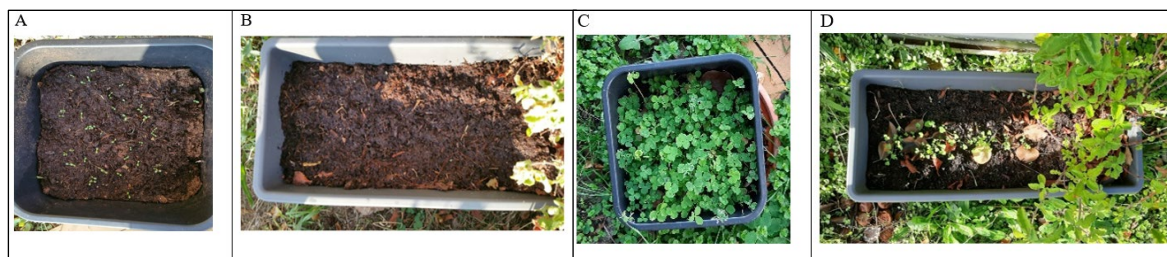


Figure 3 : Effet du ciste sur la germination et la pousse du trèfle. A : Témoin 9 jours après semis ; B : Pot avec le ciste planté à droite 9 jours après semis ; C : Témoin 5 mois après semis ; D : Pot avec le ciste planté à droite 5 mois après semis. Crédit photo : © Claire Richard, ICF/CNRS

Expérimentations sur des extraits de cyprès Leyland :

Le cyprès Leyland a été choisi pour être utilisé en tant que mulch et macérat car il est lui aussi riche en terpènes. Ce choix a été motivé par les données de la littérature qui relataient des résultats encourageants.

Des tests de germination en conditions contrôlées de laboratoire ont démontré que les feuilles de cyprès appliquées sous forme de macérat ou sous forme de mulch réduisent très significativement la vitesse de germination ou de croissance du trèfle et du cresson. Le taux d'inhibition était > 90 % avec un macérat à de 8 jours. Appliquées en mulch sur une épaisseur de 5 cm, les feuilles de cyprès ont réduit de près de 50 % la vitesse de croissance des plantules dans le sol. Des expérimentations ont également été conduites dans le cas du mulch en conditions réelles, en pieds d'arbre dans une cours d'école. Après plusieurs mois, le mulch s'est avéré bien plus efficace dans le contrôle des adventices qu'un broyat de végétaux à même épaisseur (Figure 4 page suivante).

Des analyses chimiques ont été réalisées sur le macérat et sur des extraits à l'éthanol des feuilles de cyprès. Dans les deux cas, la présence de nombreux composés a été détectée dont des terpènes plus ou moins oxydés. Cependant, aucune relation claire entre la présence d'un composé en particulier et la propriété observée n'a pu être établie. Le sol sur lequel avait été appliqué le mulch a aussi été analysé au bout d'un an. Il ne présentait aucune acidification particulière.

À travers ces résultats, le projet Desherbal ouvre des perspectives sur des recherches à mener pour explorer et comprendre le rôle des terpènes dans les phénomènes allélopathiques. Il aide aussi à la mise en place de solutions opérationnelles. Ainsi, le ciste, seul ou en association avec l'hysope, de même que le mulch de feuilles de cyprès Leyland peuvent aider à maîtriser les adventices.



Figure 4 : Test du mulch de cyprès Leyland en pied d'arbre. A : Broyat de végétaux, septembre 2019 ; B : Broyat de végétaux, juin 2020 ; C : Mulch de cyprès, septembre 2019 ; D : Mulch de cyprès, juin 2020. Crédit photo : © Claire Richard, ICCF/CNRS

Perspectives en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Ce projet montre que le ciste seul ou en association avec l'hysope peut être utilisé pour la maîtrise des adventices dans des massifs ou en pieds d'arbres. Une fois bien en place, ils nécessitent peu d'eau et peu d'entretien. *Cistus creticus* a donné de meilleurs résultats que *ciste purpurus* mais c'est peut-être uniquement un problème de vitesse de développement des plantes car le premier a été testé sur deux ans alors que le second sur une seule année.

Par ailleurs, les tontes de cyprès Leyland peuvent être valorisées en tant que mulch au pied des arbres ou dans des massifs. L'acidification du sol est très minime.

Recherche :

Concernant le volet sur les plantes allélopathiques, le projet a permis de mettre en évidence les propriétés intéressantes des plantes riches en terpènes, mais il reste à l'expliquer de façon précise. D'autres plantes riches en terpènes pourraient aussi être testées.

Concernant le volet sur le mulch de cyprès Leyland, il serait nécessaire de faire des analyses du sol afin de déterminer si des composés issus du cyprès y sont détectés et de s'assurer de leur innocuité.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche (suite)

Publications et colloques scientifiques :

Journées techniques et colloques scientifiques

- ▶ **IUPAC on Crop plant protection. 19-24/05/2019. Gand, Belgique:** *Characterization of myrigalone photoproducts and evaluation of their anti-germinative properties.* Poster. A. Khaled, M. Sleiman, Y. Arbid, C. Sac, A. Corson, C. Bertrand, P. Goupil, C. Richard
- ▶ **European meeting on Environmental Chemistry (EMEC19). 03-07/12/2018. Clermont-Ferrand, France :** *Photodegradation of myrigalone, a natural herbicide, in water and on leaves.* Poster (Prix du meilleur poster). A. Khaled, M. Sleiman, C. Bertrand, C. Richard

Présentations des congrès à venir

- ▶ **Congrès Biocontrôle Perpignan (prévu en septembre 2020 mais reporté pour cause de Covid) :** *Can cypress leaves be used as mulch to control weeds ?* Amina Khaled, Etienne Darras, Guillaume Barrès, Mohamad Sleiman, Claire Richard
- ▶ **Congrès Biocontrôle Perpignan (prévu en septembre 2020 mais reporté pour cause de Covid) :** *Potential use of Cistus to control weeds growth.* Amina Khaled, Etienne Darras, Guillaume Barrès, Mohamad Sleiman, Claire Richard

Publications scientifiques

- ▶ **Journal of Agricultural and Food Chemistry (n° 67, pp 7258-7265) :** *Photodegradation of myrigalone A, an allelochemical from Myrica gale: photoproducts and effect of terpenes.* Amina Khaled, Mohamad Sleiman, Etienne Darras, Aurélien Trivella, Cédric Bertrand, Nicolas Inguibert, Pascale Goupil, Claire Richard*. 2019. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.9b01722>
- ▶ **Forests (n°11-11, 1177, pp 1-12) :** *Phytotoxic Effect of Macerates and Mulches from Cupressus leylandii Leaves on Clover and Cress: Role of Chemical Composition.* Amina Khaled, Mohamad Sleiman, Pascale Goupil and Claire Richard*. 2020. Open access <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01137-z>; <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/11/1177>

Autres valorisations :

Article paru dans le journal La Montagne <http://ville-aubiere.fr/2018/07/26/espaces-verts-plantes-allopathiques/>-
article paru dans le journal Métropole, décembre 2019 - janvier 2020



Valorisation des acides dicaféoylquiniques et dicaféoyltartriques comme substances naturelles de biocontrôle

Année de démarrage : 2016

Année de fin : 2020

Responsable scientifique

Jean-Luc Poëssel, INRAE
jean-luc.poessel@inrae.fr

Partenaires

INRAE PACA Avignon ; SBM Développement

Financement

Coût total du projet : 431 035 €
Subvention Écophyto : 110 658 €

Mots clés :

Méthode de lutte naturelle ; Extraits de plantes ; Gestion des résistances des bioagresseurs ; Pucerons ; Maladies fongiques ; Biopesticides ; Substances naturelles ; Pratique élémentaire alternative ; Grandes cultures ; Horticulture

Contexte et principaux objectifs

DicaBio a pour objectif de développer des substances naturelles comme biopesticides. Bien que de multiples publications montrent l'effet pesticide de nombreuses substances botaniques, leurs propriétés n'ont que très rarement débouché sur une utilisation comme outils de biocontrôle en raison de nombreux obstacles à leur développement.

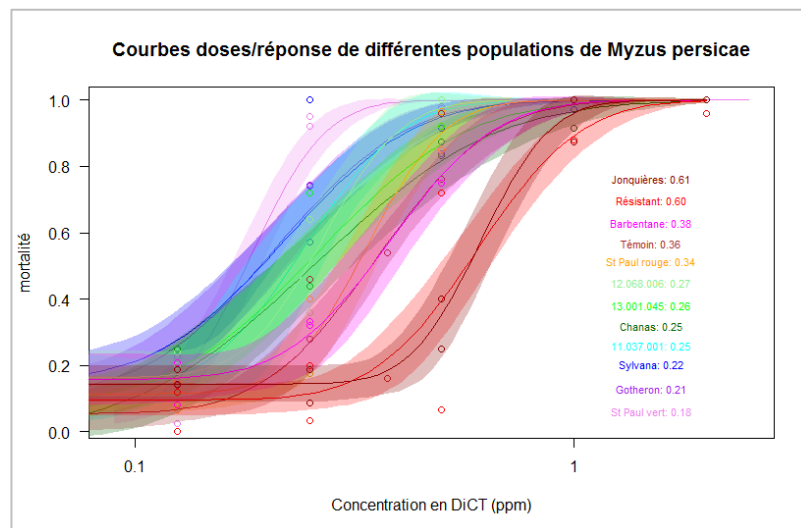
DicaBio vise à développer des molécules phénoliques végétales, les acides dicaféoylquiniques (diCQ) et dicaféoyltartrique (diCT) comme aphicides et fongicides biologiques utilisables sur de nombreuses cultures. Le manque de diversité des méthodes de lutte actuellement disponibles contre les pucerons conduit à l'apparition de résistances elles-mêmes responsables d'épidémies dans les cultures. En 2020, par exemple, les viroses de la betterave, transmises par des pucerons, ont entraîné des pertes de rendements très importantes conduisant à la remise sur le marché d'insecticides néonicotinoïdes. L'alternative aux produits de synthèse que nous proposons ici a pour objectif d'apporter une solution de contrôle très spécifique aux insectes ciblés et respectueuse de l'environnement et de la santé humaine.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Les résultats obtenus par DicaBio concernent tous les niveaux de la chaîne de développement d'un produit biopesticide.

- ▶ Nous avons caractérisé de nouvelles sources végétales de production du diCT qui pourraient permettre un approvisionnement à partir de pissenlit ou d'arachide notamment.
- ▶ Nous avons étudié les propriétés chimiques des diCT et diCQ. Ces deux molécules sont très antioxydantes. Elles se dégradent rapidement par oxydation à pH neutre, le diCT moins vite que le diCQ, mais elles restent cependant stables à pH acide. Ces résultats ont permis d'orienter la fabrication des formulations réalisées par la société partenaire SBM.
- ▶ Parmi les 5 générations de formulation créées, la dernière développée offre un environnement permettant la stabilité de la molécule. Après mise au point d'un protocole de test de l'effet aphicide en laboratoire, les différents types de formulations (liquides, poudres mouillables, suspensions, liquide concentré) ont été étudiées pour leur activité aphicide sur différentes espèces de pucerons, avec addition ou non de coformulants devant faciliter la pénétration de l'actif. Malgré l'adaptation progressive des formulations pour résoudre les difficultés rencontrées, les tests de laboratoire n'ont pas permis de mettre en évidence d'effet aphicide net. Nos travaux sur le mode d'action de la formulation démontrent que le verrou réside dans l'absence de pénétration de la préparation dans les tissus foliaires malgré l'addition des adjuvants. En effet, lorsque ces formulations sont infiltrées dans les feuilles, elles montrent une très bonne efficacité. Nos résultats pointent également une faible rémanence de la substance sur la feuille et dans les tissus foliaires où elle est vraisemblablement métabolisée rapidement. Cette propriété est un gage de faible impact sur l'environnement.

- ▶ Nous avons mis en évidence que le diCT, a un potentiel fongicide *in vitro* comme le diCQ, notamment contre les pathogènes des semences de céréales et contre la septoriose foliaire du blé.
- ▶ Les travaux engagés sur le risque d'adaptation des pucerons aux traitements avec les diCT ou diCQ montrent qu'en l'état de nos connaissances les deux substances actives présentent une bonne durabilité d'action aphicide sur *Myzus persicae*, espèce qui pourtant a développé des résistances à de nombreux insecticides de synthèse. Il n'y a *a priori* pas de risque de résistances croisées aux produits insecticides de synthèse et à ces deux substances actives. Cependant, pour la première fois nous avons découvert un clone d'*Aphis craccivora* insensible aux deux composés. Mieux connaître l'origine de ce phénomène d'insensibilité pourrait nous aider d'une part à comprendre le mode d'action de ces substances et d'autre part à gérer le risque d'adaptation des pucerons.
- ▶ Les risques d'effets non intentionnels ont été évalués sur l'abeille domestique. L'exposition aiguë au diCQ et au diCT ne provoque pas de mortalité par contact ni par ingestion pendant plusieurs jours. Cependant, des effets de diminution de la prise alimentaire face à une exposition chronique ont été mis en évidence avec le diCT mais pas avec le diCQ. Ces résultats mettent en lumière d'éventuels effets non intentionnels dont pourraient pâtir les insectes utiles en cas d'une utilisation non adaptée de ces substances. Cependant, l'impact pour les abeilles de ces substances naturelles apparaît bien plus léger que celui des insecticides de synthèse utilisés couramment en agriculture.



Courbes de doses/réponse de différentes populations de *Myzus persicae* au diCT.
Crédit image : © Myriam Siegwart, INRAE

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Nous avons clairement identifié que l'absence de pénétration des produits constituait le verrou principal pour que ces substances puissent exprimer leur potentiel aphicide. Une fois ce problème résolu, de nouveaux produits de biocontrôle respectueux de l'environnement et de la santé humaine pourront être utilisés dans de nombreuses filières agricoles comme les grandes cultures, la betterave, le colza ou l'arboriculture fruitière en proie à des impasses techniques. Les résultats obtenus constituent un nouveau pas dans la valorisation des diCT et diCQ comme biopesticides et de façon générique contribuent significativement au développement novateur d'autres substances botaniques de biocontrôle.

Recherche :

Il nous paraît nécessaire de développer maintenant des approches innovantes de formulation des produits biopesticides comme par exemple les nanoformulations, objets de nombreux travaux actuellement dans le monde, qui peuvent apporter de nouvelles solutions pour améliorer la très faible pénétration des produits actifs dans les tissus foliaires, principal verrou identifié au cours de DicaBio qui entrave leur efficacité. Des études supplémentaires sur les bases de ces formulations innovantes seraient également nécessaires pour évaluer la possibilité de développer un biofongicide à base de diCT pour contrôler la septoriose du blé ou d'autres maladies fongiques.

Publications et colloques scientifiques :

COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ Séminaire de restitution intermédiaire des appels à projets « PSPE 2 » et « Pesticides 2014 » (14-15/12/2017), Paris, France
- ▶ Natural Products and Biocontrol Conference (25-28/09/2018), Perpignan, France
- ▶ Resistance'19. (16-19/09/2019), Rothamsted, UK

JOURNÉE TECHNIQUE :

- ▶ Journée Métabolites Secondaires (16/09/2018), Avignon, France

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Mode of action and sustainability of the use of caffeic acid derivatives in the control of aphids in agriculture** (en préparation). Siegwart M., Saugé MH., Lecerf E., Masclé O., and Poëssel JL.



Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs. Une approche par modélisation appliquée au pêcher et au manguiier

Année de démarrage : 2015
Année de fin : 2019

Partenaires
CIRAD UPR HortSys ; INRAE UR PSH ; Université de Montpellier

Responsable scientifique
Isabelle Grechi, CIRAD UPR HortSys
isabelle.grechi@cirad.fr

Financement
Coût total du projet : 348 935 €
Subvention Écophyto : 88 921 €

Mots clés :

Cultures fruitières ; Evaluation socio-économique ; Modification de l'itinéraire technique ; Méthodes de luttes alternatives ; Modélisation ; Pratiques culturales ; Production ; Qualité des fruits ; Typologie des stratégies d'exploitation ; Co-conception

Contexte et principaux objectifs

L'arboriculture est confrontée à de fortes exigences de la part de la société et des pouvoirs publics pour limiter ses impacts sur l'environnement et la santé humaine, et améliorer la qualité de ses produits. Même si les producteurs mobilisent de plus en plus des méthodes alternatives, la protection des vergers repose encore largement sur la lutte chimique. Une redéfinition des pratiques agricoles s'impose pour inventer des systèmes de production de fruits de qualité, plus économes en pesticides et économiquement viables.

L'objectif du projet était de développer une démarche et des outils d'aide à la conception d'itinéraires (ou solutions) techniques en vergers, évalués sur leur capacité à limiter le développement et les dommages des bio-agresseurs et à satisfaire aux obligations d'efficacité agronomique et de viabilité économique. Des méthodes de contrôle cultural et de lutte physique capables d'augmenter la résistance des vergers vis-à-vis des bio-agresseurs ont été recherchées comme alternatives aux pesticides. La démarche a été éprouvée sur deux cultures fruitières : la mangue à La Réunion et la pêche-nectarine en métropole.



Verger de pêcheurs.
Crédit photo : © Michel Génard, INRAE

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Le projet Ecoverger a évalué l'efficacité de différents leviers de gestion des bio-agresseurs alternatifs aux pesticides, se distinguant par leur mode d'action et leur niveau d'innovation, pour trois cas d'étude : moniliose-pêche, mouche des fruits-mangue et cécidomyie des fleurs-inflorescences du manguiier.

Parmi les leviers évalués, ceux qui visent à limiter l'incidence et la contamination de la culture sont efficaces pour limiter le développement des bio-agresseurs et leurs dommages, mais peuvent impacter le potentiel de production de l'arbre. Un stress hydrique et une charge en fruits de l'arbre modérés réduisent l'incidence de la moniliose, augmentent la qualité des fruits mais réduisent leur calibre et le rendement potentiel. Récolter les mangues à un stade vert-mature à point-jaune très précoce minimise le risque d'infestation des fruits par les mouches, et ne réduit que très faiblement le rendement et la qualité des fruits.

Les autres leviers évalués, qui visent à limiter le développement des bio-agresseurs, ont une efficacité plus partielle et n'impactent pas le potentiel de production. La couverture du sol avec une bâche tissée ou un enherbement spontané haut réduit les populations de cécidomyies des fleurs et leurs dommages sur les inflorescences du manguiier. La synchronisation de la floraison, par des pratiques adaptées, réduirait les populations de cécidomyie,

mais seulement si le verger n'est pas exposé à une forte pression exogène du bio-agresseur. Les récoltes sanitaires en hiver, consistant à éliminer les brindilles et fruits momifiés des saisons précédentes, ne permet de contrôler l'incidence de la moniliose que si l'inoculum primaire est presque entièrement éliminé du verger. L'élimination des pêches infectées apparaît plus efficace quand elle est réalisée pendant la saison de production. De par leur effet partiel, ces leviers sont à utiliser préférentiellement en combinaison avec d'autres leviers.

La substitution de traitements phytosanitaires par certains leviers peut générer des surcoûts liés à l'investissement dans du matériel et à l'augmentation du temps de conduite du verger par introduction d'une nouvelle opération dans l'itinéraire (couverture du sol avec une bâche tissée) ou augmentation de la technicité d'une pratique déjà utilisée (récolte des fruits à des stades de maturité plus ciblés). D'autres leviers sont au contraire plus faciles à mettre en œuvre car simplement basés sur l'adaptation de pratiques déjà utilisées dans l'itinéraire (décalage de la date de fauche, modification du niveau d'irrigation et d'éclaircissage).

Le revenu, le rendement et l'aspect visuel du fruit sont les critères de performance prépondérants pour la plupart des producteurs, tandis que les indicateurs relatifs à la pollution environnementale liée aux traitements phytosanitaires ont finalement moins d'importance (au moins pour la filière mangue). Ceci suggère une faible motivation à mobiliser des pratiques éco-responsables s'il n'y a pas de retour sur investissement par exemple par une meilleure valorisation marchande de la production, ou de mesures de soutien adaptées qui permettraient de compenser de possibles surcoûts ou réductions du rendement.

Pour établir si ces leviers permettent de se substituer, totalement ou en partie, aux pesticides, davantage de recul sur les performances et les conditions d'efficacité et d'adoption de ces leviers mis en œuvre en combinaison et *in situ* est nécessaire. Par ailleurs, la diversité des profils de production incite à rechercher des solutions adaptées à chaque contexte de production, tenant compte des contraintes et objectifs spécifiques des utilisateurs.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Le projet Ecoverger a étudié des leviers alternatifs aux pesticides pour la régulation de bio-agresseurs s'attaquant aux organes reproducteurs d'arbres fruitiers en milieu tempéré et subtropical. Des généralités et spécificités sur l'efficacité et les modalités de déploiement de ces leviers ont été établies selon leur mode d'action et les caractéristiques des bio-agresseurs. Par ailleurs, certains freins potentiels à leur adoption étant de nature économique, des mesures incitatives pour l'adoption de pratiques éco-responsables, et une meilleure visibilité et valorisation marchande de la qualité environnementale et sanitaire sur les marchés de commercialisation, pourraient aider à lever ces freins.

Recherche :

Le projet ODACE¹ du Plan Écophyto II+ prévoit, dans la suite du projet Ecoverger, la mise en œuvre effective et opérationnelle d'une démarche de conception de vergers moins dépendants des pesticides. Pour cela, il mobilisera une palette plus large d'outils et sources de connaissances et lèvera certaines limites du projet Ecoverger. En particulier, il développera un outil d'évaluation interactif qui facilitera le dialogue entre chercheurs et acteurs, et dans lequel la combinaison de plusieurs leviers alternatifs, des bio-agresseurs multiples et plusieurs dimensions de la durabilité seront pris en compte.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ HortiModel 2016: Vth International Symposium on Models for Plant Growth, Environment Control and Farming Management in Protected Cultivation. 19-22 September 2016, Avignon, France: **A compartmental epidemiological model for brown rot spreading in fruit orchards**. Bevacqua D., Génard M., Turion-Quilot B., Oliveira Lino L., Mercier V., Lescourret F. (2016a).
- ▶ Plant Biology Europe EPSO/FESPB 2016 Congress. 26-30 June 2016, Prague, Czech Republic: **A compartmental epidemiological model for brown rot spreading in stone fruit orchards** [poster]. Bevacqua D., Génard M., Turion-Quilot B., Oliveira Lino L., Mercier V., Lescourret F., Bolzoni L. (2016b).
- ▶ XXVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia, 12-15 September 2017, Napoli, Italy: **A model for temporal dynamics of brown rot spreading in fruit orchards**. Bevacqua D., Quilot-Turion B., Bolzoni L. (2017).
- ▶ XII International Mango Symposium, 10-16 July 2017, Baise, China: **How different pruning intensities and severities affect vegetative growth processes in "Cogshall" mango trees**. Persello S., Grechi I., Boudon F., Normand F. (2017).

¹ ODACE : Outil d'évaluation et de Dialogue entre acteurs et chercheurs, pour Accompagner la conCEption de solutions de protection des plantes dans le contexte arboricole (ECOPHYTO II+ OFB 2021-2023)

- ▶ XII International Mango Symposium, 10-16 July 2017, Baise, China: **Effects of some cultural practices on mango inflorescence and fruit pest infestation and damage in Reunion Island: recent progress, on-going studies and future steps** [poster]. Ratnadass A., Grechi I., Caillat A., Préterre A.-L., Normand F., Graindorge R. (2017).
- ▶ International conference: Models in Population Dynamics, Ecology and Evolution. 9-13 April, Leicester, UK: **A model for temporal dynamics of brown rot spreading in fruit orchards**. Bevacqua D., Quilot-Turion B., Bolzoni L. (2018a).
- ▶ XXVIII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia, 12-14 September, Cagliari, Italy: **Climate effects on the spread of brown rot disease: insights from an epidemiological model**. Bevacqua D., Vanalli C., Casagrandi R., Gatto M. (2018b).
- ▶ 30th International Horticultural Congress (IHC2018). 12-16 August 2018, Istanbul, Turkey: **Assessment of mango tree - blossom gall midge management solutions from in-silico experiments: overview of an on-going modeling approach** [poster]. Grechi I., Saint Crieg L., Soria C., Ratnadass A., Normand F., Amouroux P., Boudon F. (2018).
- ▶ Séminaire de l'UMT Si-Bio, 21 juin 2019, Avignon, France : **Évaluation d'itinéraires techniques pour la gestion de la moniliose en verger de pêcher-nectarine**. Borg J., Kerdraon M., Plénet D. (2019).
- ▶ The International Society for the Ecological Modelling - Global Conference 2019. 1-5 October 2019, Salzburg, Austria: **The mango tree – blossom gall midge system: in-silico assessment of its functioning and management**. Grechi I., Reyné B., Saint-Crieg L., Memah M.M., Ratnadass A., Normand F., Boudon F. (2019).
- ▶ 2nd annual ESA International Branch Virtual Symposium. 8-10 April 2019, USA: **Plant organ hardness as a factor of crop resistance to insect pests** [poster]. Ratnadass A., Caillat A., Chantreau J., Chillet M., Fliedel G., Grechi I. (2019).
- ▶ EEF: Ecology across borders. Embedding ecology in sustainable development goals. 29 July-2 August 2019, Lisbon, Portugal: **Climate change and the spread of brown-rot disease in peach orchards: insights from an epidemiological model**. Vanalli C., Bevacqua B., Casagrandi R., Gatto M. (2019).
- ▶ 4th TEAM Meeting, 5-9 October 2020, La Grande Motte, France: **Potential of some cultural levers for fruit fly management on mango in Réunion** [poster]. Ratnadass A., Caillat A., Préterre A.L., Brunet-Lecomte C., Lardenois M., Grechi I. (2020)

ARTICLES SCIENTIFIQUES :

- ▶ Frontiers in Ecology and Evolution (n°5, p 170): **The crop load affects brown rot progression in fruit orchards: high fruit densities facilitate fruit exposure to spores but reduce the infection rate by decreasing fruit growth and cuticle cracking**. Bellingeri M., Quilot-Turion B., Oliveira Lino L., Bevacqua D. (2018). <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00170>
- ▶ Phytopathology (n° 108, pp 595-601): **A model for temporal dynamics of brown rot spreading in fruit orchards**. Bevacqua D., Quilo-Turion B., Bolzoni L. (2018). <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-17-0250-R>
- ▶ Scientific Reports (n°9, p 8519): **Coupling epidemiological and tree growth models to control fungal diseases spread in fruit orchards**. Bevacqua D., Génard M., Lescourret F., Martinetti D., Vercambre G., Valsesia P., Mirás-Avalos J.M. (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44898-6>
- ▶ European Journal of Agronomy (n° 104, pp 85-96): **Nature abhors a vacuum: Deciphering the vegetative reaction of the mango tree to pruning**. Persello S., Grechi I., Boudon F., Normand F. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.01.007>
- ▶ Acta Horticulturae (n° 1244, pp 159-166): **Effects of some cultural practices on mango inflorescence and fruit pest infestation and damage in Reunion Island: recent progress, on-going studies and future steps**. Ratnadass A., Grechi I., Graindorge R., Caillat A., Préterre A.L., Normand F. (2019). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1244.24>
- ▶ Annals of Botany (n° 126, pp 745-763): **V-Mango: A functional-structural model of mango tree growth, development and fruit production**. Boudon F., Persello S., Jestin A., Briand A.-S., Grechi I., Fernique P., Guédon Y., Léchaudel M., Lauri P.-E., Normand F. (2020). <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa089>
- ▶ Acta Horticulturae (n° 1281, pp 633-641): **The mango tree - blossom gall midge system: toward in-silico assessment of management practices**. Grechi I., Saint Crieg L., Ratnadass A., Normand F., Soria C., Brustel L., Amouroux P., Boudon F. (2020). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1281.83>

Autres valorisations :

- ▶ Documents pédagogiques pour l'école-chercheurs : « *L'agroécologie à la croisée des disciplines scientifiques* » organisée par le Cirad et Montpellier SupAgro (Saint-Pierre, Ile de la Réunion, 28 novembre – 2 décembre 2016) à laquelle le projet Ecoverger a servi de support d'étude : Fiche : « **Présentation du terrain mangues** » - vidéo : « **La mangue, la culture de compromis** »
- ▶ Tp dispensés en BTS GPN1 (Gestion & Protection de la Nature) à l'EPLEFPA de St-Paul, Ile de la Réunion

COMPTES RENDUS D'ACTIVITÉS À DESTINATION DES PRODUCTEURS :

- ▶ **Analyse systémique des exploitations productrices de mangues à La Réunion : identification des déterminants influençant les choix techniques et les changements de pratiques des producteurs pour**

la co-conception d'itinéraires techniques innovants apportant une alternative aux pesticides – Présentation synthétique des types d'exploitation. 8p. Marchetti M. (2016).

- ▶ **Compte rendu d'étude de l'effet de différentes modalités de couverture du sol sur la cécidomyie des fleurs du manguier, la phénologie de l'arbre, et sur l'infestation par les mouches des fruits des mangues précocement tombées au sol.** 9p. Brustel L., Soria C., Wilt M., Ratnadass A. (2017).
- ▶ **Evaluation des dynamiques des mouches des fruits, d'abondance/maturation des mangues et des niveaux d'infestation des fruits en vergers de manguiers.** Préterre A.L., Grechi I., Ratnadass A. (2017). 2 x 8p.
- ▶ **Compte rendu de l'analyse des résultats d'enquête et de de classification : identification des profils de production.** Kerdraon M. (2019). 4p+Annexe.

POSTERS/FICHES À VOCATION DE TRANSFERT ET VULGARISATION :

- ▶ **Quels leviers pour maîtriser les mouches des fruits et leurs dégâts sur mangue ?** Grechi I., Caillat A., Préterre A.-L., Brunet-Lecomte C., Ratnadass A. (2019).
- ▶ **Un dispositif de recherche et de formation sur les options agroécologiques de régulation de la cécidomyie des fleurs du manguier.** Ratnadass A., Amouroux P., Billot T., Briandy A., Brustel L., Grechi I., Normand F., Payet R.-M., Reyné B., Saint Criq L., Soria C., Auré A., Wilt M. (2019a).
- ▶ **Quels leviers pour maîtriser les cécidomyies des fleurs et leurs dégâts sur manguier ?** Ratnadass A., Brustel L., Briandy A., Billot T., Grechi I. (2019b).

RAPPORTS D'ÉTUDE / DE STAGE :

- ▶ **Projet Ecoverger – Déterminants des pratiques & indicateurs d'évaluation des systèmes techniques en vergers de manguiers.** Cirad. 22p. Parrot L., Michels T., Brulard N. (2019).
- ▶ **Analyse systémique des exploitations productrices de mangues à La Réunion : Identification des déterminants influençant les choix techniques et les changements de pratiques des producteurs pour la co-conception d'itinéraires techniques innovants apportant une alternative aux pesticides.** Mémoire de fin d'étude, ISTOM, 79p + Annexes. Marchetti M. (2016).
- ▶ **Comprendre les déterminants de la décision technique pour mieux accompagner l'innovation : le cas des producteurs de mangues réunionnais.** Mémoire de fin d'étude, UniLaSalle, 71p + Annexes. Girard G. (2017).
- ▶ **Evaluation des dynamiques des mouches des fruits, de l'abondance/ maturation des mangues et des niveaux d'infestation des fruits en vergers de manguiers et évaluation de la relation entre l'infestation des mangues et leur état de maturité.** Mémoire d'année de césure, AgroParisTech, affiliation FacForPro, 38p + Annexes. Préterre A.-L. (2017).
- ▶ **Effet de la taille sur la croissance végétative et la floraison du manguier Cogshall.** Mémoire d'année de césure, Montpellier SupAgro, 29p. Stahl A. (2017).
- ▶ **Evaluation de l'effet de pratiques culturales (paillage/ enherbement du sol/ récolte prophylactique précoce) en vergers de manguiers (*Mangifera indica* L.) sur la régulation de bio agresseurs de la floraison et de la fructification : les cas de la cécidomyie des fleurs (*Procontarinia mangiferae*) et des mouches des fruits (*Diptera* : *Tephritidae*).** Mémoire de fin d'étude, Ecole d'ingénieurs de Purpan, 95p + Annexes. Brustel L. (2018)
- ▶ **Développement d'un outil pour co-concevoir des itinéraires techniques économes en pesticides en vergers.** Mémoire de Master 2, Université Grenoble Alpes, 29p + Annexes. Girard J. (2018).
- ▶ **Modélisation du système manguier-cécidomyie des fleurs pour une évaluation de modes de gestion du ravageur et de ses dégâts.** Mémoire de Master 2, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 60p + Annexes. Saint Criq L. (2018).
- ▶ **Climate change and the spread of brown rot disease in peach orchards: insights from an epidemiological model.** Mémoire de M2, Politecnico di Milano. 109p. Vanalli C. (2018).
- ▶ **Développement d'une démarche d'analyses statistiques de données d'un réseau pluriannuel d'expérimentations systèmes de culture en vergers de pêcheurs.** Mémoire de fin d'étude, ISPED - Université de Bordeaux, 40p + Annexes. Bostal C. (2019).
- ▶ **Evaluation du potentiel de leviers de gestion cultureux dans la lutte contre la mouche des fruits *Bactrocera dorsalis* (Hendel) sur manguier.** Mémoire de fin d'étude, ISTOM. 80p + Annexes. Brunet-Lecomte C. (2019).
- ▶ **Modélisation du système manguier-cécidomyie des fleurs pour une évaluation de modes de gestion du ravageur et de ses dégâts.** Mémoire de Master 2, Faculté des Sciences de Montpellier, 44p + Annexes. Reyné B. (2019).
- ▶ **Growth and nutrient partitioning in deciduous trees: a modelling framework linking seasonal and inter-annual dynamics.** Mémoire de M2, Politecnico di Milano. 63p. Salvagno P. (2019).
- ▶ **Evaluation de l'effet de pratiques culturales (type de couverture du sol / temps passé au sol par les fruits) et d'états physiologiques (couleur des fruits / état d'abscission / stade de maturité) sur l'infestation des mangues par les mouches des fruits (*Diptera* : *Tephritidae*) à la Réunion.** Mémoire d'année de césure, AgroParisTech, affiliation FacForPro, 36p+Annexes. Lardenois M. (2020).

Lien internet vers le projet : <https://cosaq.cirad.fr/projets/ecoverger>.



Développement d'un nouveau concept en protection des plantes appliqué à la tavelure du pommier

Année de démarrage : 2022

Année de fin : 2024

Responsable scientifique

Bruno Le Cam, **INRAE**, Centre Pays de Loire, **UMR IRHS**, bruno.lecam@inrae.fr

Partenaires

INRAE UMR IRHS, CTIFL, IFPC, UEH d'Angers, UMR SADAPT de AgroParisTech

Financement

Coût total du projet : 450 000 €

Subvention Écophyto : 100 %

Mots clés :

Modification de l'itinéraire technique ; Stimulation des plantes ; Arboriculture ; Évaluation socio-économique ; Gestion par des macro-organismes ; réduction de pesticides

Résumé

La tavelure, causée par le champignon *Venturia inaequalis*, est la principale maladie du pommier dans tous les pays au climat tempéré. La tavelure se manifeste par des taches sur les fruits rendant les pommes impropres à la commercialisation. Les principales variétés commerciales de pommier sont sensibles à cette maladie et les traitements phytosanitaires appliqués en verger pour s'en débarrasser représentent un coût économique et environnemental considérable (jusqu'à 30 applications de fongicides/an contre cette maladie).

Le projet ENFIN! vise à faire la preuve de concept d'un itinéraire technique de rupture visant à provoquer un effondrement drastique de la taille de la population pathogène en verger et ainsi permettre de réduire considérablement le recours aux fongicides. Cet itinéraire s'appuie sur une stratégie de biocontrôle totalement inédite couplant deux inventions brevetées par INRAE (Brevet FR1915276). La première invention rend le champignon non virulent. Nous ciblons la phase sexuée de *V. inaequalis* en le contraignant à se reproduire avec des souches non pathogènes appartenant à une lignée de la même espèce, ce qui a pour conséquence de générer des descendants non virulents au printemps suivant. La deuxième innovation consiste à appliquer au printemps ces mêmes souches non pathogènes pour déclencher une immunité chez le pommier, ce qui le protège contre une attaque ultérieure de tavelure. Le projet vise également à évaluer la durabilité de cet itinéraire en verger (4 sites expérimentaux en France) et à évaluer les conditions d'acceptation et d'appropriation des inventions par la filière pomme.



Tavelure du pommier
Crédit photo : © IINRAE

Appel à projets Écophyto – Maturation (édition 2021) - Leviers mobilisables pour une transition vers un changement de systèmes

Dans le but d'encourager les recherches contribuant à atteindre les objectifs du Plan Ecophyto II+, les Ministères de la Transition Ecologique et Solidaire, de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation, de l'Agriculture et de l'Alimentation, des Solidarités et de la Santé, ont décidé de lancer une seconde édition de l'appel « Ecophyto Maturation ».

Cet appel à projets a pour but de promouvoir la maturation de travaux scientifiques déjà accomplis avec succès dans un programme de recherche antérieur. Le but à atteindre est de mener une solution de rupture à un stade permettant son appropriation à travers des produits, technologies ou des services. Plus précisément, l'objectif de cet appel est d'inciter des consortia rassemblant des chercheurs du monde académique et des acteurs socio-économiques (entreprises, centres et instituts techniques, organismes professionnels, chambres consulaires, associations, etc.), à développer ensemble la tranche des travaux de recherche permettant de proposer une solution dont l'opérationnalité est démontrée en environnement réel et qui réponde aux besoins utilisateurs. Sur l'échelle de maturité TRL étendue 1, il s'agit des niveaux supérieurs ou égaux à 5.

Cet appel à projets est opéré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et cofinancé par l'Office Français pour la Biodiversité (OFB) et l'ANR.



Manipulations de la biodiversité floristique en culture de céréales

Année de démarrage : 2015
Année de fin : 2018

Partenaires
Université de Rennes-CNRS ; INRAE / Agrocampus Ouest ; Institut Sophia Agrobiotech ; INRAE-AgroParisTech ; SA PINAULT ; Ter-Qualitechs ; Dervenn ; LTER Armorique

Responsable scientifique
Joan Van Baaren, CNRS-Université de Rennes
joan.van-baaren@univ-rennes1.fr

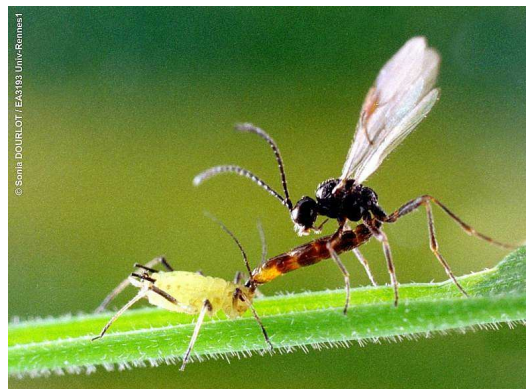
Financement
Coût total du projet : 721 009 €
Subvention Écophyto : 141 748 €

Mots clés :

Aménagement floraux ; Traits floraux ; Régulation biologique ; Ressources trophiques ; Parasitoïdes ; Prédateurs ; Saison hivernale ; Lutte biologique par conservation ; Réchauffement climatique ; Bandes fleuries annuelles et pérennes

Contexte et principaux objectifs

Dans les grandes cultures de céréales, en agriculture conventionnelle, les produits phytopharmaceutiques sont utilisés entre autres dans l'enrobage des semences. Cette utilisation a pour objectif de limiter les populations de pucerons qui transmettent des virus pendant l'hiver. Cependant, ces traitements des semences sont interdits depuis septembre 2018. Sur colza, culture très peu présente en agriculture biologique, les insectes coléoptères ravageurs sont résistants aux insecticides. Le projet FLEUR vise à mettre en place une lutte biologique par conservation dans l'objectif de renforcer l'abondance et la diversité des ennemis naturels des ravageurs grâce à une augmentation de la biodiversité végétale à proximité des champs par l'implantation de bandes fleuries pérennes ou annuelles. Les objectifs du projet FLEUR étaient de (1) déterminer les espèces végétales à assembler pour augmenter l'efficacité des ennemis naturels (2) définir les arrangements spatiaux efficaces pour ces apports floraux par rapport aux cultures à protéger (3) définir les risques liés à ces apports floraux pour les cultures voisines.



Aphidius avenae en train de pondre dans un puceron des épis *Sitobion avenae*.
Crédit photo : © Sonia Dourlot, Université Rennes 1

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

La production principale issue de ce projet est un mélange fleuri composé de quatre espèces de plantes non coûteuses, non salissantes, qui n'attirent pas de ravageurs supplémentaires, qui sont utilisées par des hôtes alternatifs permettant aux populations de parasitoïdes de se développer, qui fleurissent en hiver s'il ne gèle pas (produisant ainsi du nectar utilisable par les parasitoïdes), qui sont attractives pour les parasitoïdes par la couleur dominante jaune de la moutarde et qui créent à proximité de la culture un refuge microclimatique favorable aux arthropodes prédateurs (carabes, staphylins et araignées). Ce mélange est composé de plusieurs variétés de sarrasin susceptibles de s'échelonner sur l'automne, de moutarde qui résiste bien au gel et qui est très attractive, de différentes variétés de féveroles dont les floraisons s'échelonnent entre l'automne et l'hiver et potentiellement de bleuet.

En agriculture conventionnelle, en Bretagne, région de cultures céréalières (blé et maïs en rotation), ce mélange annuel peut s'implanter dans les couverts hivernaux que les agriculteurs mettent en place entre septembre et mars, aux endroits où ils planteront du maïs au printemps. En agriculture biologique, comme les agriculteurs n'implantent pas de couverts hivernaux, une partie de la surface du champ doit être consacrée à l'implantation de la bande fleurie plutôt qu'à la céréale (surface perdue). Les résultats obtenus sont très semblables en agriculture

conventionnelle et biologique, mettant en évidence une absence de risque de l'implantation de ces bandes fleuries à proximité des cultures.

La saison hivernale représente maintenant une période propice à la mise en place de méthodes de lutte biologique par conservation, permettant ainsi de pouvoir envisager les processus de contrôle biologique par la diversité végétale tout au long de l'année. En effet, avec le réchauffement climatique, les ennemis naturels sont maintenant présents toute l'année sur les parcelles et sont dangereux en hiver, période où ils transmettent des virus, comme celui de la Jaunisse Nanisante de l'orge.

Nos résultats mettent en évidence les effets positifs de ces bandes fleuries sur le taux de parasitisme et sur la régulation par prédation des ravageurs des cultures par leurs ennemis naturels, et mettent en évidence l'importance de ces bandes fleuries pour favoriser les populations d'auxiliaires sur toute l'année. La démonstration de l'intérêt d'implanter une bande fleurie annuelle en hiver à proximité des cultures est une première dans le contexte de la lutte biologique par conservation principalement concentrée jusqu'à maintenant sur les saisons de végétation. Par ailleurs, ce projet a aussi permis de mettre en évidence l'intérêt des bandes fleuries pérennes dans le maintien des populations d'ennemis naturels des cultures.



Manipulation hivernale (recherche de pucerons) dans un champ de blé.
Crédit photo : © Ouest-France 05 avril 2018

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Nos résultats montrent l'intérêt de l'implantation d'un mélange fleuri en hiver à proximité des cultures de céréales. En agriculture conventionnelle en Bretagne, qui comporte une rotation de cultures pures blé/maïs, le transfert est relativement simple puisque les agriculteurs doivent mettre obligatoirement en place un couvert hivernal et la plupart des agriculteurs contactés n'étaient pas particulièrement réticents à l'idée d'implanter le mélange proposé sur toute la surface du couvert hivernal. Si cette méthode était adoptée à large échelle, alors il y aurait probablement des effets synergiques à l'échelle du paysage. Il manquerait une production en masse du mélange à commercialiser.

Recherche :

Il faudrait évaluer les bénéfices de la diversité végétale cultivée pérenne ou annuelle à l'échelle des paysages agricoles. Dans le cas des coléoptères ravageurs du colza et des légumineuses, ces insectes et leurs parasitoïdes ne réalisent qu'un seul cycle par an et dispersent fortement dans le paysage. Il en résulte que les bandes pérennes qui favorisent une régulation naturelle voient leurs effets différés dans le temps et dilués dans l'espace, ce qui n'incite guère les agriculteurs à mobiliser ces régulations. Des couverts hivernaux fleuris annuels fréquents dans la mosaïque pourraient avoir des bénéfices non seulement à l'échelle des parcelles voisines, mais aussi à l'échelle du paysage.

Publications et colloques scientifiques :

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ *Agriculture Ecosystems and Environment* (n°247: pp 418-425) : **Change in plant phenology during winter increases pest control but not trophic link diversity.** Damien M, Le Lann C, Desneux N, Alford L, Al-Hassan D, Georges R, Van Baaren J. 2017.
- ▶ *Frontiers in Ecology and Evolution-Population and Evolutionary Dynamics* : **Changes in host-parasitoid communities over the years in cereal crops of Western France: Does climate warming matters ?** Tougeron K, Damien M, Le Lann C, Brodeur J & van Baaren J. 2018.
- ▶ *Behavioral Ecology and Sociobiology* (73:156) : **Food or host : do physiological state and flower type affect foraging decisions of parasitoids ?** Damien M, Barascou L, Ridet A, Van Baaren J, Le Lann C 2019. <https://doi.org/10.1007/s00265-019-2758-9>
- ▶ *Entomologia generalis* (40(2): 147 – 156) : **How does floral nectar quality affect life history strategies in parasitic wasps ?** Damien M, Llopis S, Desneux N, Van Baaren J and Le Lann C. 2020. Art No. ESP146004002003 DOI: 10.1127/entomologia/2020/0906S

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ *Science ouest* (n° 341, Avril 2016) : **Des fleurs contre les pesticides.** <http://www.espace-sciences.org/sciences-ouest/341/actualite/des-fleurs-contre-les-pesticides>
- ▶ *Horizon* (n°130, Avril/Mai 2016) : **Les parasitoïdes, des alliés actifs en hiver à favoriser.**

LIPOCONTROLE

Recherche de nouveaux lipopeptides utilisables comme biopesticides, par criblage d'une collection de *Pseudomonas*

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2020

Responsable scientifique

Alice Rochex, Université de Lille
alice.rochex@univ-lille.fr

Partenaires

Université de Lille ; INRAE ; JUNIA ; ULCO ; Lipofabrik

Financement

Coût total du projet : 254 261 €
Subvention Écophyto : 100 000 €

Mots clés :

Produit de biocontrôle ; Grandes cultures ; Substances naturelles ; Lipopeptides ; *Pseudomonas syringae* ; Criblage haut débit, Maladies cryptogamiques

Contexte et principaux objectifs

Les champignons phytopathogènes font partie des principaux bioagresseurs des grandes cultures. Actuellement, la protection des plantes repose essentiellement sur l'utilisation des variétés résistantes et sur l'usage des pesticides chimiques. Le développement des produits de biocontrôle pour la protection des plantes est souhaité pour une agriculture plus durable et plus respectueuse de l'environnement et de la santé humaine. Parmi ces produits, les substances naturelles, essentiellement représentées par les produits soufrés ou d'origine végétale, occupent 63 % du marché (en chiffre d'affaires, IBMA France 2019). Bien que peu représentées, les substances naturelles d'origine microbienne, telles que les lipopeptides produits par les bactéries des genres *Bacillus* et *Pseudomonas*, ont démontré un potentiel de biocontrôle des maladies fongiques. L'objectif du projet LIPOCONTROLE est de rechercher de nouveaux lipopeptides utilisables comme agents de biocontrôle, en complément ou en substitution des pesticides chimiques, contre divers champignons responsables de maladies cryptogamiques d'intérêt économique majeur.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Le projet LIPOCONTROLE a permis d'identifier plusieurs nouveaux lipopeptides extraits de culture de bactéries *Pseudomonas*, efficaces contre une large gamme d'agents pathogènes fongiques :

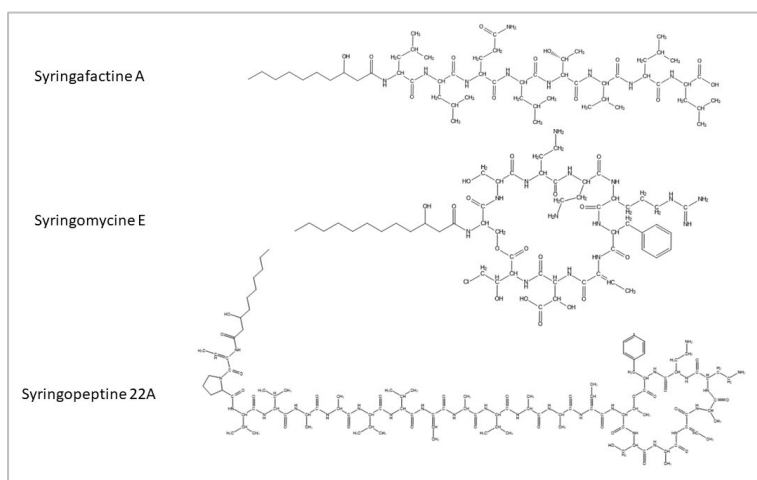


Figure 1 : Structures de lipopeptides produits par des souches du complexe *P. syringae*. Les lipopeptides, linéaires ou cycliques, ont tous un acide gras hydrophobe et une chaîne peptidique hydrophile.

Crédit image : © Alice Rochex, Université de Lille

- ▶ *Botrytis cinerea* (responsable de la pourriture grise sur de nombreuses espèces végétales dont la vigne et la tomate)
- ▶ *Sclerotinia sclerotiorum* (responsable de la pourriture blanche ou sclérotiniose sur de nombreuses espèces végétales dont le colza et le tournesol)
- ▶ *Zymoseptoria tritici* (responsable de la septoriose du blé)
- ▶ *Phytophthora infestans* (responsable du mildiou de la pomme de terre et de la tomate)
- ▶ *Blumeria graminis f.sp. tritici* (responsable de l'oïdium du blé)
- ▶ *Oidium neolycopersici* (responsable de l'oïdium de la tomate)

Ces nouveaux lipopeptides pourront devenir des matières actives de futurs produits de biocontrôle efficaces pour protéger les grandes cultures telles que les céréales, les oléagineux et la vigne vis-à-vis des principales maladies fongiques. Ces produits à activité biofongicide, entrant dans la catégorie des substances naturelles du biocontrôle, pourraient être utilisés en complément ou en substitution des fongicides de synthèse chimique. Les résultats du projet LIPOCONTROLE, en apportant de nouvelles substances naturelles biofongicides, contribuent à l'essor du biocontrôle et à la diminution des produits phytosanitaires conventionnels.

L'utilisation d'une molécule offre plusieurs avantages par rapport à l'utilisation d'une bactérie vivante. Elle permet, d'une part, d'éviter les contraintes liées à la conservation de la viabilité lors du conditionnement, de la formulation et de l'application au champ et, d'autre part, d'assurer une efficacité de traitement constante. Ces molécules formulées sous forme liquide peuvent donc être utilisées et stockées comme un produit phytosanitaire classique sans contraintes supplémentaires par rapport aux pratiques actuelles.

La première limite de ces résultats est que l'efficacité des biomolécules a été prouvée seulement *in vitro* pour *B. cinerea* et *S. sclerotiorum*, et *in vitro* et sous serre pour *Z. tritici*, *P. infestans*, *B. graminis f. sp. tritici* et *O. neolycopersici*. Pour *B. cinerea* et *S. sclerotiorum*, il sera nécessaire de développer un protocole adapté à la réalisation de tests *in planta*. Pour tous les pathosystèmes étudiés, l'efficacité des lipopeptides identifiés devra être validée au champ.

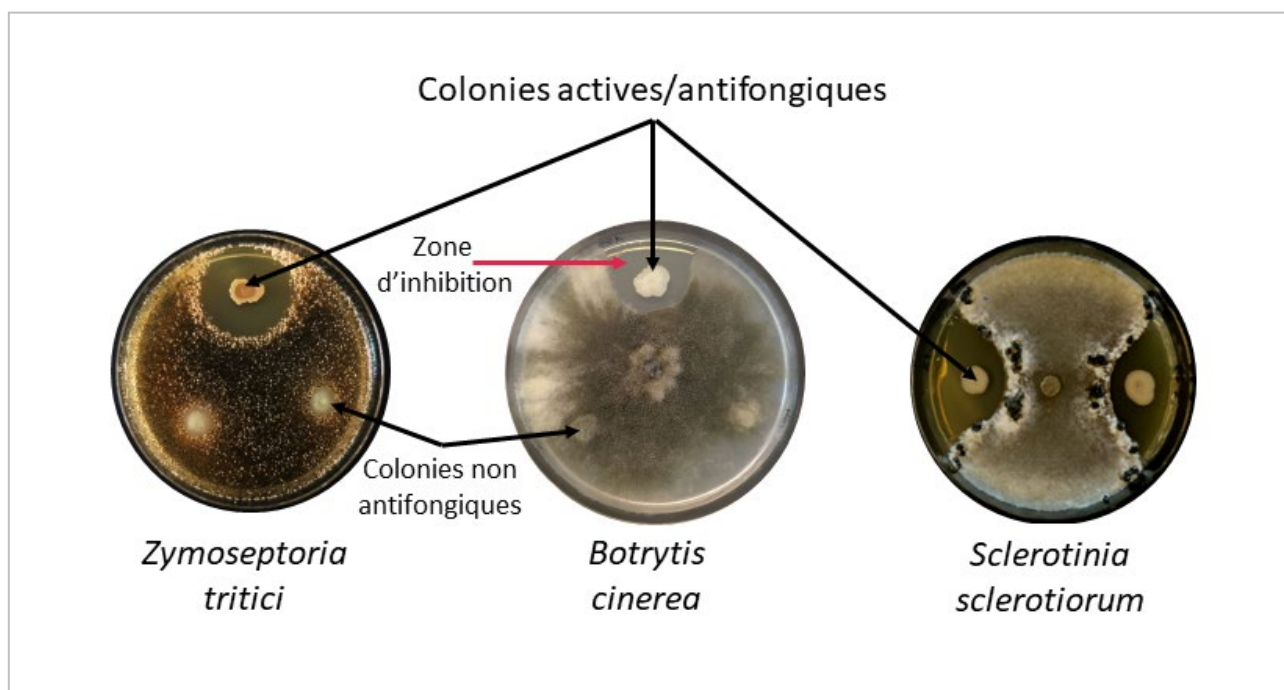


Figure 2 : Tests d'évaluation de l'activité antifongique de bactéries *P. syringae* en laboratoire. Les bactéries antifongiques inhibent la croissance des champignons (zone d'inhibition). Crédit photo : © Alexandre Bricout, Université de Lille

La deuxième limite de ces résultats est que les lipopeptides ont été produits uniquement à l'échelle du laboratoire (100 mL à 2 L). Il sera nécessaire pour la suite de concevoir et développer un procédé de production et d'extraction à plus grande échelle de ces biomolécules pour, d'une part, être capable de produire suffisamment de molécules pour évaluer leur efficacité au champ et, d'autre part, démontrer la faisabilité de leur production à l'échelle industrielle.

Enfin, le développement d'un nouveau produit de biocontrôle à base de lipopeptides nécessitera d'évaluer leur niveau de toxicité, d'écotoxicité et de durabilité et de mettre au point une formulation assurant leur bonne conservation et efficacité de protection sur plante.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Les lipopeptides de *Pseudomonas* sont des produits de biocontrôle très prometteurs mais un important verrou technologique limite actuellement la possibilité de leur production à l'échelle industrielle : ils sont produits en faible quantité par les bactéries. Lorsque le procédé de production et de purification sera mis au point, les résultats du projet pourront être transférés à l'entreprise Lipofabrik, spécialisée dans la production de lipopeptides.

Recherche :

Les travaux de LIPOCONTROLE se prolongent dans le projet ANR-19-ECOM-0007 CERES (27 avril 2020 - 27 octobre 2023), projet porté par ULille et financé par l'APR ANR Écophyto Maturation 2019. Le projet CERES a pour objectif de démontrer à un niveau terrain que des produits à base d'extraits de culture de bactéries *Pseudomonas* contenant des lipopeptides constituent une solution fonctionnelle de biocontrôle contre la septoriose du blé.

Publications et colloques scientifiques :

PUBLICATION SCIENTIFIQUE :

- ▶ ***The diversity of lipopeptides in the P. syringae complex parallels phylogeny and sheds light on structural diversification during evolutionary history.*** Bricout A., Morris C.E., Chandeysson C., Boistel C., Chataigné G., Lecouturier D., Jacques P., Leclère V., Rochex A. Publication soumise.

THÈSE DE DOCTORAT :

- ▶ ***Mise en évidence d'une forte diversité structurale de lipopeptides chez P. syringae, un complexe bactérien aux activités antifongiques prometteuses.*** Bricout A. (2020). Ademe - Université de Lille

COLLOQUES SCIENTIFIQUES (COMMUNICATIONS ORALES) :

- ▶ **Online conference, 16/06/2020, Akureyri, Islande.** *Deciphering the structural diversity of lipopeptides produced by strains of the P. syringae complex. P. syringae.* Bricout A., Morris C.E., Bardin M., Nicot P., Chataigné G., Lecouturier D., Jacques P., Leclère V., Rochex A.
- ▶ **14th IUPAC International Congress of Crop Protection Chemistry. 19-24/05/2019, Gand, Belgique :** *Screening of Pseudomonas sp. strains for the biocontrol of septoria tritici blotch of wheat.* Bricout A., Morris C.E., Bardin M., Nicot P., Chataigné G., Siah A., Lecouturier D., Jacques P., Leclère V., Rochex A.
- ▶ **Conférences autour du Biocontrôle. 04/04/2019, Reims, France :** *Stratégies de criblage pour la découverte et la caractérisation de lipopeptides antifongiques utilisables comme agents de biocontrôle.* Bricout A., Morris C.E., Bardin M., Nicot P., Chataigné G., Siah A., Lecouturier D., Jacques P., Leclère V., Rochex A.
- ▶ **Journées Jeunes Chercheurs Condorcet. 18-19/01/2018, Amiens, France :** *Développement de stratégies de criblage pour la recherche de lipopeptides antifongiques utilisables comme biopesticides.* Bricout A., Morris C.E., Bardin M., Nicot P., Chataigné G., Jacques P., Leclère V., Rochex A.



Renforcement de l'installation de *Macrolophus pygmaeus*, punaise prédatrice des aleurodes, acariens, pucerons...

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2018

Partenaires

GRAB ; SERAIL ; APREL ; Chambre d'Agriculture des Bouches du Rhône ; INRAE UE Alénya Roussillon

Responsable scientifique

Jérôme Lambion, GRAB
jerome.lambion@grab.fr

Financement

Coût total du projet : 198 550 €
Subvention Écophyto : 99 233 €

Mots clés :

Gestion par des macro-organismes ; Reconception du système de culture ; Biodiversité fonctionnelle ; Cultures légumières ; Plante-hôte ; *Macrolophus* ; Plante de service ; Travail de co-conception avec les agriculteurs

Contexte et principaux objectifs

Macrolophus pygmaeus est une punaise prédatrice utilisée depuis une vingtaine d'années pour lutter contre les aleurodes sur tomate. Cette punaise très polyphage, indigène du Sud de la France, peut aussi réguler les populations d'acariens tétranyques, de pucerons, de noctuelles et de *Tuta absoluta*, sous réserve que la culture soit peu ou pas traitée. Cet auxiliaire incontournable est cependant très coûteux et son installation est difficile.

Le projet Macroplus a visé à travailler ces deux derniers aspects à travers la mise au point de techniques permettant d'obtenir *M. pygmaeus* en nombre important, à coût réduit, de façon précoce. Le projet Macroplus a associé fortement des producteurs motivés et curieux aux expérimentations envisagées. Au niveau des expérimentations, les techniques ont reposé sur l'utilisation de plantes-hôtes de *M. pygmaeus*, comme le souci officinal. Ces plantes ont été étudiées en tant que zones refuges hivernales, ou de plantes relais.

L'enjeu du projet Macroplus est, qu'au-delà de la fourniture de références techniques, l'implication des producteurs soit renforcée, afin qu'ils participent à la construction d'une lutte biologique où ils seront acteurs, pas simplement clients d'un fournisseur.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Parmi la vingtaine d'espèces testées au GRAB depuis 2007, le souci (*Calendula officinalis*) s'est révélé le plus intéressant pour favoriser la présence de *Macrolophus*. Cette plante rustique permet à *Macrolophus* de s'alimenter, car celui-ci peut prélever de la sève en piquant les tiges de soucis et se nourrir du pollen des fleurs. *Macrolophus* peut aussi y trouver des proies. Des observations en plein hiver ont montré qu'à l'extérieur et à l'intérieur des abris, *Macrolophus* était présent et actif sur le souci, et qu'il pouvait s'y reproduire pendant cette période pourtant défavorable.



Larves et adultes de *Macrolophus* sur souci.
Crédit photo : © SERAIL

Au cours du projet, la stratégie a consisté à travailler les bandes fleuries de souci en tant que refuges hivernaux pour les punaises prédatrices. Les essais mis en place chez les producteurs se sont montrés concluants. Des pieds de soucis ont été plantés ou semés au pied des bâches plastiques, à l'intérieur des tunnels plastiques non chauffés, avant l'arrachage de la culture d'automne. Ces soucis peuvent recueillir, héberger et multiplier les *Macrolophus* pendant l'hiver ; ils servent alors de source de *Macrolophus* au printemps suivant. Les cultures des tunnels bordés de pieds de soucis présentaient plus de *Macrolophus* et moins de ravageurs que les tunnels sans soucis. Des essais complémentaires ont prouvé que l'arrachage ou la fauche des pieds de soucis permettait de forcer le transfert des *Macrolophus* dans la culture au moment opportun, et d'homogénéiser les effectifs de *Macrolophus* dans la culture, renforçant l'efficacité du contrôle biologique.



Tiges de soucis portant des *Macrolophus* coupées et disposées dans la culture.
Crédit photo : © GRAB

Le transfert des tiges de souci portant *Macrolophus* est très simple et peut être réalisé dans le même tunnel ou dans un nouveau tunnel. Il convient évidemment d'ajuster les quantités de rameaux de soucis prélevés en fonction des effectifs de *Macrolophus* sur souci. L'enjeu est vraiment qu'il n'y ait pas de rupture dans la fourniture d'habitat et de nourriture aux auxiliaires, que ce soit sur une plante compagne (le souci) ou sur la culture.

Quand la plantation/semis des soucis en terre n'est pas envisageable, les soucis peuvent servir de plante-relais. Ils sont alors semés ou plantés dans des pots ou des caisses. Ces pots sont disposés dans les tunnels de tomate, au moment de leur arrachage. *Macrolophus* se réfugie alors sur les soucis, car la tomate desséchée n'est plus attractive. Ces pots sont placés dans un tunnel (pas forcément chauffé) pendant l'hiver, et régulièrement arrosés. La mise en place d'un filet insect-proof (ou P17 dans les régions plus froides) sur ces pots permet de confiner les populations de *Macrolophus* et/ou de protéger plantes et insectes du froid.

Au printemps, après avoir vérifié la présence de *Macrolophus* et l'absence de ravageurs (*Nesidiocoris*, aleurodes par exemple) sur les soucis, les pots sont disposés très tôt dans la culture à protéger. L'utilisation de pots est ainsi plus compatible avec les traitements insecticides sur cultures d'hiver et la solarisation éventuelle en été. Elle permet aussi le déplacement facile d'un tunnel à l'autre pour tenir compte des rotations culturales.

Les résultats obtenus dans différents contextes de production (AB ou conventionnelle, zones pédoclimatiques différentes) sont concordants et permettent ainsi de tirer des conclusions fiabilisées. La réussite de stratégies basées sur celles travaillées dans *Macrolophus* dans d'autres régions de France renforce encore la validité des résultats. Ces références ont été acquises dans un contexte de production en sol, sous abri froid.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Le transfert a déjà largement commencé, grâce à l'implication des producteurs dans le projet. Cette implication a été facilitée par les relations étroites qu'entretiennent les stations d'expérimentation avec la profession. La mise en place de suivis allégés chez certains producteurs et le relais assuré par des réseaux Dephy Fermes ont permis d'amplifier la valorisation des conclusions du projet, au-delà des sites expérimentaux. Dès le début du projet, la préoccupation de prendre en compte les attentes et contraintes des producteurs a permis de travailler des stratégies réalistes, facilitant ainsi un transfert rapide sur le terrain.

Recherche :

Malgré les ambitions affichées, les limites budgétaires ont imposé des choix. Les cultures d'hiver n'ont par exemple pas été suivies, alors que *Macrolophus*, encore actif dans les bandes fleuries à cette période, pourrait être mobilisé dans la régulation de certains ravageurs (ex : pucerons sur salade). Les références acquises dans le projet l'ont été dans un contexte de production sous abri non chauffé, en sol. Les contraintes de production en hors-sol sont différentes. *Macrolophus* est un auxiliaire incontournable dans ces systèmes, avec un coût important. Il serait ainsi très intéressant de chercher à transposer les acquis de *Macrolophus* pour la production hors-sol. De même, travailler sur d'autres couples plantes-hôtes/auxiliaires comme *Géranium/Dicyphus* pourrait permettre de renforcer la stabilité de l'agroécosystème. Le projet CASDAR ACOR démarré en 2020 a d'ailleurs repris ces objectifs.

Publications et colloques scientifiques :

Les actions de diffusion ont été très nombreuses. Elles ont principalement visé producteurs et techniciens (journaux professionnels, visites, colloques et participations à des réunions techniques). Certaines opérations de valorisation ont concerné plutôt des partenaires scientifiques (colloque Ecophyto, GTN biodiversité fonctionnelle, GTN PBI). Les résultats du projet ont aussi été intégrés dans des formations concernant la biodiversité fonctionnelle et la Protection Biologique et Intégrée.

ARTICLES DE VULGARISATION/VALORISATION :

- ▶ Culture Légumière (n°158 mars avril 2017) : **Favoriser *Macrolophus pygmaeus*, un auxiliaire indigène**
- ▶ Biofil (n°111 mai juin 2017) : **Lutte biologique sous abri : optimiser *Macrolophus pygmaeus***
- ▶ Serre et plein champ (n°378 juin 2017) : **Utilisation des soucis comme refuge hivernal pour les *Macrolophus***
- ▶ Phytoma n°724 mai 2019 : ***M. pygmaeus*, une punaise pleine de ressources**

FICHES TECHNIQUES :

- ▶ Fiche technique Ressources septembre 2018 : **Le souci, plante-hôte de *Macrolophus* 4p.**



Évaluation du risque de la résistance multidrogues chez l'agent de la septoriose du blé *Zymoseptoria tritici*

Année de démarrage : 2016

Année de fin : 2019

Partenaires

INRAE UMR BIOGER ; Anses ; Arvalis

Responsable scientifique

Anne-Sophie Walker, INRAE UMR BIOGER
anne-sophie.walker@inrae.fr

Financement

Coût total du projet : 358 494 €
Subvention Écophyto : 103 120 €

Sabine Fillinger, INRAE UMR BIOGER

sabine.fillinger@inrae.fr

Mots clés :

Efflux ; Adaptation ; Fongicides ; Mécanisme de résistance ; Génétique ; Croisement ; Efficacité au champ ; Gestion des résistances des bioagresseurs ; Grandes cultures

Contexte et principaux objectifs

La septoriose du blé, causée par *Zymoseptoria tritici* est la première maladie affectant le blé en Europe. La lutte contre cette maladie consiste principalement en l'application de fongicides comportant cependant, comme effet non intentionnel, la sélection d'individus résistants dans les populations. Un nouveau mécanisme, associé à un phénotype de résistance multidrogues (MDR), a été détecté dès 2007, sans que l'architecture génétique ne soit totalement élucidée. La MDR est provoquée par efflux accru de fongicides de modes d'action divers, et conduit à une résistance non spécifique à de nombreuses matières actives. En tant que mécanisme généraliste, l'efflux accru peut également potentiellement impacter les matières actives, d'origine synthétique ou naturelle, qui seront prochainement mises sur le marché. L'enjeu de ce projet est de promouvoir des pratiques d'utilisation des antifongiques au sens large limitant la sélection de la MDR, afin de préserver leur durabilité et d'éviter les applications inefficaces ou inutiles.

Dans ce contexte, les objectifs de MDRisque étaient de :

1. Démontrer formellement l'implication des mutations MDR identifiées précédemment dans le phénotype MDR
2. Détecter et quantifier les mutations MDR dans les populations
3. Evaluer le risque de résistance en pratique lié au mécanisme MDR chez *Z. tritici*.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Le travail réalisé dans le cadre du projet MDRisque a permis de mieux décrire l'origine et les caractéristiques de la résistance multi-drogues (MDR) chez le pathogène majeur du blé *Z. tritici*. Par une approche de génétique fonctionnelle, nous avons validé que trois types d'inserts du promoteur *MFS1* sont responsables du mécanisme d'efflux accru de fongicides chez *Z. tritici* et, ainsi, du phénotype MDR. Nous avons développé un outil de détection par PCR de ces allèles sur souches isolées. Un outil de quantification basé sur la technique de séquençage d'amplicons par la technologie Nanopore® fonctionne en routine mais nécessite encore des optimisations.

Par une approche de génétique mendélienne et le phénotypage des descendants issus de deux croisements, nous avons également montré que la combinaison des mécanismes d'efflux et de modification de la cible, déjà très fréquents dans les populations, augmente significativement le risque de résistance en pratique aux fongicides SDHI et IDM. Ce risque d'association entre des mécanismes de résistance spécialiste et généraliste est fort et réaliste *in natura* du fait de la reproduction sexuée fréquente et intense chez *Z. tritici*. Paradoxalement, la recombinaison accentuerait principalement le risque associé aux allèles présentant de faibles niveaux de résistance aux SDHI (comme l'allèle *sdhC*^{79N}, en augmentation régulière dans les populations françaises). En effet, si le risque de résistance en pratique est faible pour des souches portant ce seul allèle ou les allèles *MFS1*, leur combinaison permet d'atteindre des niveaux de résistance compatibles avec une perte d'efficacité au champ. Par ailleurs, il n'a

pas été détecté de coût particulièrement important, associé à chacun des cinq allèles de résistance étudiés dans ce projet, qu'ils soient portés seuls ou en combinaison. Ceci réduit la possibilité d'une diminution naturelle de la fréquence de ces allèles, en absence de sélection.

Finalement, nous avons montré que la MDR était sélectionnée préférentiellement dans un réseau d'essais au champ par des programmes à base de SDHI. Nous avons également montré que l'introduction dans les programmes, en particulier au T1, d'un multisite comme le chlorothalonil, non concerné par ces mécanismes de résistance, était de nature à réduire la sélection de la MDR.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Ce projet a permis de faire prendre conscience par les acteurs du terrain du risque indirect lié aux mécanismes de résistance généralistes comme l'efflux accru. Ce risque concerne les matières actives utilisées actuellement, mais possiblement celles qui seront mises sur le marché dans le futur, y compris certains fongicides de biocontrôle. L'identification des pratiques favorisant la MDR a renforcé le raisonnement sur l'optimisation des stratégies de traitement, notamment en limitant l'utilisation des SDHI dans les programmes, et accompagne la transition vers d'autres méthodes de lutte, notamment variétale. La MDR est surveillée annuellement dans les populations françaises via l'utilisation des outils de diagnostic développés dans ce projet.

Recherche :

Le projet MDRisque a été associé à la formation d'un apprenti ingénieur pendant 3 ans.

Ce projet a démontré l'intérêt d'étudier les mécanismes de résistance non liés à la cible en phytopathologie, l'efflux accru étant principalement étudié par la communauté médicale. Les données obtenues sont également utilisées pour expliquer les dynamiques adaptatives spatio-temporelles observées chez *Z. tritici*.

Enfin, ce projet a permis l'émergence d'un projet de thèse (en cours) visant à caractériser la distribution des allèles *MFS1* dans les populations européennes et à élucider les mécanismes génétiques de la régulation de l'efflux accru chez *Z. tritici*.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ Walker A-S. (2019). **Research, monitoring and resistance management in France**. In: Annual meeting of the Phytopathological Society of Japan, Tokyo, Japan.
- ▶ Walker A-S. (2019). **Assessing the risk of resistance towards SDHIs in France**. In: Plant Health 2019, American Society of Phytopathology, Cleveland, USA.
- ▶ Couleaud G., Walker A-S., Maumené C. (2015). **Etude au champ de l'efficacité de la pression sélective exercée par des associations fongicides sur la sensibilité des populations de *Zymoseptoria tritici* ces dernières années en France**. In: *Proceedings of the "11^{ème} Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes"* (ed. AFPP), Tours (France).
- ▶ Omrane S., Audéon C., Ignace A., Duplaix C., Sghyer H., Aouini L., Kema G., Fillinger S., Walker A-S. (2015). **La résistance de type MDR chez l'agent de la septoriose du blé: dernières avancées sur un mode d'action original**. In: "11^{ème} Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes", Tours (France).
- ▶ Couleaud G., Maumené C., Maufras J-Y., Walker A-S. (2018). **Prévenir la sélection de la résistance MDR chez *Zymoseptoria tritici***. In: *Proceedings of the « 12^{ème} conférence internationale sur les maladies des plantes »* (ed. Végéphy). Tours, 11 et 12 décembre 2018.
- ▶ Gazeau G. and Walker A-S. (2018). **Mécanisme de la résistance multidrogues (MDR) et prévention du risque de résistance aux anti-septoriose chez *Zymoseptoria tritici***. In: *Proceedings of the « 12^{ème} conférence internationale sur les maladies des plantes »* (ed. Végéphy). Tours, 11 et 12 décembre 2018.
- ▶ Omrane S., Audéon C., Ignace A., Duplaix C., Sghyer H., Aouini L., Kema G., Walker A-S., Fillinger S. (2016). **Several mutations of *Zymoseptoria tritici* field strains lead to *MFS1* overexpression and multi-drug resistance (MDR)** (poster). In: 18th International Reinhardtsbrunn Symposium on Modern Fungicides and Antifungal Compounds, Friedrichroda (Germany).
- ▶ Walker A-S., Gazeau G. (2019). **Mechanism of multidrug resistance and risk assessment towards fungicides in *Zymoseptoria tritici***. In: 19th International Reinhardtsbrunn Symposium on Modern Fungicides and Antifungal Compounds, edited by H. B. Deising, B. Fraaije, A. Mehl, E. C. Oerke, H. Sierotzki and G. Stammler. Friedrichroda, Germany: Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, Braunschweig.
- ▶ Omrane S., Audéon C., Ignace A., Duplaix C., Sghyer H., Aouini L., Kema G., Walker A-S., Fillinger S. (2015). **Genetic analysis of multi-drug resistance (MDR) in *Mycosphaerella graminicola* (*Zymoseptoria tritici*)** In: 28th Fungal Genetics Conference, Asilomar, USA.

- ▶ Omrane S., Audéon C., Ignace A., Duplaix C., Sghyer H., Aouini L., Kema G., Walker A-S., Fillinger S. (2015). **Multi-drug resistance (MDR) in septoria leaf blotch** (oral pres.). In: *XVIII International Plant Protection Congress, Berlin (Germany)*.
- ▶ Walker A-S., Gazeau G. (2019). **Mechanism of multidrug resistance and risk assessment towards fungicides in *Zymoseptoria tritici***. In: *International Symposium on Cereal Leaf Blights, 22-24 May 2019, Dublin, Ireland*.
- ▶ Gazeau G., Auclair C., Delestre G., Suffert F., Walker A-S. (2016). **Assessing the risk of recombination between MDR and specific resistance towards SDHs in *Zymoseptoria tritici***. In: *18th International Reinhardtsbrunn symposium on modern fungicides and antifungal compounds, Friedrichroda, Germany*.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ Omrane S., Audéon C., Ignace A., Duplaix C., Aouini L., Kema G., Walker A-S., Fillinger S. (2017). **Plasticity of the MFS1 promoter leads to multidrug resistance in the wheat Pathogen *Zymoseptoria tritici***. *mSphere* 2 (5).
- ▶ Garnault M., Duplaix C., Leroux P., Couleaud G., Carpentier F., David O., Walker A-S. (2019). **Spatiotemporal dynamics of fungicide resistance contrast quantitatively in the pathogenic fungus *Zymoseptoria tritici***. *Pest Management Science* 75 (7), 1794-1807.
- ▶ Gazeau G., Duplaix C., Walker A-S. (*in prep*) **Assessing the risk of recombination between MDR and specific resistance towards SDHs in *Zymoseptoria tritici***.

AUTRES VALORISATIONS :

- ▶ Notes communes « Gestion de la résistance des maladies des céréales à paille ». <https://www.r4p-inra.fr/fr/notes-communes/>



Mildiou de la pomme de terre : recherche et maîtrise des produits de biocontrôle dans un schéma de protection intégrée des cultures

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2018

Responsable scientifique

Marie Turner, **VEGENOV**
turner@vegenov.com

Partenaires

VEGENOV ; INRAE UMR IGEPP ; ARVALIS Institut du végétal ; Bretagne Plants Innovation

Financement

Coût total du projet : 235 561 €
Subvention Écophyto : 104 950 €

Mots clés :

Biocontrôle ; Mildiou ; Pomme de terre ; Combinaison de leviers ; Protection intégrée ; Résistance variétale

Contexte et principaux objectifs

Le mildiou (causé par *Phytophthora infestans*) est le principal bio-agresseur des cultures de pommes de terre en France. Face à ce pathogène, la lutte chimique conventionnelle reste largement employée conduisant à un IFT important sur cette culture (IFT fongicide > 10). Au démarrage du projet, aucune solution de biocontrôle n'était disponible.

Le projet MilPomBio a eu pour objectif d'identifier des produits de biocontrôle efficaces contre le mildiou, pour les proposer aux producteurs. Ces produits ont été intégrés dans des itinéraires techniques, en association avec d'autres produits phytosanitaires à dose réduite, avec l'usage de variétés plus résistantes et de l'OAD Mileos pour positionner au mieux les traitements. En conditions de production en plein champ, cela a permis d'atteindre des niveaux de symptômes compatibles avec des rendements satisfaisants et de réduire les IFT.

Une des difficultés rencontrées est le transfert des résultats entre les conditions contrôlées et le plein champ, avec une baisse très importante des efficacités de protection notée en passant de l'une à l'autre.



Essais en conditions contrôlées.
Crédit image : © MMedia

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

La première phase du projet MilPomBio a consisté à évaluer l'efficacité de protection de la pomme de terre vis-à-vis du mildiou pour une quarantaine de produits de biocontrôle (extraits d'algues, extraits de plantes, microorganismes, éléments minéraux, composés organiques, phosphites) en conditions contrôlées et inoculation artificielle. Dans ces conditions, une quinzaine de produits se sont montrés efficaces pour faire diminuer les symptômes.

Les produits les plus intéressants ont été sélectionnés pour :

- 1) Mieux comprendre leur mode d'action (stimulation des défenses des plantes et/ou effets directs sur le pathogène)
- 2) Étudier l'efficacité de ces produits au champ en interaction avec le niveau de résistance génétique et l'architecture de la plante
- 3) Évaluer l'efficacité de protection aux champs en association avec une dose réduite de fongicide sur une variété.

Un criblage en plein champ a donc été réalisé avec les produits dont l'efficacité a été démontrée en chambres de culture. Un produit à base d'extrait de plantes mais contenant aussi du cuivre a permis d'induire une protection efficace. Ne pouvant intégrer la liste des produits de biocontrôle, il a été écarté de notre étude. Plusieurs produits contenant des phosphites ont également montré une efficacité de protection intéressante en plein champ.

Un travail a été réalisé sur l'importance de l'architecture foliaire dans le développement de la maladie et l'efficacité des produits de biocontrôle. En conclusion, une architecture plus aérée défavorise la maladie. Sur les 4 génotypes étudiés, le même produit à base de phosphite induit les meilleurs résultats. L'effet de l'architecture est visible mais limité, aucune interaction entre efficacité des produits de biocontrôle et architecture foliaire a été mise en évidence.

La dernière étape du projet a consisté à évaluer, en conditions de production, plusieurs stratégies de protection intégrée, associant variétés présentant des niveaux de résistance variables, OAD Miléos, produit de biocontrôle et fongicides susceptibles d'apporter un niveau de maladie acceptable. Ce travail a été réalisé sur deux sites différents en termes de conditions pédoclimatiques. Un produit a également été évalué sur une dizaine de variétés afin d'approfondir la question de l'interaction avec la génétique de la plante.

En conclusion de ce projet, l'utilisation de l'ensemble des leviers a permis une diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires conventionnels pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre. En particulier, les résultats obtenus avec des produits de biocontrôle à base de phosphites sont encourageants et ont permis une diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires conventionnels, de 40 à plus de 90% selon les variétés. Ces produits présentent une efficacité de protection vis-à-vis du mildiou pour toutes les variétés évaluées dans nos expérimentations, en particulier sur celles présentant des résistances partielles à fortes.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Dans le cadre du consortium biocontrôle, notamment le réseau XP-BC sur les mildious, les résultats prometteurs seront communiqués et des essais pourront être réalisés sur d'autres cultures.

Des partenariats avec l'industriel développant les phosphites efficaces sont engagés et devraient permettre l'homologation de cette solution en pomme de terre, voire son extension à d'autres filières.

Un travail sur la quantification de matière active pulvérisée a été effectué. Il a été étendu à d'autres filières et les protocoles mis en place ont permis d'aider les producteurs à mieux appréhender cette problématique dans une logique de réduction et d'optimisation de la quantité de produits pulvérisés.

Recherche :

Ces perspectives concernent différents aspects du projet. Une meilleure compréhension du mode d'action des phosphites permettrait d'optimiser leur utilisation en plein champ. Notamment l'étude de l'interaction entre génétique de la plante et produits de biocontrôle devra être poursuivie.

La recherche d'autres produits de biocontrôle paraît encore aujourd'hui essentielle pour élargir l'offre aux producteurs. Continuer à mieux comprendre pourquoi les résultats obtenus en conditions contrôlées ne sont pas transférables au plein champ est également crucial pour le développement du biocontrôle. Les recherches sur la combinaison des leviers de la protection intégrée doivent être poursuivies.

Publications et colloques scientifiques :

- ▶ **Phytoma (n° 721 février 2019) : « Lutte contre le mildiou : allier le biocontrôle à d'autres méthodes (Projet MilPomBio) ».** A. MENIL, J-E. CHAUVIN, R. PELLE, M. BOUSSEAU, D. GAUCHER, G. BEAUVALLET, C. MAUMENE, D. ANDRIVON, C. PASCO, F. VAL, A. BARBARY et M. TURNER
- ▶ **Potato Planet (n°39, Juillet 2016, p. 82-83) : « Traitements alternatifs. Vegenov teste de nouveaux produits de biocontrôle »** - M. TURNER, A. MENIL

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Congrès de l'AFPP « Conférence internationale sur les maladies des plantes ». 10-12/12/2018, Tours :** « Mildiou de la pomme de terre : recherche et maîtrise des produits de biocontrôle dans un schéma de protection intégrée des cultures (projet MilPomBio) ». Communication orale.
- ▶ **Congrès « Natural Product and Biocontrol ». 25-28/09/2018, Perpignan :** « Mildiou de la pomme de terre : recherche et maîtrise des produits de biocontrôle dans un schéma de protection intégrée des cultures (projet MilPomBio) ». Communication orale.



Nouveaux Agents Bio-marins Utilisables en COntôle biologique

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2018

Responsable scientifique

Thomas Guillemette, UMR 1345 IRHS Université d'Angers, thomas.guillemette@univ-angers.fr

Partenaires

UMR 1345 IRHS Université d'Angers ; EA 2160 MMS Université de Nantes ; Société AGRAUXINE by Lesaffre

Financement

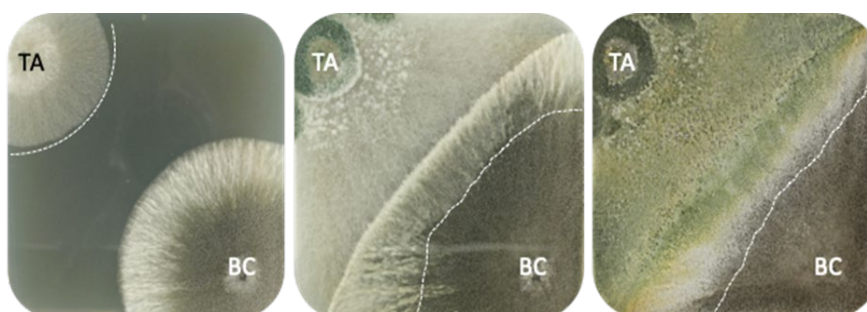
Coût total du projet : 534 412 €
Subvention Écophyto : 99 521 €

Mots clés :

Bio-contrôle ; Maladies cryptogamiques ; Mycètes marins ; *Trichoderma* ; Métabolites secondaires ; Criblage ; Antagonisme

Contexte et principaux objectifs

Actuellement, les agents de bio-contrôle ne représentent qu'une portion modeste du marché mondial de la protection des plantes et reposent sur une base étroite d'agents biologiques et de substances. Dans ce contexte, nous proposons de rechercher de nouveaux agents de lutte biologique parmi des micro-organismes fongiques d'origine marine. Le milieu marin recèle en effet une incroyable biodiversité microbienne synthétisant des molécules aux propriétés biologiques diverses, et cette biodiversité a été à ce jour très peu exploitée dans le domaine de la protection des cultures.



Confrontation en boîte de Petri entre l'isolat marin de *Trichoderma atroviride* MMS1295 (TA) et l'agent phytopathogène *Botrytis cinerea* (BC). Les pointillés blancs marquent le front d'avancement de la colonie de MMS1295. Crédit photo : © Franck Bastide, IRHS

Les agents de bio-contrôle identifiés sont destinés à la protection contre des agents pathogènes fongiques pour lesquels peu de solutions de bio-contrôle efficaces sont actuellement disponibles et qui sont responsables de fortes consommations en produits phytosanitaires. L'objectif est aussi de combiner des outils cultureux et moléculaires, et mettre en place une méthode applicable ultérieurement à d'autres bio-ressources dans le but d'optimiser et d'accélérer le tri des souches et des molécules pour une utilisation potentielle en contrôle biologique.

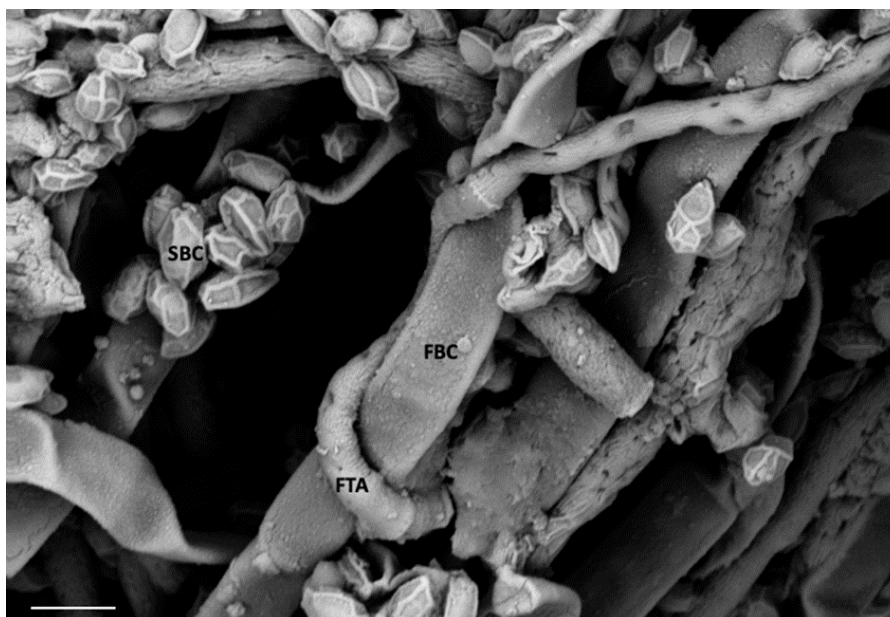
Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Ce projet a conduit à diverses avancées sur la recherche de nouvelles solutions de protection biologique contre des maladies fongiques des plantes. Les champignons du genre *Trichoderma* sont des acteurs pertinents de la lutte biologique car ils peuvent agir contre les agents phytopathogènes soit par antagonisme direct (parasitisme, antibiose), ou indirect en stimulant les défenses naturelles des plantes.

Tout d'abord, une méthode de criblage des souches a été développée et appliquée à plus de 50 *Trichoderma* marins et 11 métabolites secondaires dans le but d'évaluer les meilleurs candidats pour une utilisation en contrôle biologique. Elle prend en compte à la fois les caractéristiques culturelles (vitesse de croissance, production de spores), la tolérance à des stress environnementaux, le pouvoir mycotoxinogène, la compatibilité avec divers pesticides, le potentiel d'antagoniste (antibiose et parasitisme), ainsi que la capacité à induire les défenses des plantes.

Pour optimiser ce criblage, différents outils de suivi des croissances fongiques (micro-cultures en néphélogométrie laser, time-lapse) ou de suivi d'activation des défenses de la plante (qPFD) ont été mobilisés. La qPFD reste néanmoins difficilement applicable à un grand nombre d'échantillons en raison d'un coût relativement élevé. Ce criblage s'est révélé pertinent pour mettre en évidence des différences majeures entre les souches testées et sélectionner les plus performantes. Ainsi, selon les critères analysés, 4 souches marines de *Trichoderma* présentent un potentiel cultural et des activités antagonistes supérieures à 4 autres souches commerciales. Ce résultat valide l'hypothèse de départ qui suggérait que les *Trichoderma* marins seraient de bons candidats pour une utilisation en phytoprotection.

En parallèle, différents métabolites secondaires ont été extraits et purifiés à partir de diverses souches de *Trichoderma* marins. Ce travail a été l'occasion de mettre en évidence et de purifier une série de métabolites secondaires jamais décrite jusqu'alors chez ce genre de champignons : des peptaïbols constitués de 15 résidus. Les différents métabolites secondaires exercent de forts effets inhibiteurs envers des agents pathogènes en conditions *in vitro*. Ces activités antifongiques sont dépendantes de l'agent pathogène ciblé et de la nature des métabolites secondaires testés. La principale difficulté de cette action réside dans la capacité à extraire des quantités de métabolites secondaires compatibles avec les seuils d'applications sur plante.



Filament de *Trichoderma atroviride* s'enroulant et parasitant des filaments de l'agent phytopathogène *Botrytis cinerea*. L'échelle correspond à 10 μ m. FBC : filament de *B. cinerea* ; FTA : filaments de *T. atroviride* ; SPC : spores de *Botrytis cinerea*.
Crédit photo : © Franck Bastide, IRHS

Finalement, certains candidats ont été testés pour leur capacité à réduire les symptômes de tavelure sur pommier et de septoriose sur blé. Positionnés en traitements préventifs sur les parties aériennes sans aucun adjuvant ni formulant, un métabolite secondaire particulier et la souche qui le produit, induisent des niveaux de protection de 24 % contre la septoriose. Dans les mêmes conditions, les niveaux de protection contre la tavelure sont similaires après application de ce même métabolite secondaire et légèrement supérieurs (34 %) après application de la souche elle-même.

Des actions sont désormais menées par le partenaire privé pour préciser les risques éco/toxicologiques de candidats sélectionnés (métabolites secondaires et/ou *Trichoderma* producteurs), poursuivre les essais de recherche et développement, évaluer les coûts d'homologation correspondant et finalement étudier la faisabilité industrielle et économique.

Perspectives en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Ce projet doit conduire à identifier de nouvelles solutions biologiques de protection contre des agents pathogènes qui affectent des cultures très consommatrices de pesticides et pour lesquels on ne dispose pas (ou peu) à l'heure actuelle de solutions alternatives à la lutte chimique. Agrauxine by Lesaffre poursuit le travail pour préciser les risques éco/toxicologiques de candidats sélectionnés (métabolites secondaires et/ou *Trichoderma* producteurs), poursuivre les essais de recherche et développement, évaluer les coûts d'homologation correspondant et finalement étudier la faisabilité industrielle et économique.

Recherche :

Nos résultats montrent qu'au sein d'une même espèce de *Trichoderma* les souches sont loin de présenter les mêmes performances d'antagonisme et leur aptitude à parasiter leurs proies est en particulier assez variable. Afin d'accroître la connaissance de ces processus infectieux et ainsi optimiser l'efficacité de ces agents de biocontrôle, il apparaît indispensable de décortiquer les mécanismes fongiques expliquant les variations intra-espèces du mycoparasitisme. Ce type de d'approche doit nous permettre d'identifier des marqueurs moléculaires de l'aptitude mycoparasitaire pouvant être déployés pour un criblage plus haut-débit de souches de *Trichoderma*.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES

- ▶ **3^{ème} Symposium International AFERP STOLON. 18-20/07/2018, Rennes, France** : *The NABUCO project: a search for new marine biocontrol agents against plant diseases.* Ruiz *et al.*
- ▶ **12^{èmes} Rencontres de Phytopathologie-Mycologie, Société Française de Phytopathologie. 15-19/01/2018, Aussois, France** : *Study of new fungal biocontrol isolates and their secondary metabolites against plant diseases.* Bastide *et al.*
- ▶ **1st International Symposium on plant bioprotection sciences and technologies. Reims, France 27-30/06/2017** : *Screening strategy to select new fungal biocontrol products against plant diseases.* Bastide *et al.*

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Pentadecaibins I–V: 15-Residue Peptaibols Produced by a Marine-Derived Trichoderma sp. of the Harzianum Clade. Van Bohemen AI, Ruiz N, Zalouk-Vergnoux A, Michaud A, Robiou du Pont T, Druzhinina I, Atanasova L, Prado S, Bodo B, Meslet-Cladière L, Cochereau B, Bastide F, Maslard C, Marchi M, Guillemette T, Pouchus YF. 2021. Sous presse.



Optimiser les Phéromones et Transposer les résultats obtenus sur la processionnaire du pin à d'autres Insectes Modèles, lépidoptères ravageurs des Zones Non Agricoles. Solutions innovantes de biocontrôle pour d'autres lépidoptères.

Année de démarrage : 2015
Année de fin : 2018

Partenaires
INRAE UEFM ; FREDON PACA ; M2I Life Sciences

Responsable scientifique
Jean-Claude MARTIN, INRAE UEFM
Jean-claude.martin@inrae.fr

Financement
Coût total du projet : 271 199 €
Subvention Écophyto : 98 393 €

Mots clés :

Biocontrôle ; Ecophyto ; JEVI ; Confusion sexuelle ; PBI

Contexte et principaux objectifs

Le projet OPTIM'PHERO a été conçu à partir du constat de carence dans les stratégies de lutte alternative contre plusieurs lépidoptères ravageurs des JEVI (Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures). Quatre équipes ont associé leurs forces résultant de compétences pluridisciplinaires, allant de la chimie fine avec des brevets novateurs, à l'entomologie appliquée. Ce projet avait pour objectif de proposer des solutions de biocontrôle innovantes pour 3 ravageurs : les processionnaires du pin, du chêne, et la pyrale du buis, qui constituent des menaces majeures. OPTIM'PHERO avait pour vocation d'élargir la gamme de produits du biocontrôle avec la technologie nouvelle développée par le partenaire français M2i Life Sciences permettant un relargage contrôlé des substances phéromonales, et des modes d'applications de la confusion sexuelle innovants, adaptés à la configuration végétale. Le support biodégradable de la phéromone (sans diffuseur, ni démontage des dispositifs) aurait permis de réduire les coûts tout en optimisant leur efficacité, grâce à des modes d'application les mieux adaptés à chaque insecte et situation. Plusieurs modes d'application originaux ont été testés sur de grandes surfaces comme la mise au point de billes de paintball chargées de phéromone microencapsulée ou le dépôt de gel phéromonal sur le végétal. Ces solutions représentent des alternatives intéressantes aux modes de traitement utilisés à partir du sol (le traitement aérien étant interdit) contre la processionnaire du pin, comme les turbines sur pick-up ou les lances. Ces dernières étant utilisées pour propulser en hauteur, ne sont pas écologiques en termes de retombées importantes et d'intrants.

Le dépôt ciblé de la phéromone microencapsulée répondrait à une forte demande pour de nombreux ravageurs inféodés aux arbres (Pheroball) mais aussi avec des méthodes manuelles sur végétal de la strate arbustive (gel phéromonal microencapsulé).



PHEROBALL PIN - Bille chargée de phéromone microencapsulée déposable par lanceur Paintball
Crédit photo : © M2i LIFE SCIENCES

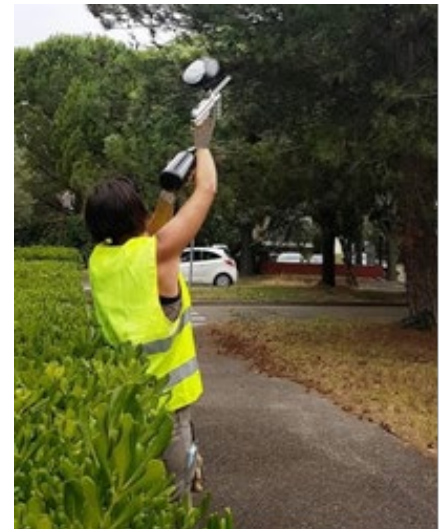
Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Pheroball Pin

Trois années d'expérimentation et d'optimisation de Pheroball Pin, produit issu du projet, ont permis de montrer une réduction moyenne en confusion sexuelle des populations de processionnaire du pin, entre 29% (300 billes/ ha, parcelle de 4 ha) et 58% (30 billes/ pin, arbres isolés en zone urbaine), en fonction de la dose testée. L'étude avait été conduite en zone forestière comme en zone urbaine.

Cette étude avait souligné certaines limites de cette stratégie de lutte :

- 1) L'**efficacité** aux doses testées en 2017, entre 300 et 400 billes par hectare sur grandes surfaces forestière (4 ha) correspond à une réduction moyenne comprise entre 29 et 36% alors que les tests ont été conduits sur faible population de processionnaire du pin, situation la plus favorable à une lutte par confusion sexuelle.
- 2) En termes de **temps de dépose des billes** (6 à 8 hectares par jour à 2 personnes) et de nettoyage fréquent du lanceur. En forêt, le parcours précis en suivant le maillage de 10 x 10 m pour disposer les billes demande beaucoup de temps et augmente ainsi le prix de revient de cette stratégie de lutte. Néanmoins, son coût et sa praticité demeurent attractifs par rapport au piégeage ou au BT.
- 3) En termes de **coût** : Pheroball Pin nécessitait d'autres expérimentations afin d'évaluer l'efficacité à des doses supérieures.



Tir de billes de PHEROBALL PIN en zone urbaine (Avignon 2017)
Crédit photo : © INRAE ; M2i LIFE SCIENCES

Gel phéromonal

Des tests de dépôts ciblés de gel phéromonal biodégradable ont été conduits sur la processionnaire du pin et sur la pyrale du buis comme stratégie de lutte par confusion sexuelle. Pour la processionnaire du pin, les résultats sont encourageants avec plus de 87% de réduction de la descendance avec le gel phéromonal déposé dans les houppiers. Ayant été conduite sur un seul essai dose, il restait à renouveler l'expérimentation afin de valider ou non ce résultat. Pour la pyrale du buis, une réduction de 25% par rapport au témoin, bien que significative, ne permettait pas de réduire les dégâts sur le feuillage. Le dosage efficace restait encore à optimiser.

Sur la processionnaire du chêne, la complexité de la synthèse de la phéromone avait été, pour ces 3 saisons de test, un réel blocage technique.

Perspectives en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Il est à noter qu'à l'issue du projet, la firme M2i a obtenu une AMM Biocide pour les solutions de confusion en pin en France, à titre dérogatoire en 2017, puis à titre définitif en 2018, puis désormais en Espagne, Portugal, Algérie. Ce mode de dépose de la phéromone en confusion sexuelle a été décliné en agriculture puisque qu'un produit paintball en noyer vient d'être homologué en France. OPTIM'PHERO a également contribué à la mise au point d'un produit de confusion sexuelle en pyrale du buis, désormais homologué et commercialisé en France avec une AMM en biocontrôle depuis 2019, mais aussi en Benelux, Italie, Espagne, Portugal et Royaume-Uni.

L'UEFM va poursuivre le développement de l'application smartphone AGIIR (Alerter et Gérer les Insectes Invasifs et/ou Ravageurs) comme outil d'aide à la gestion entre autres, des 3 insectes cibles du projet. Cette application disponible sous Android et sous IOS est téléchargeable gratuitement. La diffusion du guide technique et sa mise à jour en temps réel va se poursuivre.

Recherche :

Phérobail Pin et dose en forêt : l'efficacité de Pherobail Pin a été démontrée par ce programme mais l'utilisation en forêts (grandes surfaces denses) restait à être démontrée. M2i a continué les expérimentations à l'issue du projet en affinant le protocole en forêt, jusqu'à obtenir une homologation.

Gel phéromonal et efficacité : M2i a mis au point un nouveau protocole d'application sur la pyrale du buis à l'issue du projet en augmentant les dosages et le nombre de passages et en combinaison avec un larvicide pour obtenir une solution efficace.

Les résultats concluants de la solution contre la processionnaire du pin ouvrent des perspectives pour servir d'exemple à d'autres lépidoptères ravageurs des JEV et, pourquoi pas, des zones agricoles, grâce à un mode de dépôt innovant de la phéromone.

Confusion sexuelle chez la processionnaire du chêne

M2i continue les recherches puisque des essais de confusion sexuelle vont avoir lieu en Grande Bretagne en 2022 en coopération avec l'université de Cardiff. L'INRAE a poursuivi des recherches sur ce ravageur dans le cadre d'autres projets et, actuellement, n'a pas identifié de phéromone efficace pour le monitoring ou d'autres méthodes impliquant la phéromone sexuelle (taux de captures faibles voire nuls sur un comparatif de phéromones).

Publications et colloques scientifiques :

DOCUMENTS TECHNIQUES :

- ▶ Brinquin A.S. et Martin J-C., 2017 : **Les clés pour lutter contre la processionnaire du pin.**
https://www6.paca.inra.fr/entomologie_foret_med/Insectes-ravageurs-et-protection-durable/Aide-a-la-decision

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ Journées techniques organisées par l'UEFM et ses partenaires institutionnels pour former les gestionnaires aux nouvelles techniques de gestion alternative des ravageurs.
- ▶ Colloque sur les bioagresseurs du buis Tours 16 & 17 octobre 2018 organisé par Végéphyt
<https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/agenda/programmebuisenfrancaisv17-09.pdf>

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION :

- ▶ E. Pal, M. Corréard, F. Rei, J. Thévenet, S. Lantus, E. Pezzini, M. Buradino, A-S Brinquin et J-C. MARTIN (2018). **Processionnaire du pin : un traitement bille en tête.** Phytoma 715, 28-32.
- ▶ E. Pal, M. Corréard, M. Buradino, E. Morel, S. Touzeau, J. Thévenet, D. Vauthier, O. Gilg et J-C. Martin (2017). **Processionnaire du pin : le piégeage se perfectionne.** Phytoma 709, 27-29.
- ▶ J-C. Martin, M. Buradino, A-S. Brinquin, M. Corréard, J. Thévenet, D. Vauthier, E. Morel, A. Gilli, M. Vénard et E. Tabone (2018). **Réguler la pyrale du buis *Cydalima perspectalis* : limites d'utilisation de la phéromone sexuelle de synthèse.**



Évaluation de solutions de biocontrôle pour la protection des cultures contre les dégâts de taupins

Année de démarrage : 2016

Année de fin : 2019

Responsable scientifique

Jean-Baptiste Thibord, **ARVALIS**
jb.thibord@arvalis.fr

Partenaires

ARVALIS ; UMR DGIMI INRAE - Université de Montpellier ; ACTA ; CTIFL ; Invenio ; ACEP ; APREL ; SudExpé ; Sonito

Financement

Coût total du projet : 210 807 €
Subvention Écophyto : 113 891 €

Mots clés :

Taupins ; Biocontrôle ; Nématodes entomopathogènes ; Champignons entomopathogènes ; Substances naturelles

Contexte et principaux objectifs

Une protection contre les taupins s'avère parfois indispensable pour protéger le rendement ou la qualité de grandes cultures ou de cultures légumières. Depuis quelques années, les producteurs sont confrontés à une raréfaction des solutions phytopharmaceutiques et les solutions qui demeurent disponibles présentent souvent une efficacité plus limitée, voire insuffisante. Il devient donc nécessaire et urgent d'élaborer des stratégies de protection intégrant des solutions de biocontrôle soit en substitution des solutions phytopharmaceutiques pour les situations de faibles niveaux de populations de taupins, soit en complément des solutions conventionnelles dans le but de limiter la nuisibilité du ravageur dans les situations de fortes populations.

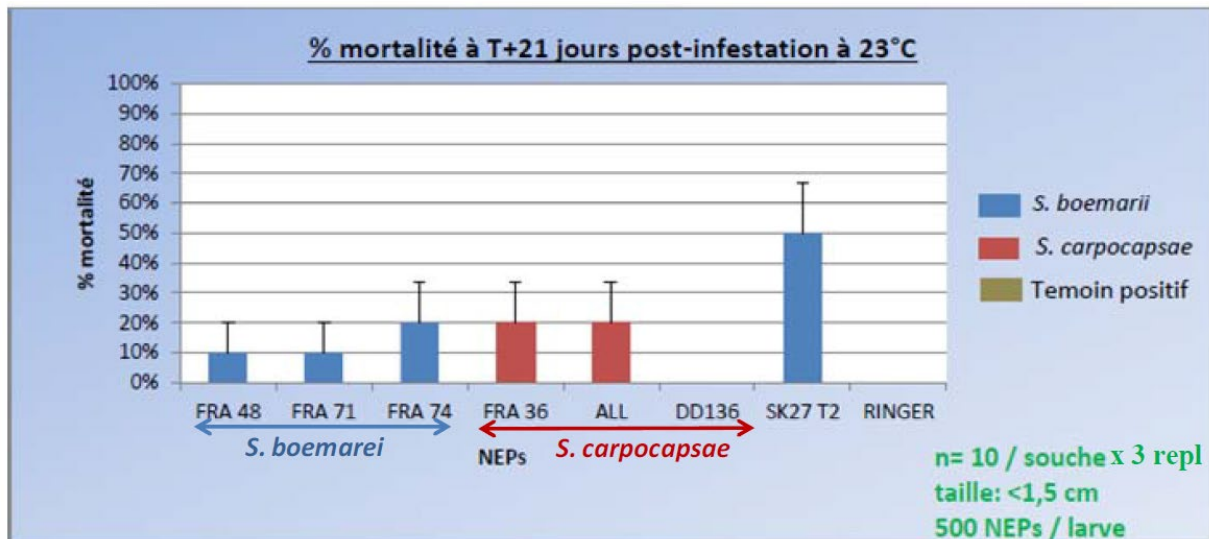
Le projet PRO-BIO-TAUPIN avait pour objectif d'explorer l'intérêt technique de différentes solutions potentielles de biocontrôle :

- ▶ Des nématodes entomopathogènes ;
- ▶ Un champignon entomopathogène, et plus particulièrement un produit à base de *Metarhizium anisopliae* ;
- ▶ Des substances naturelles, essentiellement des produits à base de glucosinolates.

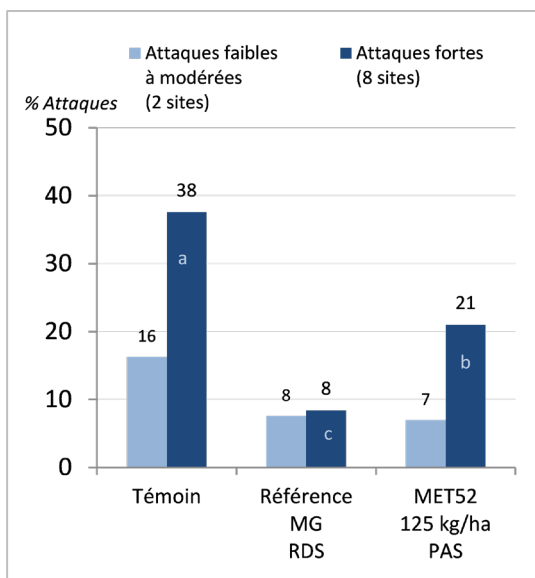
Les essais ont été réalisés en conditions contrôlées (nématodes entomopathogènes) et en conditions de plein champ (champignons entomopathogènes, substances naturelles) dans le but de protéger différentes cultures : pomme de terre, carotte, melon, asperge, tomate, maïs.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Les travaux mis en œuvre sur les nématodes entomopathogènes (NEPs) ont mis en évidence que les barrières physiques de l'insecte (en particulier leur cuticule très résistante) limitaient très certainement l'entrée des nématodes dans les larves, expliquant ainsi les faibles performances de ces agents de biocontrôle vis-à-vis des taupins (voir graphique page suivante). Cette étape clé du cycle parasitaire des nématodes constitue probablement le principal verrou à lever avant d'envisager l'utilisation à la parcelle des NEPs pour lutter contre les larves de taupins. L'injection directe des partenaires bactériens symbiotiques des NEPs dans l'hémolymphe des insectes a permis d'identifier l'intérêt d'une souche bactérienne très performante pour tuer les larves de taupins : *X. kozodoii* FR48. À notre connaissance, c'est la première fois qu'il est montré qu'une bactérie symbiotique des NEPs est pathogène à elle seule vis-à-vis des larves de taupins. Les bio-essais par injection ont également montré que d'autres souches appartenant à l'espèce *X. kozodoii* étaient à l'inverse très peu pathogènes contre les larves de taupins. Ce résultat permet d'envisager des études de comparaison génomique entre la souche virulente *X. kozodoii* FR48 et les souches avirulentes de *X. kozodoii* afin d'identifier d'éventuels gènes ou régions génomiques impliqués dans le pouvoir pathogène de *X. kozodoii* FR48 vis-à-vis du taupin. Les génomes entiers de la souche pathogène *X. kozodoii* FR48 et des souches avirulentes FR71 et FR74 ont été séquencés.



Test de mortalité de nématodes entomopathogènes associés à différentes bactéries sur des larves de taupin. Les histogrammes représentent le pourcentage de mortalité moyen (3 répliques) des larves de taupin 21 jours post infestation avec des souches de *S. boemarei* et de *S. carpocapsae*. N = 30 larves de taupins ; dose infestation = 500 NEPs par larve ; contrôle négatif = liquide de Ringer ; contrôle positif = SK27 T2. *Crédit image* : © INRAE

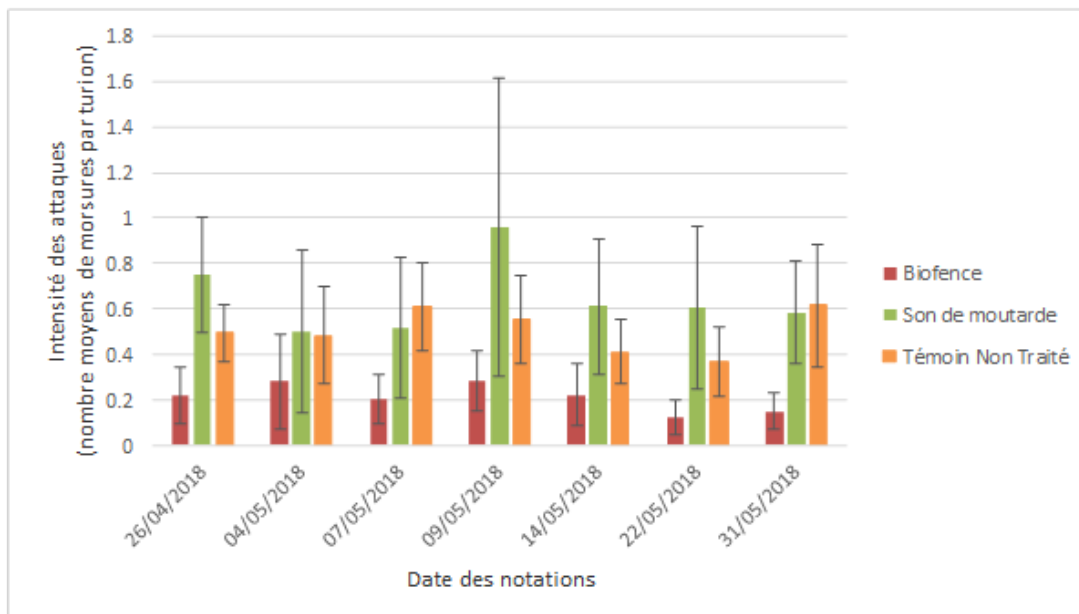


Évaluation de MET 52 GR appliqué en plein et incorporé avant semis de maïs. Synthèse 10 essais (2012-2017) - *Crédit image* : © ARVALIS

L'étude de champignons entomopathogènes (axe 2) a été focalisée sur la spécialité commerciale MET 52 granulés, spécialité à base de *Metarizhium anisopliae* F52. Les essais de protection des plantes vis-à-vis des larves de taupins ont permis d'obtenir des résultats très encourageants avec, dans certaines situations, des efficacités comparables à celles obtenues avec des références conventionnelles (soit 50% d'efficacité).

Cependant, la variabilité des niveaux de protection, les coûts élevés du produit commercial actuellement disponible et les difficultés d'approvisionnement de ce produit ne permettent pas d'envisager son utilisation dans le cadre d'une protection annuelle des cultures. Des premiers travaux ont été mis en œuvre dans une stratégie visant l'abaissement des populations de taupins grâce à des apports répétés dans la parcelle. Si les premiers résultats semblent encourageants, de nouveaux travaux devront être mis en œuvre afin de confirmer l'intérêt de cette technique de lutte.

De nombreuses formulations liquides à base de glucosinolates sont proposées aux producteurs. À défaut de toutes les avoir testées, celles ayant fait l'objet d'expérimentations par les partenaires du projet (axe 3) n'ont pas permis d'obtenir des résultats très probants, et ceci malgré la diversité des modes et stades d'application. En revanche, une formulation de tourteaux de graines déshuilées de moutarde d'Abyssinie *Brassica carinata*, spécialité commerciale Biofence, est une solution qui a permis de réduire les attaques de taupins sur maïs et pomme de terre. L'intérêt semble être plus limité sur d'autres cultures mais a pu s'avérer intéressant dans la protection contre d'autres ravageurs du sol - les scutigérelles (sur asperges) et les nématodes à kystes (sur pomme de terre). Néanmoins, les doses apportées engendrent dans certaines situations un manque de sélectivité. La spécialité Biofence étant très onéreuse, les doses ont été réduites et localisées dans la zone à protéger. Les résultats obtenus en culture de maïs montrent un intérêt mais ces expérimentations nécessitent d'être poursuivies pour éprouver la technique en situations d'attaques élevées. En parallèle, certains essais avaient pour objectif d'évaluer l'intérêt du son de moutarde, autorisé dans le cadre des substances de base, comme produit de substitution. Si les résultats obtenus ne sont pas très encourageants, des améliorations sont envisageables en caractérisant mieux la composition chimique du son utilisé (voir graphique page suivante).



Intensité d'attaques de taupins sur asperges entraînant un déclassement de la production.
Crédit image : © INVENIO

Perspectives en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Même si aucune solution évaluée dans le cadre du projet PRO-BIO-TAUPIN n'est actuellement satisfaisante pour la protection des cultures dans les conditions de production (notamment pour raison économique), les résultats ont été présentés à des producteurs des différentes filières. Par ailleurs, ces résultats ont permis d'initier de nouveaux travaux de recherches. Ainsi, les travaux sur les bactéries pathogènes de taupins sont poursuivis par l'UMR DGIMI. De nouveaux travaux sur les champignons entomopathogènes ont été initiés dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Pau et des Pays de l'Adour. Enfin, des travaux sont envisagés concernant la production de glucosinolates au champ à l'aide de plantes de services.

Recherche :

Les résultats obtenus au cours du premier axe du projet PRO-BIO-TAUPIN sont très prometteurs avec la découverte d'une bactérie pathogène efficace contre les larves de taupins. Il est cependant difficile de mettre en œuvre cette stratégie au champ à ce jour sachant que les bactéries entomopathogènes *Xenorhabdus* ne peuvent survivre sans leur hôte nématode. Une perspective consiste à identifier des toxines d'intérêt de ces bactéries.

L'intérêt technique de *Metarhizium anisopliae* et de certains tourteaux comportant des glucosinolates est confirmé. Cependant, l'analyse des agents actifs sur larves de taupins semble nécessaire pour progresser dans la connaissance des souches ou substances les plus efficaces et définir les conditions permettant de favoriser leur présence dans la parcelle. Cela permettra d'optimiser les doses et rendre ces solutions compatibles avec les exigences économiques de production de ces cultures.

Publications et colloques scientifiques :

COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ **International Congress Natural Products and Biocontrol (Perpignan, France. 25-28/09/2018) : Évaluation des nématodes entomopathogènes et leurs bactéries symbiotiques pour lutter contre les taupins (poster présenté).** Frayssinet Marie, Pagès Sylvie, Lawac Floriane, Duvic Bernard, Givaudan Alain and Ogier Jean-Claude
- ▶ **11^{ème} Conférence Internationale sur les Ravageurs et Auxiliaires en Agriculture, Montpellier 25-26/10/2017 : Intérêt de l'utilisation de *Metarhizium brunneum* pour lutter contre les taupins (*Agriotes sp.*) en grandes cultures.** Larroude Ph. et Thibord J.B. – 2017

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Rapport de stage M1 (parcours master IMHE de l'Université de Montpellier) : Étude des facteurs de virulence de la bactérie entomopathogène *Xenorhabdus kozodoii* vis-à-vis du ravageur taupin (*Agriotes sordidus*).** Océane Bueno, 2018.
- ▶ **Rapport de stage M1 (Master en Agronomie et Agro-alimentaire, Parcours SEPMET, SupAgro Montpellier) : Évaluation de la virulence des complexes nématode-bactériens entomopathogènes contre les taupins.** Floriane Lawac, 2017



Quelles stratégies d'irrigation et de fertilisation pour réguler les populations de puceron vert en vergers de pêchers ?

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2019

Responsable scientifique

Marie-Odile Jordan, **INRAE PSH**
marie-odile.jordan@inrae.fr

Financement

Coût total du projet : 248 235 €
Subvention Écophyto : 90 000 €

Mots clés :

Pratique élémentaire alternative ; Modification de l'itinéraire technique ; Irrigation ; Fertilisation ; Vergers fruitiers ; *Prunus persica* ; *Myzus persicae* ; Composition des rameaux ; Développement des rameaux

Contexte et principaux objectifs

Les méthodes dites "bottom-up" qui permettent de contrôler les bio-agresseurs en modifiant la susceptibilité de la plante hôte sont peu documentées. Cette susceptibilité est liée à l'équilibre dynamique liant le développement et la composition des plantes, et peut être optimisé par des pratiques comme l'irrigation et la fertilisation. Néanmoins, l'effet de ces pratiques varie selon l'état initial de la plante (taille, forme et composition). Leur possible implémentation nécessite donc d'évaluer la variabilité de leurs effets en fonction des statuts trophique et hydrique des plantations. C'est l'enjeu de ce projet, portant sur la possibilité d'utiliser les pratiques d'irrigation et de fertilisation azotée pour limiter les infestations de pucerons verts en verger de pêcher.

Cet objectif implique :

- 1) D'identifier les traits spécifiques du fonctionnement de la plante auxquels le puceron est sensible
- 2) De caractériser les effets des pratiques d'irrigation et de fertilisation sur ces variables clés de l'interaction plante-bioagresseur et sur la production fruitière
- 3) De sélectionner parmi ces combinaisons de pratiques, celles qui semblent les plus adéquates

C'est cette démarche que nous avons suivie, en couplant expérimentation et modélisation.



Dégâts sur fruits en vergers de production.
Crédit photo : © Alice Diot, INRAE

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Le projet s'est déroulé en trois étapes :

- 1) Une expérimentation en conditions contrôlées pour identifier les principaux déterminants de la susceptibilité d'une plante
- 2) Une validation multicritères et pluriannuelle (2 ans) des résultats en verger commercial soumis à des infestations naturelles sévères
- 3) Un travail de modélisation : développement et simulation des effets à long terme des pratiques testées

Sur les arbres en pots, la sévérité d'infestation est liée positivement au développement des rameaux (feuilles, structures secondaires) et à la teneur en acides aminés et en carbone non structural des apex, et négativement à la teneur en polyphénols. Ces relations dépendent du statut hydrique et de la variété.

En verger, les arbres soumis à une limitation N (Azote) ont été capables, la première année, de maintenir leur potentiel de développement et de production en puisant dans leurs réserves. Cependant, ils ont été infestés plus tardivement et moins sévèrement. La seconde année, l'infestation était moins sévère sur les rameaux les moins poussants et les arbres limités en azote. À nouveau, les traitements n'ont eu aucun effet sur la production.

La réduction des apports N (Azote) permet donc de réduire la prévalence des infestations, mais il reste à définir la fréquence à laquelle les arbres doivent être correctement alimentés afin de pouvoir reconstituer leurs réserves. L'impact de l'irrigation dépend de l'environnement du verger : la survenue d'un stress hydrique est d'autant plus tardive que la pluviométrie hivernale est forte. Or, il n'est efficace que s'il est appliqué (même temporairement) en début d'infestation, et non à proximité du pic.

Les simulations réalisées avec les « modèles simples » montrent que la croissance est plus sensible à la fertilisation qu'à la présence du puceron. La production n'est affectée que la seconde année : la diminution de croissance des pousses liées à une infestation sévère réduit le nombre de fruits l'année (n+1) puisque ceux-ci sont produits par le bois d'un an. Cette baisse de production se stabilise au bout de 4 ans.

RegPuc a enfin permis d'intégrer à QualiTree (un modèle structure fonction), un module qui formalise l'absorption de l'azote à partir du compartiment sol, sa répartition entre les organes, et ses effets sur le développement et la croissance. C'était un préalable à l'adjonction du « module puceron » en cours de développement.

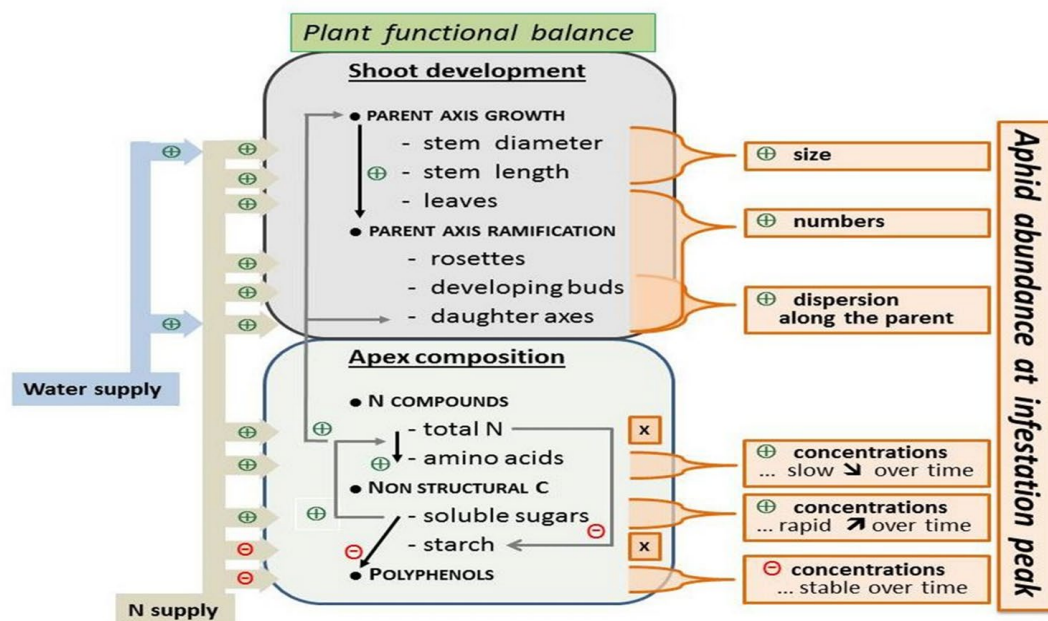


Figure 1: Structuration des interactions arbre-pucerons. L'impact des variables représentatives du développement (en gris clair) et de celles relatives à la composition (en vert pâle) sur les populations de pucerons sont figurées en orange. Il est positif si marqué ⊕ et négatif si marqué ⊖. L'interdépendance des « variables plantes » est indiquée par des flèches, noires si le résultat est issu du travail présenté ici, et gris clair s'il a été extrapolé de travaux antérieurs (Jordan et al. 2011). Les effets de l'irrigation et de la fertilisation sur les variables plantes sont détaillées sur la partie gauche du graphique. Crédit image : © Marie-Odile Jordan, INRAE

Nos résultats confirment que les pratiques de fertilisation et d'irrigation peuvent être adaptées à un double objectif : la maximisation de la production et le contrôle des pucerons. Cependant, des études complémentaires doivent établir leurs conséquences à long terme (> à 2 ans) sur la durabilité et la productivité des vergers. Par ailleurs, d'autres pratiques comme la plantation de haies, la sélection de plantes couvre-sol, mobilisées concomitamment pourraient en augmenter l'efficacité, notamment en favorisant la prédation. De fait, les producteurs devraient avoir à leur disposition un ensemble de méthodes à implémenter en fonction de la spécificité de chaque verger. Ceux-ci sont plus ou moins sensibles aux pucerons en fonction de leur environnement qui détermine le nombre de fondatrices, et de l'état des arbres dont dépend le devenir des premières colonies. Or, aucune méthode de lutte alternative ne cible l'ensemble de ces aspects. Elles doivent donc être combinées pour atteindre le même degré d'efficacité que les pesticides. Les effets de ces combinaisons de méthodes n'ont été que peu étudiés.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

L'un des partenaires étant une association d'arboriculteurs, le transfert s'est fait en « temps réel » : présentation de l'état d'avancement du projet aux producteurs du réseau lors de journées thématiques, de visites de terrain (de l'essai) et de publications dans le bulletin du réseau. Il est enfin prévu, dès que les conditions sanitaires le permettront, de présenter les résultats finaux lors d'une présentation de synthèse aux producteurs du réseau et aux coordinations techniques des régions PACA et Languedoc-Roussillon. Enfin, une présentation plus courte du projet sera faite dans « La France Agricole » dans le cadre d'une collaboration entre ce journal et le GRCETA.

Recherche :

Les acquis de RegPuc ont permis au partenaire INRAE (unité PSH) de participer à APITree, un projet européen C-IPM portant sur la compréhension du choix par le puceron de son arbre hôte lors du vol de retour à l'automne. Ce projet a été l'occasion d'initier des collaborations avec les équipes de G. Alins (IRTA Lleida ESP) et L. Sigsgaard (Université de Copenhague, Suède).

De plus, INRAE PSH coordonne actuellement un projet PPR : CAP Zéro Phyto, pour lequel il s'agira de mettre en place une expérimentation longue durée (4 ans) en verger de pêcher, portant sur l'utilisation conjointe de différents leviers (fertilisation, irrigation, plantes couvre-sol et de service, stress mécaniques...) sur les interactions plantes pucerons.

Publications et colloques scientifiques :

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ Ecological Modelling (n° 338, pp 11-16): **The consequences of aphid infestation on fruit production become evident in a multi-year perspective: Insights from a virtual experiment.** Bevacqua D. Grechi I. Génard M. Lescourret F. (2016)
- ▶ Agronomy for Sustainable Development (n° 38, pp 1-17): **Harnessing the aphid lifecycle to reduce insecticide reliance in apple and peach orchards: A review.** Rousselin A. Bevacqua D. Sauge M-H. Lescourret F. Moody K. Jordan M-O. (2017)
- ▶ Pest Management Science (n° 76, pp 797-806): **Chemical and growth traits of the peach tree may induce higher infestation rates of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sultzer).** Jordan M-O., Sauge M-H., Vercambre G. (2020)
- ▶ Journal of the royal society Interface (n°17: 20200356): **An eco-physiological model of plant-pest interactions: the role of nutrient and water availability.** Zaffaroni M., Cunniffe N. J., Bevacqua D (2020)

COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ International Crop Modelling Symposium: Crop Modelling for Agriculture and Food Security under Global Change (15-17/03/2016, Berlin, Germany): **Consequences of aphid infestation over fruit trees production: the peach tree-green aphid case.** Bevacqua D., Grechi I., Génard M., Lescourret F.
- ▶ 9th international conference on integrated protection of fruit crops, 4-8/09/2016, Tessaloniki (Greece). IOBC WPRS Bulletin, (n° 123, pp 79-85): **Combining irrigation, fertilization and pruning techniques helps control aphid populations in apple and peach orchards.** Jordan M-O. Rousselin A. Vercambre G. Sauge M-H.
- ▶ IIIrd International Symposium on Horticulture in Europe – SHE2016 (17-20/10/2016, Chania, Greece): **Modelling fruit plant-pest interactions, their control by cultivation practices and their link to fruit quality.** Lescourret F. Gibert C. Grechi I. Génard M. Bevacqua D.
- ▶ Journées du réseau BAPOA « Biologie Adaptative des Pucerons et Organismes Associés » (19-20/10/2017, Colmar, France) : **Variables écophysiological (croissance, architecture, composition biochimique) affectant l'attractivité du pêcher pour le puceron vert.** Jordan M-O. Rousselin A. Sauge M-H.
- ▶ 10th International Conference on Dynamical Systems Applied to Biology and Natural Sciences (DSABNS) (03-06/02/2019, Napoli, Italy): **A general eco-physiological framework to model the interactions between phloem feeder pests and plants.** Zaffaroni M., Bevacqua D.
- ▶ XXIX Congresso SItE. (10-12/09/2019, Ferrara Italy): **An eco-physiological model coupling plant growth and aphid population dynamics.** Bevacqua D., Cunniffe N., Zaffaroni M.
- ▶ 14th International Symposium « Ecology of Aphidophaga » (16-20/09/2019, Montreal, Canada): **Limiting irrigation and fertilisation enables to limit the aphid populations in commercial apple (*Malus domestica*) and peach (*Prunus persica*) orchards.** Jordan M-O., Drevet Giraud A., Vercambre G., Hucbourg B.
- ▶ The International Society for Ecological Modelling Global Conference (ISEM) (01-05/10/2019, Salzburg, Austria): **An agro-ecological model coupling plant growth and pest population: highlights on the role of fertilization and irrigation.** Zaffaroni M., Bevacqua D.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION :

- ▶ Info CETA (n°5, mai 2017) : Pêcher : **quelles stratégies d'irrigation et de fertilisation pour réguler les populations de *Myzus persicae*.** Drevet Giraud A.

JOURNÉES TECHNIQUES - RÉSEAU DE PRODUCTEURS DU GR-CETA :

- ▶ Participation à 11 journées techniques (de 2015 à 2019): présentation de l'essai et des résultats.

COMMUNICATION LORS DE COORDINATIONS TECHNIQUES :

- ▶ 16-18/10/2019 : « **Rencontre CETA des techniciens** » (regroupant les membres de l'association CETA des Techniciens de la région Sud-Est) : présentation des résultats



RESistance of agricultural landSCAPEs to pesticide transfers in soils and living - organisms Résistance - des paysages agricoles aux transferts de pesticides dans les sols et les organismes vivants

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2019

Responsable scientifique

Céline Pelosi, UMR EMMAH INRAE - Avignon Université
celine.pelosi@inrae.fr

Clémentine Fritsch, UMR Chrono-environnement CNRS - Université Bourgogne Franche-Comté - Usc INRAE

clementine.fritsch@univ-fcomte.fr

Colette Bertrand, UMR EcoSys INRAE - AgroParisTech

colette.bertrand@inrae.fr

Partenaires

UMR EMMAH INRAE - Avignon Université ; UMR Chrono-environnement CNRS - Université Bourgogne Franche-Comté - Usc INRAE ; UMR EcoSys INRAE - AgroParisTech ; Luxembourg Institute of Health - Dpt of Population Health ; INSA Centre Val de Loire ; UMR 7372 CEBC - CNRS – Université de La Rochelle ; Laboratoire d'Analyse des Sols d'Arras ; UMR 5280 Institut des Sciences analytiques INRAE - CNRS - Université de Lyon

Financement

Coût total du projet : 721 208 €

Subvention Écophyto : 111 540 €

Mots clés :

Pesticides ; Transferts ; Contamination des milieux agricoles ; Exposition ; Biodiversité fonctionnelle ; Vers de terre ; Carabes ; Micromammifères ; Effets non intentionnels ; Approche paysagère

Contexte et principaux objectifs

Les paysages agricoles sont constitués d'une mosaïque de parcelles cultivées et d'éléments semi-naturels (haies, bois, prairies permanentes, etc.), considérés comme des réservoirs d'auxiliaires des cultures et de bio-agresseurs, mais également comme des sources et des puits de pesticides (utilisés sur les cultures et pouvant être transférés hors des parcelles). La proportion et l'agencement de ces différents éléments agricoles et non agricoles pourraient influencer la résistance des paysages aux transferts de pesticides dans les sols et dans les organismes vivants.

Le projet RESCAPE s'inscrit dans le cadre de l'écotoxicologie du paysage, et vise à améliorer la connaissance des liens entre pratiques phytosanitaires, contamination des milieux et biodiversité. L'objectif du projet était de déterminer les effets de l'usage des terres (composition et configuration du paysage) et de la gestion agricole (pratiques culturales) sur la répartition spatiale des pesticides, l'exposition d'organismes non-cibles et les impacts sur ceux-ci.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Le projet RESCAPE a permis le développement de méthodes d'analyses multi-résidus pour mesurer l'exposition des sols et d'organismes non cibles aux pesticides, qui ont révélé trois résultats majeurs :

- 1) Une ubiquité de l'exposition des sols et de la faune. Nous avons retrouvé des résidus pesticides dans tous types d'habitats (parcelles de céréales en agriculture conventionnelle et en agriculture biologique [AB], prairies permanentes et haies). Sur la base des concentrations en pesticides mesurées dans 180 échantillons de sols, un risque élevé pour la reproduction des vers de terre a été mis en évidence dans 46% des cas, à la fois pour des parcelles de céréales traitées par les pesticides que pour des zones non traitées qui jouent un rôle important pour la biodiversité.
- 2) Une exposition à des cocktails de molécules impliquant au moins un insecticide (l'imidaclopride), un fongicide (notamment l'époxiconazole) et un herbicide (le plus souvent le diflufenican).
- 3) Pour les sols comme pour les organismes non-cibles, les zones traitées par les pesticides sont les plus contaminées. Les parcelles en AB et les habitats semi-naturels (ex. prairies et haies) présentent souvent un nombre de molécules et des concentrations plus faibles, et pourraient donc servir de refuges aux organismes dans les paysages agricoles.

Par ailleurs, une démarche de modélisation a révélé que les facteurs prépondérants gouvernant la dispersion atmosphérique des pesticides et leur dépôt ultérieur sur un écosystème non-cible étaient (i) la localisation des haies par rapport à la parcelle traitée, (ii) l'épaisseur des haies, (iii) les propriétés physico-chimiques des pesticides et la saison d'application. Ainsi, la présence de certains habitats (haies, prairies), ainsi que l'augmentation dans le paysage de la surface en habitats non traités (parcelles en AB, éléments boisés), jouent un rôle favorable sur la limitation de l'exposition des sols et des organismes non-cibles aux pesticides.

Ce projet a permis de soulever des questionnements sur les points suivants :

- La pertinence et l'efficacité des méthodes actuelles pour l'évaluation du risque lié aux pesticides (évaluation des PECs et des risques toxiques) et l'innocuité des pesticides autorisés tels qu'utilisés actuellement pour l'environnement et la biodiversité.
- La nécessité de procéder à des analyses de résidus de pesticides dans les sols et la faune non-cible dans le cadre du suivi post-homologation des molécules.

Vis-à-vis du rôle du contexte paysager pour limiter les effets non intentionnels des pesticides, les résultats du projet impliquent :

- De limiter l'usage des pesticides à l'échelle locale (parcelle), ainsi qu'à l'échelle de la mosaïque paysagère (augmentation des surfaces non-traitées *via* l'implantation notamment d'infrastructures agro-écologiques)
- De tenir compte de la surface/taille des éléments (ex. haies) et de leur disposition dans le paysage pour assurer l'efficacité des infrastructures agro-écologiques.

Cependant, afin de pouvoir proposer des recommandations de gestion du paysage pertinentes visant à aboutir à des propositions d'optimisation de l'agencement des éléments constitutifs du paysage pour limiter les effets négatifs non intentionnels des pesticides et favoriser la biodiversité agricole bénéfique à la santé des agroécosystèmes, il semble nécessaire de consolider ces premiers résultats en élargissant le jeu de données actuel (ex. plusieurs années, plusieurs zones géographiques et contextes agro-pédo-climatiques). Par ailleurs, il est indispensable d'œuvrer à mieux quantifier les effets écotoxicologiques engendrés par l'exposition des organismes aux mélanges de pesticides retrouvés *in natura*.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Les données produites pourront être utiles aux organismes en charge de la pharmacovigilance (ANSES) ainsi qu'aux décideurs publics, en contribuant à l'expertise nationale vis-à-vis des molécules « à enjeu ». Les résultats du projet pourront également contribuer à établir des recommandations pour limiter les effets non intentionnels des pesticides et favoriser la biodiversité pourvoyeuse de services dans les agroécosystèmes (ex. Augmenter la présence d'infrastructures agro-écologiques dans le paysage ; réduire l'usage des pesticides à l'échelle de la parcelle et du paysage, en favorisant la présence de zones non-traitées dans la mosaïque paysagère).

Recherche :

De nouvelles recherches seraient nécessaires pour proposer des mesures de gestion pertinentes et applicables à l'ensemble du territoire :

- Evaluer la variabilité temporelle et géographique de la contamination par les pesticides.
- Etudier d'autres systèmes de production (polyculture/élevage, vignobles) pour évaluer la transposabilité des recommandations.
- Considérer d'autres types de configurations paysagères permettant de limiter les effets non intentionnels.
- Améliorer la compréhension des mécanismes écologiques et écotoxicologiques mis en œuvre (ex. impacts sur les chaînes trophiques et la santé humaine).

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES :

- ▶ Journées scientifiques de la zone atelier plaine & Val de Sèvre, 17/06/2016. RESCAPE. C. Pelosi & C. Fritsch.
- ▶ Journée d'animation des projets MP ECOSERV BIOSERV, MP SMACH ACE, MP SMACH ESPACE & MP SMACH PING (PSPE RESCAPE) 2018 :
 - Approches spatiales en écotoxicologie du paysage sur la distribution spatiale de polluants dans les sols et les transferts à la faune. C. Fritsch.
 - C. Bertrand. Réponse des carabes aux facteurs locaux et paysagers.
- ▶ Journée INRAE SMaCH / ACTA ITA du 20 décembre 2018. Projets PING et RESCAPE. C. Fritsch. & C. Bertrand.

COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ Congrès du Groupe Français de Recherche sur les Pesticides, Nancy, 2017. Gaëlle D., Lafay F., Pelosi C., Fritsch C., Bretagnolle V., Vulliet E. **Développement d'une méthode multi-résidus par LC-MS/MS pour la quantification de traces de pesticides dans les vers de terre.**

- ▶ Colloque SFÉCOLOGIE, Rennes, 2018 :
 - Colette Bertrand, Pierre Zagatti, Sébastien Bonthoux, Gaëlle Daniele, Florent Lafay, Emmanuelle Vulliet, Vincent Bretagnolle, Clémentine Fritsch, Céline Pelosi. **Assessing the impact of farming practices and landscape heterogeneity on ground beetles' exposure to pesticides.**
 - S. Bonthoux, C. Fritsch, C. Bertrand, P. Zagatti, V. Bretagnolle, M. Coeurdassier, G. Daniele, F. Lafay, F. Raoul, R. Scheifler, E. Vulliet & C. Pelosi. **Disentangling the effects of pesticides, soil characteristics and landscape features on earthworms, carabids and small mammals.**
- ▶ Congrès du Groupe Français de Recherche sur les Pesticides, Montpellier, 2019 :
 - Bertrand C., Daniele G., Lafay F., Vulliet E., Bretagnolle V., Zagatti P., Fritsch C., Pelosi C. **Exposition des sols agricoles et d'organismes non-cibles aux pesticides : quelle influence de la mosaïque paysagère ?** (Poster)
 - Fritsch C., Coeurdassier M., Raoul F., Scheifler R., Burkart L., Hardy E., Palazzi P., Schaeffer C., Bretagnolle V., Bertrand C., Appenzeller B., Pelosi C. **Exposition des micromammifères aux pesticides actuellement utilisés : différences entre espèces, rôle de l'habitat et du paysage.** (Poster)
 - Djouhri M., Loubet B., Benoit P., Mamy L., Bedos C. **Modélisation de l'effet de la configuration paysagère et des pratiques culturales sur la dispersion et le dépôt des pesticides utilisés en agriculture.** (Communication orale)
- ▶ XVIth Symposium in Pesticide Chemistry Advances in risk assessment and management, Piacenza, 3-5 September 2019. Djouhri M., Loubet B., Benoit P., Mamy L., Bedos C. **Modélisation de l'effet de la configuration paysagère et des pratiques culturales sur la dispersion et le dépôt des pesticides utilisés en agriculture.**
- ▶ SETAC Europe 14th Special Science Symposium, Brussels, 19-29 novembre 2019:
 - Bertrand C., Zagatti P., Bonthoux S., Daniele G., Lafay F., Vulliet E., Bretagnolle V., Fritsch C., Pelosi C. **Ground-dwelling beetles' exposure to pesticides at large scales.**
 - Pelosi C., Bertrand C., Bonthoux S., Daniele G., Lafay F., Vulliet E., Bretagnolle V., Fritsch C. **Earthworm exposure to pesticides in agricultural landscapes.**

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ Pelosi C., Bertrand C., Daniele G., Coeurdassier M., Benoit P., Néliou S., Lafay F., Bretagnolle V., Gaba S., Vulliet E., Fritsch C., 2021. **Residues of currently used pesticides in soils and earthworms: a silent threat?** Agriculture, Ecosystems & Environment. 305, 107167, DOI: 10.1016/j.agee.2020.107167
- ▶ Daniele G., Lafay F., Pelosi C., Fritsch C., Vulliet E. 2018. **Development of a method for the simultaneous determination of multi-class pesticides in earthworms by liquid chromatography coupled to tandem electrospray mass spectrometry.** Analytical and Bioanalytical Chemistry 410(20):5009–5018. DOI: 10.1007/s00216-018-1151-2

AUTRES VALORISATIONS:

- ▶ La France agricole. **Produit phytosanitaire, Des résidus de pesticides dans les sols et dans les vers.** Février 2021.
- ▶ INRAE site web. **Des résidus de pesticides dans les sols et les vers de terre : une réalité omniprésente et insidieuse.** 14 janvier 2021. <https://www.inrae.fr/actualites/residus-pesticides-sols-terre-realite-omnipresente-insidieuse>
- ▶ Charlie Hebdo. **Lettre des animaux aux humains reconfinés : le lombric.** Allain Bougrain-Dubourg mis en ligne le 1 décembre 2020. <https://charliehebdo.fr/2020/12/ecologie/lettre-des-animaux-aux-humains-reconfines-le-lombric/>
- ▶ Journal La Libre Belgique. **Les pesticides intoxiquent aussi les vers de terre... et donc leurs prédateurs.** S. Devillers, 25 novembre 2020. <https://www.lalibre.be/planete/environnement/les-pesticides-intoxiquent-aussi-les-vers-de-terre-et-donc-leurs-predateurs-5fbd5ad3d8ad586f5119c890>
- ▶ Solagro, Osaé. **Des niveaux alarmants de pesticides mesurés dans les sols et les vers de terre.** 17 novembre 2020. <https://osez-agroecologie.org/des-niveaux-alarmants-de-pesticides-mesures-dans-les-sols-et-les-vers-de-terre-168-actu-169>
- ▶ Forskare (journal suédois ATL à destination des agriculteurs). **Omfattande spridning av växtskyddsmedel,** 12 novembre 2020. <https://www.atl.nu/lantbruk/forskare-omfattande-spridning-av-vaxtskyddsmedel/>
- ▶ Le Monde. **Des niveaux alarmants de pesticides dans les sols - Une étude montre une large contamination de l'environnement, où plusieurs produits s'accumulent,** 30 octobre 2020.
- ▶ Sciences et Avenir. **Des pesticides retrouvés partout dans l'environnement, même dans les vers de terre,** 2 novembre 2020. https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/pollution/les-pesticides-migrent-partout-dans-l-environnement_148889
- ▶ Leblob.fr. **Vers de terre : une étude alerte sur l'impact des pesticides,** 6 novembre 2020. <https://leblob.fr/videos/vers-de-terre-une-etude-alerte-sur-impact-des-pesticides>
- ▶ Life Sciences UPSaclay. **La menace silencieuse de la contamination des sols et des vers de terre par les pesticides,** 5 novembre 2020. <http://sco.lt/5slHLk>

Lien internet vers le projet : <https://rescape.univ-fcomte.fr>



REsistance des SYStèmes agricoles Tropicaux à la réduction des pressions de pollution par les pesticides à l'échelle du bassin versant

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2019

Partenaires

UPR HortSys CIRAD ; UAG Ceregmia-INRAE ; UMR Tetis CIRAD ; UMR SCBPA CIRAD; UMR SADAPT AgroParisTech

Responsable scientifique

Charles Mottes, UPR HortSys CIRAD
charles.mottes@cirad.fr

Financement

Coût total du projet : 246 623 €
Subvention Écophyto : 106 276 €

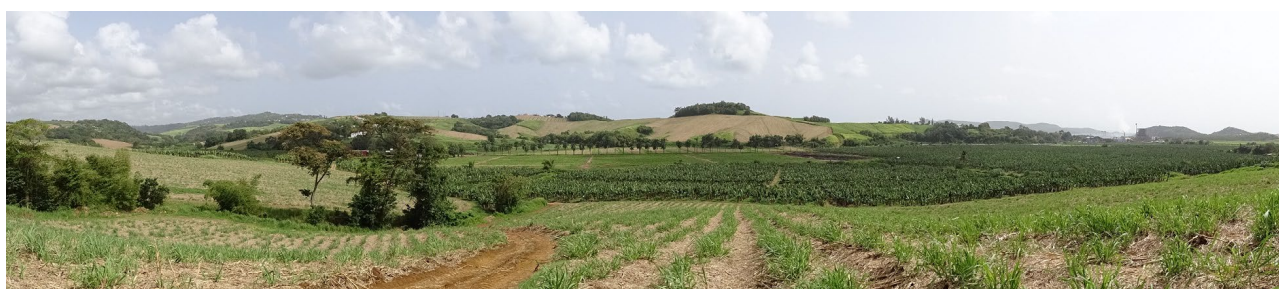
Mots clés :

Contamination des milieux ; Approche territoriale ; Cultures tropicales ; Travail de co-conception avec les agriculteurs et autres acteurs du territoire

Contexte et principaux objectifs

Les Antilles Françaises font face à une pollution généralisée par le chlordécone. En dépit de cette situation, de nombreux pesticides sont toujours appliqués sur ces territoires. Or, les milieux antillais sont très sensibles aux pressions pesticides. Les connaissances sur les facteurs qui maintiennent ces utilisations et les processus qui génèrent les pollutions des cours d'eau restent encore mal connus. Il est également à noter une absence d'outils d'accompagnement au changement ou à la transition agroécologique des pratiques agricoles adaptés à la gestion des pollutions en conditions tropicales.

Dans ce contexte, l'objectif du projet est de construire un dispositif d'accompagnement de l'évolution des pratiques des socio-écosystèmes de bassins versants touchés par les pollutions agricoles. Il s'agit de construire de manière participative une représentation partagée des risques liés aux pollutions liées à l'usage des pesticides, en intégrant des représentations agronomiques, économiques et sociales. L'objectif opérationnel est de limiter la pollution des rivières par des changements de pratiques à l'échelle d'un territoire.



Aval d'un des territoires pilotes du projet RESYST : Le bassin versant du Galion. *Crédit photo : © Charles Mottes, Cirad*

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

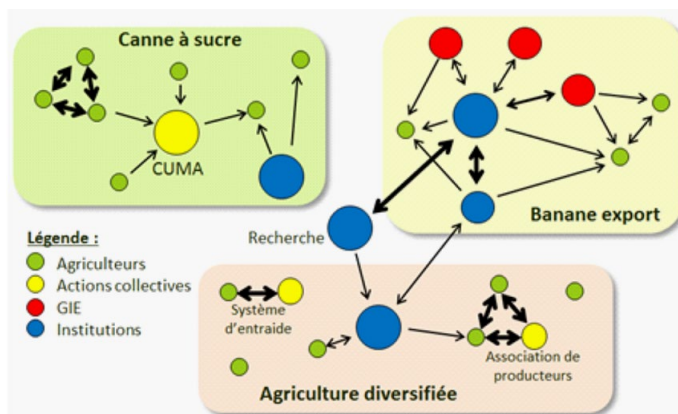
Le premier résultat issu de l'analyse croisée des pressions de pollution et des pollutions observées dans les cours d'eau des bassins versants montre d'une part, une **forte pression d'utilisation des herbicides** sur les bassins versants car cet usage est commun aux différents systèmes agricoles. Cette pression intense (par les quantités appliquées et les fréquences d'application à l'échelle des bassins versants) **génère des pollutions chroniques dans les cours d'eau**.

Les pesticides présentent une ambivalence pour les acteurs. Ainsi, les notions d'utilité et de dangerosité coexistent sans toutefois disposer d'une représentation partagée par les différents acteurs. Afin de clarifier cette ambivalence, la mise en débat de la perception de l'usage des pesticides dans les territoires à enjeux pour la qualité de l'eau a

nécessité de créer un espace d'échanges de points de vue et de connaissances. Le second résultat porte sur cet espace, qui a pris la forme **d'écoles acteurs**.

Notre analyse et la participation aux débats ont révélé une **forte déconnexion entre les différents acteurs de ces territoires**. Ainsi, les changements de pratiques des agriculteurs, ainsi que les stratégies d'appui au changement des filières agricoles mobilisent uniquement les réseaux de chacune des filières, sans interaction entre elles. Chaque filière favorise ainsi ses intérêts productifs, en valorisant ses cadres de contrainte, au détriment d'un développement territorialisé qui mobiliserait la diversité des services et ressources du territoire. Nos résultats montrent également qu'en matière d'innovations techniques à la parcelle, il n'y a pas de solution « miracle ». Les alternatives techniques à l'utilisation d'herbicides génèrent des surcoûts de main d'œuvre, des coûts d'exploitations et/ou d'apprentissages. Néanmoins, ces coûts peuvent être contrebalancés par la création de valeurs à l'échelle et sur le territoire, grâce aux ressources de proximité disponibles (telles que unités de transformation, cheptels, tourisme...) et par la reconnaissance des qualités et de la diversité des productions. Ainsi, l'agriculture peut avoir un effet levier sur le tourisme et favoriser l'attractivité du territoire par des pratiques reconnues « vertes », sans herbicide par exemple, aboutissant à une forme de labellisation du territoire et de ses produits. L'agriculture s'inscrit alors dans une dynamique de développement économique renforcée avec la création d'un circuit écotouristique sur le bassin couplé à un dispositif de vente en circuit court fréquenté par des touristes, permettant dans le même temps la diversification des sources de revenus des agriculteurs. Les produits exportés du bassin (tel que la banane) peuvent également porter cette image au-delà du territoire. Ce type de scénario montre les ambitions et les interconnexions fortes, nécessaires aux innovations territoriales lorsqu'elles ont pour objectif de créer un cercle vertueux de développement économique associé à la réduction des pesticides.

Ces **innovations et leur scénarisation** ont été co-construites et discutées avec les acteurs grâce aux outils et modèles du projet (tels que cadre DPSIR, méthodologie C-K à l'échelle du territoire, jeu de rôle).



Représentation schématique du réseau d'acteurs et des influences concernant les pratiques de gestion de l'enherbement sur le bassin versant du Galion. Issue de Deffontaine et al. (2020)

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

L'innovation territoriale semble prometteuse pour accompagner le changement des pratiques agricoles. Ainsi il apparaît indispensable que de telles dynamiques de dialogue et de co-construction des options à l'échelle du territoire soient maintenues avec tous les acteurs et les secteurs. Les contrats de milieux devraient y jouer un rôle tout particulier. Les outils disponibles (écoles acteurs, jeu sérieux) devraient faciliter ces dispositifs d'animation et de co-conception. Une attention particulière est à porter cependant sur la participation et l'engagement des acteurs sur la durée. Des moyens suffisants et permanents doivent donc être dédiés à cette animation territoriale.

Recherche :

Le projet RESYST montre qu'il est nécessaire :

- 1) de construire et de maintenir dans la durée des espaces de concertation pour débattre de l'avenir de l'agriculture, proposer des objectifs localisés pour les nouvelles politiques publiques et conduire la réflexion, voire la négociation et l'allocation des ressources nécessaires à la transition.
- 2) de considérer les échelles territoriales pour élaborer les innovations sur la réduction de l'usage des phytosanitaires et accompagner, par des politiques publiques plus localisées, leur mise en œuvre et/ou les transitions territoriales. Le projet « Territoires Durables » devrait intégrer l'analyse de l'appui des politiques publiques à l'accompagnement aux transitions.

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ 14th ESA Congress. 2016, Edinburgh, Écosse: **Assessment of the pesticide pressure at the watershed scale: the challenge of the Water Framework Directive** (INRAE, 2 p). M. Lesueur Jannoyer, C. Mottes, M. Le Bail, P. Cattan.
- ▶ 14th ESA Congress. 2016, Edinburgh, Écosse: **Locating the contribution of cropping systems within a watershed to water pollution by pesticides** (INRAE, 2p). Mottes C., Lesueur Jannoyer M., Della Rossa P., Le Bail M., Cattan P.

- ▶ Tropentag 2017. 20-22/09/2017, Bonn, Allemagne : **Future Agriculture: Social-ecological transitions and bio-cultural shifts. Sociotechnical System Analysis of Weeding, A Key Step for Designing Agro-ecological Systems at the Watershed Scale.** University of Bonn, 1 poster. Della Rossa P., Mottes C., Cattan P., Le Bail M., Jannoyer M.
- ▶ Thèse inscrite comme cas d'étude pour la plateforme Indiss (Projet-phare INDISS : INnovation and Design In Sociotechnical Systems) du Labex BASC (Biodiversité, Agroécosystèmes, Sociétés, Climat), séminaire de 2017.
- ▶ Colloque OPDE « **Concevoir, adapter, évaluer des dispositifs pour faciliter et étendre la participation** ». Montpellier, France, Réseau OPDE : Ecole-acteurs aux Antilles, un espace de représentation partagée de la question des pollutions agricoles. 13 p. Tonneau, J.-P., *et al.* (2016).

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION :

- ▶ **Agriculture et qualité de l'eau, comprendre leurs relations pour mieux les gérer.** Présenté aux « Assises de l'agriculture de Martinique », Agriculture, environnement et santé, Schœlcher, 5 décembre 2017.
- ▶ Des **écoles acteurs** associant des professionnels, institutionnels et acteurs de la recherche :
 - Ecole-acteurs 1 : En novembre 2016 Une école-acteurs a été consacrée à la présentation du concept de l'école acteur
 - Ecole-acteurs 2 : En mars 2017, l'école-acteurs a été consacrée aux innovations et aux dispositifs d'innovations
 - Ecole-acteurs 3 : En juin 2017, une école-acteurs a été consacrée au thème « sensibiliser sans culpabiliser ».
 - Ecole-acteurs 4 : En novembre 2017, une école-acteurs a été consacrée au thème « comment se passer du glyphosate ».
 - Ecole-acteurs 5 : En février 2019, une école-acteurs a été consacrée aux attentes des populations en relation à l'agriculture
 - Ecole-acteurs 6 : En septembre 2019, une école-acteurs a été consacrée au thème « Quelles perspectives pour l'agriculture guadeloupéenne ? ».
 - Ecole-acteurs 7 : Enfin, une école-acteurs a été réalisée en avril 2019 en Martinique. L'objectif était de travailler sur la construction d'un modèle de la pollution agricole diffuse dans les bassins versants de Martinique.
 - Ecole-acteurs 8 : En novembre 2019 sur le système alimentaire.
 - Atelier K : en mars 2018, un atelier de partage de connaissances sur les innovations entre les acteurs du monde agricole en Martinique.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ Agricultural Systems (n° 179, 102769): **How farmers learn to change their weed management practices: Simple changes lead to system redesign in the French West Indies.** Deffontaines, L., Mottes, C., Della Rossa, P., Lesueur-Jannoyer, M., Cattan, P., Le Bail, M., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102769>
- ▶ Agronomical Sustainable Development (n° 40, 10): **Innovations developed within supply chains hinder territorial ecological transition: the case of a watershed in Martinique.** Della Rossa, P., Le Bail, M., Mottes, C., Jannoyer, M., Cattan, P., 2020. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0613-z>
- ▶ Conception collective d'organisations territoriales innovantes pour une évolution coordonnée de systèmes de production agricoles (p328) : **Cas d'une réduction de la pollution herbicide d'une rivière en Martinique.** Université Paris-Saclay, Saint Aubin, France. Della Rossa, P., 2020.

Autres valorisations :

- ▶ Présentation et utilisation de outils WATPPASS-Game avec une classe du LEGTA du Robert (décembre 2018).
- ▶ Présentation et formation du personnel technique de la chambre d'agriculture de Martinique à l'outil WATPPASS-Game (novembre 2018).
- ▶ Réseau Canope – Gestion des pollutions à l'échelle des bassins versants (2017).
- ▶ France Antilles Martinique – Chlordécone : où en est la dépollution des sols ? - 9/10 juin 2018.
- ▶ Bernard Crutzen, interview pour le documentaire « Pour quelques bananes de plus » (juin 2019).



Régulation des populations de cochenilles diaspiques en culture de cassis par des lâchers de la coccinelle coccidiphage *Rhizobius lophantae* - Transposition à d'autres cultures fruitières

Année de démarrage : 2016

Année de fin : 2019

Responsable scientifique

Maria-Martha FERNANDEZ, CTIFL

maria-martha.fernandez@ctifl.fr

Partenaires

CTIFL ; Station d'Expérimentation La Morinière ;
Chambre Départementale d'Agriculture de Côte d'Or ;
INRAE PACA ; KOPPERT

Financement

Coût total du projet : 149 576 €

Subvention Écophyto : 87 128 €

Mots clés :

Cochenille diaspine ; Lutte biologique augmentative ; Coccinelle coccidiphage ; *Rhizobius lophantae* ; *Pseudaulacaspis pentagona* ; Cassis ; Lâchers d'auxiliaires ; Cultures pérennes ; Cultures fruitières ; Expérimentation multisites

Contexte et principaux objectifs

Culture mineure, le cassis représente pourtant une filière économique importante, positionnée sur des marchés à haute valeur ajoutée pour lesquels la production française est particulièrement recherchée (liquoristerie, parfumerie). Cette production est affectée depuis une quinzaine d'années par la cochenille blanche du mûrier (*Pseudaulacaspis pentagona*), introduite accidentellement en Italie au 19^e siècle par la route de la soie et remontée depuis vers les zones les plus septentrionales de production du cassis français. Provoquant des dépérissements et l'arrachage de parcelles, ce ravageur mal contrôlé par la lutte chimique est aujourd'hui une problématique majeure pour la filière cassis. Par l'expérimentation multisites d'une protection basée sur des lâchers de la coccinelle *Rhizobius lophantae*, spécifique des Diaspididae, le projet RhizoDia se propose de démontrer l'efficacité d'une méthode de lutte biologique augmentative applicable par les producteurs de cassis. Au-delà du modèle étudié, il vise aussi le transfert de cette solution de biocontrôle et de sa méthodologie d'expérimentation à d'autres cultures fruitières confrontées aux cochenilles diaspiques.

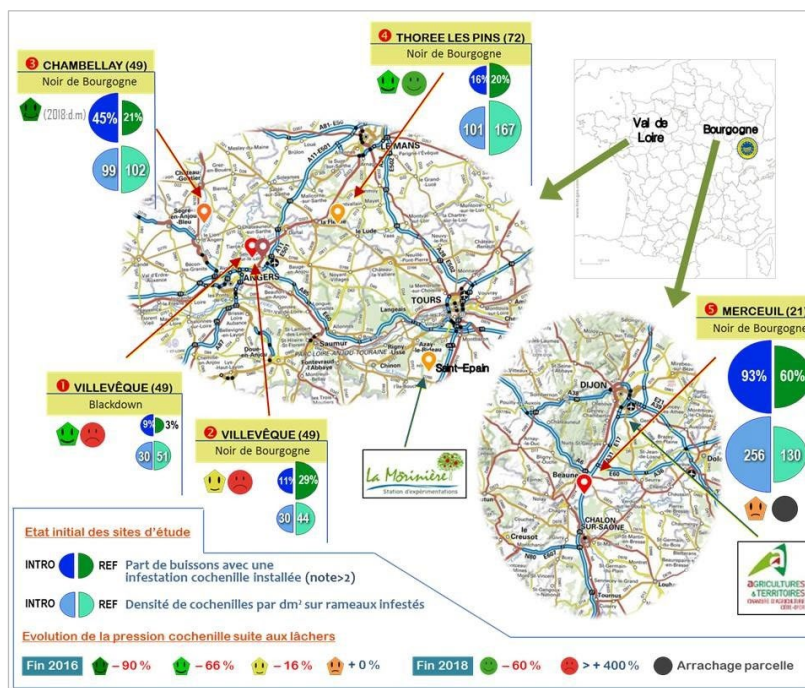


Figure 1 : Etat initial des sites d'essai et évolution de la pression du ravageur dans les parcelles de lâchers.

Crédit image : © CTIFL/IGN (pour les extraits de carte)

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

L'expérimentation est menée en vergers de producteurs en système conventionnel, sur 5 sites du Val-de-Loire et un site en Côte d'Or, reflétant une variété de situations quant à la pression du ravageur. Le dispositif expérimental utilisé fera ses preuves dans le projet et peut donc être proposé pour ce type d'étude : 2 plantations de la même variété et du même âge, situées dans la même zone géographique mais distantes d'au moins 500 m, sont choisies pour l'une comme site d'introduction des auxiliaires (0,5 ha) et pour l'autre comme site de référence.



Figure 2 : Abris d'hivernation utilisés dans le projet.
À gauche : bandes cartonnées. À droite : fagots de bambou
Crédits photo : © Station La Morinière

La parcelle de référence est menée selon un calendrier de traitements phytosanitaires complet, avec au moins une intervention spécifique contre la cochenille sur le 2nd essaimage (REF(+)), sauf un bloc d'une cinquantaine d'ares maintenu sans traitement cochenille pour valoir de témoin « non traité » (REF(-)). Les lâchers de *Rhizobius* sont effectués annuellement, sur chaque période d'essaimage, selon une méthode qui peut également être retenue pour sa praticité de mise en œuvre : les auxiliaires sont réceptionnés prêts à l'emploi, dans des sachets munis d'une bague permettant de les fixer à la base du végétal ; les sachets renferment chacun 200 individus adultes et sont distribués sur la parcelle à raison de 15 points de lâchers pour 0,5 ha, soit un temps de pose de 15 mn.

Pour évaluer l'efficacité de la méthode de protection par lâchers, 3 indicateurs sont utilisés :

- ▶ La densité de cochenilles vivantes par unité de surface, quantifiée sur des échantillons de rameaux infestés prélevés sur les buissons atteints ;
- ▶ Le degré d'infestation des buissons, mesuré selon une échelle visuelle intégrant présence et sévérité des symptômes ;
- ▶ Le nombre de captures de *Rhizobius*, obtenu par frappage des buissons sur parapluie japonais.

L'aptitude des auxiliaires introduits à se pérenniser est appréciée par leur capacité de survie hivernale, mesurée par une expérience en éclosoir pour observer la viabilité de pontes hivernales, et par la pose d'abris d'hivernation dont on détermine le taux d'occupation en sortie d'hiver, pour mesurer la survie sous forme d'adultes. Un protocole de caractérisation génétique par séquençage du gène COI est appliqué à plus de 135 coccinelles *Rhizobius* capturées avant ou après lâchers ou provenant d'élevage, pour tenter de vérifier la contribution des auxiliaires introduits et celle des populations établies.

En situation de pression modérée, les lâchers se sont montrés efficaces en 1^{ère} année du projet, avec un taux de régression de la cochenille de 48 % dans les parcelles d'introduction contre 14 % dans les parcelles de référence, un pic sensible de recaptures de *Rhizobius* après les lâchers, et des buissons visuellement assainis. Mais ceci ne s'est pas confirmé par la suite, puisqu'en fin d'année 3 la situation est aggravée de 54 % par rapport à l'état initial sur les sites d'introduction, alors qu'elle a stagné sur les sites de référence. La pression phytosanitaire ou les évolutions climatiques globales ne permettent pas d'expliquer cet échec, si bien qu'on peut conclure que si les lâchers ont une efficacité, les facteurs de succès de la méthode ne sont pas maîtrisés à l'issue du projet. Des perfectionnements méthodologiques sont aussi proposés, notamment une caractérisation plus fine des parcelles, de leur environnement et des événements entourant les lâchers, afin d'enrichir le traitement statistique de l'expérimentation multisites pour dégager des facteurs explicatifs.



Figure 3 : Sachets de 200 *Rhizobius* au pied d'un buisson de cassis infesté
Crédits photo : © Station La Morinière

Lien avec le plan Écophyto :

L'issue du projet ne permet pas le déploiement escompté de la méthode de biocontrôle. Il confirme toutefois l'efficacité très aléatoire des traitements phytosanitaires sur le ravageur ciblé, plaidant ainsi pour poursuivre les efforts sur la voie des méthodes alternatives.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Les objectifs fixés au début du projet n'ayant pas été atteints, aucun transfert n'est aujourd'hui envisageable pour une application en production. Quelques aspects méthodologiques et surtout plusieurs points d'attention relevés dans le bilan du projet pourront être utiles aux expérimentateurs confrontés aux mêmes types de travaux.

Recherche :

Pour finir d'exploiter la piste d'utilisation de *Rhizobius lophanthae* contre la cochenille sur cassis, une nouvelle étude testera la méthode sur jeune plantation, en ciblant les zones d'apparition des premiers foyers et en limitant les lâchers au 2nd essaimage d'été pour s'astreindre des contraintes climatiques ; l'objectif étant de casser précocement le cycle d'installation du ravageur, mais aussi de baisser le coût de la protection qui se chiffre, dans les conditions du projet, à plus de 40 % du produit brut. Deux sujets de recherche sont aussi proposés : 1) l'utilisation d'autres portions du génome ou d'autres techniques pour la caractérisation génétique de l'auxiliaire, la méthode utilisée s'étant montrée insuffisamment discriminante, et 2) la recherche d'outils non destructifs de détection des cochenilles actives.

Publications et colloques scientifiques :

RAPPORTS DE STAGE :

- ▶ DAUFFOUIS, S. 2018. **Projet RhizoDia : essais en protection du cassis par *Rhizobius lophanthae* contre la cochenille blanche du mûrier**. Rapport de stage GIS-Fruits 2018.
https://www.gis-fruits.org/content/download/3876/38621/version/1/file/Simon_Dauffouis_RhizoDia2018.pdf
- ▶ GAY, A. 2017. **Etude de la régulation de populations de cochenilles diaspines en culture de cassis par des lâchers de coccinelles coccidiphages**. Mémoire de fin d'études (non publié)
- ▶ GOUVRIION, J. 2016. **La coccinelle *Rhizobius lophanthae*, agent de bio-contrôle pertinent dans la lutte contre la cochenille *Pseudaulacaspis pentagona* ?** Rapport de stage GIS-Fruits 2016.
<https://www.gis-fruits.org/content/download/3697/36570/file/RhizoDia-Gouvriion.pdf>

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION :

- ▶ FERNANDEZ, MM. 2021. **Cassis - Des coccinelles contre la cochenille**. Réussir Fruits et Légumes, n° 416 : 36-37.
- ▶ FERNANDEZ, MM. 2020. **Une piste biocontrôle en culture de cassis ? Les lâchers de coccinelles contre la cochenille blanche du mûrier**. Infos CTIFL, n° 365 : 18-32.

CONGRÈS SCIENTIFIQUES :

- ▶ GUIGNEBAULT, P. 2018. **Biological control of the White Peach Scale on blackcurrant: the RhizoDia project**. Actes du 6^e Congrès Mondial du Cassis, Angers 6-8 juin 2018.
<https://www.blackcurrant-iba.com/event/wp-content/uploads/2018/07/5-Rhizodia-program.pdf>



Développement d'un piège attractif de biocontrôle pour surveiller et contrôler le papillon palmivore, *Paysandisia archon*

Année de démarrage : 2018

Année de fin : 2021

Partenaires

INRAE – iEES Paris ; Sauvons nos palmiers (SNP) ; M2i Group

Responsable scientifique

Brigitte Frérot, INRAE – iEES Paris
brigitte-frerot@inrae.fr

Financement

Coût total du projet : 226 902 €
Subvention Écophyto : 120 000 €

Mots clés :

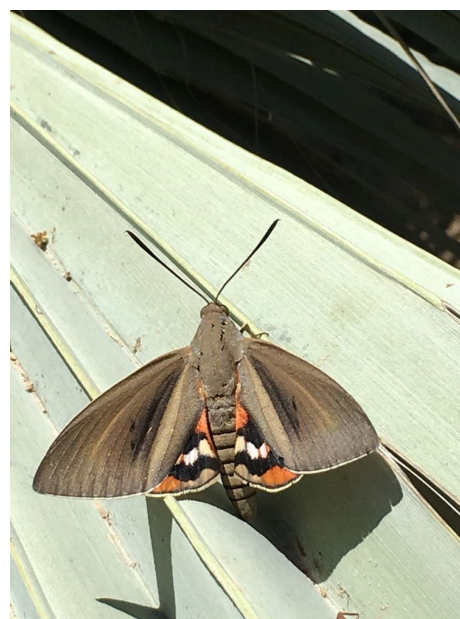
Attraction ; Phéromone ; COV ; Piège ; Biocontrôle ; Médiateurs chimiques ; Palmier ; *Paysandisia archon*

Contexte et principaux objectifs

Paysandisia archon est un papillon originaire d'Uruguay. Il n'est pas considéré comme ravageur dans son aire d'origine. En Europe, où il a été introduit accidentellement à la fin des années 90, sa larve cause d'importants dégâts sur tous les palmiers. Une phéromone a été identifiée. Elle présente la particularité d'être émise par le mâle et d'attirer les femelles. L'insecte est de grande taille avec une envergure de 11 cm. Du fait de son développement à l'intérieur du stipe, les solutions de lutte qu'elles soient conventionnelles ou biologiques sont peu efficaces. L'utilisation des phéromones peut apporter un plus pour adapter au mieux les traitements ou par la lutte directe par piégeage de masse des femelles fécondées.

Le projet vise à comprendre le mode de fonctionnement de la phéromone produite par le mâle et devrait aboutir à son utilisation en piégeage de masse ou pour surveiller le ravageur. Pour cela, ce projet intègre des études comportementales et physicochimiques pour une optimisation de la phéromone : sa composition et la dose appliquée. Le projet s'attache aussi à la conception d'un piège adapté au papillon ; les pièges disponibles dans le commerce n'étant pas adaptés à la grande taille et au comportement du ravageur. Dans un second temps, le projet s'est intéressé aux composés organiques volatils (COV) émis par la couronne du palmier, qui est le site de ponte.

Le projet rassemble trois partenaires : Le laboratoire d'écologie chimique de l'UMR iEES 1392 de l'INRAE de Versailles, la société M2i et l'association Sauvons Nos Palmiers (SNP), qui est constituée d'un collectif de propriétaires de palmiers. Cette collaboration permet de rassembler les compétences scientifiques sur les médiateurs chimiques, tant pour leur identification que pour leur formulation, avec un industriel spécialisé dans la synthèse des phéromones de Lépidoptères et dans leur formulation sur des matrices innovantes et biodégradables. Le partenaire SNP est très impliqué dans la communication et l'information sur les ravageurs du palmier. Ce partenaire a joué un rôle essentiel dans la réalisation du projet en hébergeant les installations de terrain.



Paysandisia archon
Crédit photo : © Brigitte Frérot – INRAE iEES Paris

Le principal résultat attendu est un produit commercial de biocontrôle constitué par un piège et un ou deux types d'attractifs visant le contrôle du papillon. Ce produit permettra d'améliorer l'épidémiologie-surveillance du ravageur et sa gestion précoce, ainsi que son contrôle par du piégeage de masse. Ce type de solution permet d'améliorer la collecte d'informations et de limiter le recours aux produits phytosanitaires. Dans le cadre d'une lutte intégrée en association avec les solutions de biocontrôle disponibles, l'ajout de cette solution devrait aussi permettre d'atteindre l'objectif "zéro pesticide" pour la gestion de ce bioagresseur.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

I) Identification, formulation et observation de l'effet des phéromones

Le projet SEMIOTRAP fait suite à :

1- l'identification de la phéromone produite par les mâles et à la démonstration de son attractivité pour les femelles, indépendamment de la vision.

2- à la démonstration de l'attraction des femelles fécondées par l'odeur du stipe de palmier.

Lors de l'étude de l'attraction avec la phéromone de synthèse, nous avons démontré que le composé identifié n'est jamais aussi attractif que la phéromone naturelle, et que le taux d'atterrissage reste bien inférieur à celui attendu pour un dispositif de piégeage. La phéromone a donc été étudiée à nouveau et deux nouveaux composés minoritaires ont été détectés, dont un seulement a pu être identifié : le Z9-18 : AC.

De nombreux mélanges ont été testés en tunnel de vol, mais aucun ne s'est avéré aussi performant que l'extrait naturel, sauf le **E2Z13ODOL+ Z9-ODAC** (10µg+0,1µg), qui induit 20% d'atterrissage, mais qui n'a été testé que sur un très faible effectif.

Temps de rétention (min)	Indice de rétention (RI)	Composé identifié	Washingtonia	Trachycarpus	Phoenix
2,36	854,3	Hexanal	7,84%	6,69%	2,14%
2,95	890,5	Ethylbenzene	2,50%	2,39%	1,55%
3,05	896,4	p-Xylene	4,55%	3,63%	2,43%
3,2	905,5	3-Heptanone	2,20%	1,56%	2,50%
3,39	916,8	heptanal	5,40%	5,59%	2,86%
3,84	944,1	α-Pinene	1,04%	0,90%	3,79%
4,09	959,4	2-Ethylhexanal	3,89%	2,28%	3,03%
4,24	968,6	Benzaldehyde	5,56%	7,19%	9,79%
4,83	1004,1	Octanal	3,89%	3,10%	2,74%
5,26	1030,1	Limonene	20,34%	32,19%	22,47%
5,34	1035,6	Benzyl alcohol	14,50%	13,82%	11,92%
6,5	1105,5	Nonanal	7,10%	4,99%	5,48%
7,22	1147,2	3-Methylheptyl acetate	0,45%	0,48%	0,84%
7,4	1156,3	Isomenthone	0,37%	0,19%	0,00%
7,63	1171	2-Decenol	0,93%	0,69%	0,91%
7,85	1183,3	p-Ethylbenzaldehyde	0,00%	0,33%	0,67%
8,03	1194,6	Methyl salicylate	0,00%	0,08%	0,00%
8,25	1207	Decanal	5,43%	5,19%	4,66%
8,49	1220,8	2-phenoxyethanol	11,37%	8,38%	21,59%
9,15	1259,3	p-Anisaldehyde	0,89%	0,34%	0,00%
9,58	1285,5	Anethole	0,96%	0,00%	0,00%
12,24	1448,9	cis-Geranylacetate	0,78%	0,00%	0,64%

Identifications des composés émis par les couronnes de plusieurs espèces de palmiers. (En bleu les composés testés) Crédit image : INRAE

Le second résultat important porte sur la démonstration de l'attraction des mâles par la phéromone émise par eux-mêmes ou leurs congénères. Il ne fait aucun doute que les mâles retournent se poser sur les spots marqués soit par leurs congénères de même sexe, soit sur les spots marqués par eux-mêmes. Nous avons aussi démontré que ce n'était pas le résultat d'un polymorphisme phéromonal significatif chez les mâles.

II) Essais de pièges :

Aucun des pièges testés n'a été efficace. Les pièges harpes électriques ou cloches compatibles avec la réglementation et la sécurité ne produisent pas une décharge suffisante pour tuer l'insecte. Les pièges filets, nasses, ne sont pas compatibles avec le comportement de l'insecte.

III) Caractérisation COVs de palmiers :

En 2019, nous avons élargi la gamme des molécules et avons testé la plupart des molécules produites par la couronne de palmiers, plus quelques molécules souvent émises par les plantes comme le DMNT, le caryophyllène, etc. Certains de ces produits sont très bien perçus par les antennes des femelles vierges, avec des réponses proches de 2 mV. C'est le cas du Méthylsalicylate, 1-phenoxy-2-propanol, phénol, butyrolactone, anisaldehyde et surtout du caryophyllène. L'alpha-pinène présent dans les odeurs émises par la couronne des palmiers et décrit comme inhibiteur de l'attraction chez le RPW (Soroker et al.), n'est pas très bien perçu par *Paysandisia archon*.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Le *Paysandisia* est un insecte complexe de par sa biologie et sa taille. La plante hôte est disséminée dans le paysage urbain.

Les études de l'attraction des mâles et des femelles par la phéromone de synthèse doivent être poursuivies ainsi que l'identification du troisième composé. C'est une étude longue mais qui à terme pourrait permettre de diminuer les populations par piégeage des deux sexes.

Les résultats actuels n'ont pas abouti à une solution mais ont contribué à faire avancer les connaissances les médiateurs chimiques qui agissent sur la reproduction et la ponte de l'insecte. On sait que la plante attire les femelles fécondées et les COV sont identifiés. De potentiels inhibiteurs de la localisation du site de ponte ont été proposés et devraient être testés.

Recherche :

La mise sur le marché d'une nouvelle technique à base de médiateurs chimiques n'est pas facile et passe par une approche comportementale longue dans le cas d'insecte qui sorte du modèle connu.

Il va falloir trouver le mélange phéromonal optimal, investiguer le rôle des COV produits par la plante dans la perspective de produire plusieurs attractifs : un attractif sexuel, un attractif pré-oviposition.

M2i prolonge les recherches notamment sur l'optimisation du design d'un piège filet qui permettra de capturer les insectes attirés.

Publications et colloques scientifiques :

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ RACHID HAMIDI ET BRIGITTE FRÉROT, INRAE, UMR 1392, IEES, Route de St-Cyr, Versailles F-78000. **Les médiateurs chimiques, clés de voûte du cycle de *Paysandisia archon***. L'étude des médiateurs chimiques intervenant dans le cycle de développement du papillon palmivore doit permettre de développer de nouvelles solutions de lutte. Phytoma 740 Mai 2021

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ La présence de l'association SNP parmi les membres du consortium a garanti, *via* leur colloque annuel « Les rencontres "ravageurs de palmiers" de Monaco » et *via* ses interventions publiques régulières, de sensibiliser les acteurs à la lutte biologique et à mettre en lumière les avancées du programme auprès des collectivités locales PACA et des particuliers :

https://www.sauvonsnospalmiers.fr/les-quatriemes-rencontres-ravageurs-de-palmiers-de-monaco.html?id_document=3402.



Désinfection des sols en cultures maraichères

Année de démarrage : 2015
Année de fin : 2019

Partenaires
CETU Innophyt, Université de Tours ; CIRAD ; CIRAD/IRD/ SupAgro / UM2 UMR LSTM ; INRAE ; IRBI UMR CNRS 7261 Université Tours ; EBI UMR CNRS 7267 Université Poitiers ; GRAB-Avignon ; CERTIS Europe ; Delbon SARL

Responsable scientifique
Ingrid Arnault, CETU Innophyt, Université de Tours
ingrid.arnault@univ-tours.fr

Financement
Coût total du projet : 349 070 €
Subvention Écophyto : 140 930 €

Mots clés :

Tomate ; *Allium* ; *Crotalaria* ; Nématodes ; Flétrissement bactérien ; DMDS ; Mulch ; Précédent cultural ; Bâchage ; Effets non intentionnels ; Biostimulation; Allélopathie.

Contexte et principaux objectifs

En Martinique, *Ralstonia solanacearum*, la bactérie responsable du flétrissement bactérien (organisme de quarantaine), est le premier bio-agresseur des Solanacées et Cucurbitacées avec des pertes allant jusqu'à 100%. A l'heure actuelle, il s'agit d'un usage orphelin. Les nématodes à galles du genre *Meloïdogyne* causent 40% de pertes dans les serres de tomates du sud de la France. Seul le dichloropropène est actuellement en usage dérogatoire. Les besoins en solutions agro-écologiques permettant de sécuriser les productions sont donc très importants pour les maraîchers. Les stratégies de biocontrôle étudiées dans SERUM reposent sur la bio désinfection des sols avec des PdS (plantes de service), crotalaires et Alliées, en précédent cultural/mulch (Figures 1 et 2) et/ou enfouissement de broyat sec ou frais et, en association. Le disulfure de diméthyle (DMDS) -molécule volatile libérée par les *Allium*-représente une solution de désinfection des sols (nématodes, champignons telluriques, adventices) a déjà reçu son homologation d'agent de fumigation des sols dans plusieurs pays sur les cultures spécialisées. Ses propriétés antibactériennes contre l'agent du flétrissement bactérien ont été explorées pour une utilisation en agriculture raisonnée.

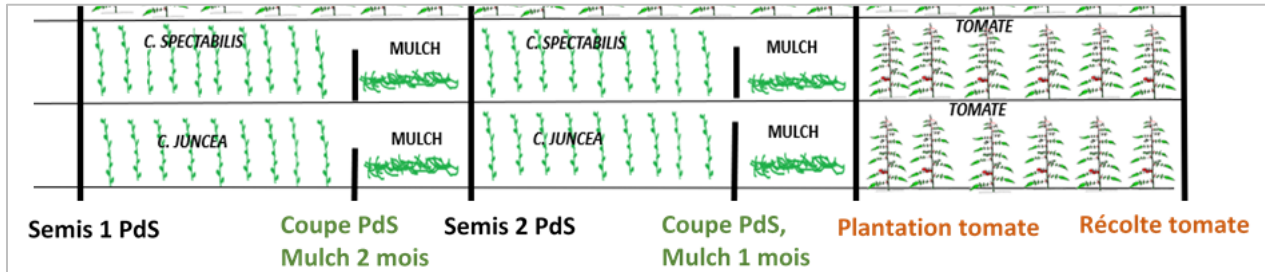


Figure 1 : mulch de *C. Spectabilis*.
Crédit photos : © Ingrid ARNAULT, CETU Innophyt

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Le projet a démontré un intérêt des plantes de service en désinfection de sol sur tomate sous trois angles différents de production et de problématiques.

- 1) Contre l'agent du flétrissement bactérien en culture tropicale, *C. juncea* positionnée en **précédent cultural de deux cycles suivi d'un mulch** (Figure ci-dessous) permet de diminuer la sévérité de la maladie.



Design de bio-désinfection en culture de tomate contre l'agent du flétrissement bactérien en Martinique.
Crédit image : © Ingrid ARNAULT, CETU Innophyt

Néanmoins, cette utilisation présente des inconvénients pour les professionnels dans les itinéraires techniques. **Une utilisation de *C. juncea* en poudre ou broyat dans le sol constituerait la solution la plus réalisable.** Une filière de production de formes séchées de *C. juncea* devrait ainsi être mise en place pour une meilleure intégration dans les systèmes de culture.

Concernant la cive antillaise qui présente des effets antibactériens intéressants, son utilisation en mulch n'est pas envisageable du fait de sa haute valeur ajoutée en cuisine.

- 2) Contre les **nématodes à galles** du genre *Meloïdogyne* en métropole en **production maraîchère sous serre**, *C. spectabilis* en **précédent cultural/mulch suivi d'un enfouissement dans le sol** semble réduire les galles sur salade. L'incorporation de poudre de crotalaire au sol présente aussi des résultats intéressants de réduction de galles sur tomate.
- 3) Contre les **nématodes à galles** du genre *Meloïdogyne* en métropole **sous tunnel**, les essais dégagent timidement un intérêt de **la ciboulette et l'oignon en broyats dans le sol**. Il faut néanmoins poursuivre les recherches de design expérimental : dose optimale de broyat sec ou frais dans le sol couplée à un bâchage adéquat, utilisations en précédent cultural /mulch, association des crotalaires et *Allium sp...*

Lorsque les pressions parasitaires sont très élevées, comme cela a été le cas dans les essais nématodes et *R. solanacearum*, les PdS en précédent cultural/mulch ou en broyat dans le sol ne permettent pas toujours de sécuriser les productions. Il faudrait envisager une stratégie avec un pesticide pendant la phase culturale permettant de réduire définitivement les pathogènes.

Le projet a mis en évidence le caractère antibactérien du DMDS. Ce produit constitue une alternative prometteuse contre cette bactérie pathogène en région tropicale et potentiellement invasive pour les climats tempérés. L'avenir de l'usage avec le DMDS, actuellement orphelin, dépend de la demande d'homologation en Europe, actuellement en cours.

Concernant les effets non intentionnels, des constats plutôt positifs des PdS ont pu être établis. Ces PdS stimulent les populations microbiennes du sol et la croissance sur la tomate. Un seul effet toxique des extraits de *C. juncea* et du DMDS à des doses très fortes, qui ne sont pas celles pratiquées au champ, serait à considérer sur les cloportes.



Figure 2 : À gauche : coupe de *C. Spectabilis* ;
Crédit photos : © Ingrid ARNAULT, CETU Innophyt

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

La question du caractère générique de la méthode est importante pour le biocontrôle. Au regard des résultats du projet, une transposition à d'autres cultures maraichères est délicate mais possible, si et seulement si ce sont les mêmes conditions de production : tunnel, serre, plein champ. Par exemple, nous avons pu mettre en évidence sur salade un effet anti-nématode de *C. spectabilis* en précédent cultural, suivi d'un mulch.

Recherche :

Des stratégies alliant le préventif avec le PdS, en pré-culture, et le curatif avec le DMDS, au moment de la culture de tomate, permettrait de limiter définitivement les pathogènes.

Dans les perspectives et dans la mesure du possible, il conviendrait de tester cette stratégie à une rotation de culture afin de diminuer le potentiel infectieux des sols. En effet, les modes d'actions seraient différents et probablement complémentaires.

La bio stimulation par les PdS au niveau des racines de tomates et des populations microbiennes du sol suggère de renforcer des études sur la rhizosphère et les interactions symbiotiques : mycorhizes, bactéries antagonistes, bactéries ondulantes...

Publications et colloques scientifiques :

- ▶ Poster : Biocontrol and Natural Products, 25-28 septembre 2018, Perpignan. I. Arnault, P. Deberdt, G. Dubreuil, Y. Prin, P. Fernandes, H. Védie, P. Sunder, T. Fouillet, G. Dufretay, C. Souty-Grosset, N. Pourtau, M. Zimmermann, D. Giron. **Biodésinfection des sols en culture de tomate.**
- ▶ Poster : Future IPM 3.0: towards a sustainable agriculture. 16-20 Octobre 2017, Italy. **Allelopathic effects of *Crotalaria juncea* and dimethyl disulfide (DMDS) on tomato plants in the future development of a biocontrol method against root-knot nematodes.** G. Dubreuil, N. Pourtau, N. Moreau, C. Leboissetier, M. Piot, D. Giron, et I. Arnault.
- ▶ Poster : 13^e Rencontres Plantes-Bactéries. 29 janvier-2 février 2019, Aussois. **Beneficial effect of the use of the tropical legume *Crotalaria* spp for organic greenhouse vegetable production in nematodes-infested soil of South of France.** Y. Prin, F. Cussonneau, C. Le Roux, E. Tournier, B. Vincent, R. Duponnois, F. Deleuze, A. Galiana.
- ▶ Manuscrit soumis European Journal of Agronomy (depuis le 6 mars 2019). **Beneficial effect of the use of the tropical legume *Crotalaria* spp for organic greenhouse vegetable production in nematodes-infested soil of South of France.** Y. Prin, F. Cussonneau, C. Le Roux, E. Tournier, B. Vincent, R. Duponnois, F. Deleuze, A. Galiana.
- ▶ Proceedings of IX International Symposium on Soil and Substrate Disinfestation (SD 2018) 9-13 September 2018, Heraklion, Crète. **Soil disinfestation with dimethyl disulfide (DMDS) to manage the bacterial wilt of tomato in the tropics.** P. Deberdt, R. Coranson-Beaudu, C. Thibaut, N. Le Roch, T. Fouillet, P. Sunder and I. Arnault.



Conception de SYSTEmes de culture basés sur l'utilisation de la MYCorhization pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques de la tomate

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2018

Partenaires

UR 1321 ASTRO INRAE ; Université des Antilles ; INRA UR Ecodéveloppement ; INRA UE Alénya-Roussillon ; Institut Sophia Agrobiotech

Responsable scientifique

Marie Chave, UR 1321 ASTRO INRAE
marie.chave@inrae.fr

Financement

Coût total du projet : 528 074 €
Subvention Écophyto : 99 297 €

Mots clés :

Biodiversité du sol ; Mycorhizes ; Biocontrôle ; Reconception du système de culture ; Cultures légumières ; Travail de co-conception avec les agriculteurs ; Verrouillage socio-technique ; Apprentissage ; Outil pédagogique

Contexte et principaux objectifs

Les cultures maraîchères, en métropole comme aux Antilles, sont touchées par un parasitisme tellurique exacerbé qui affecte fortement les rendements. Suite aux interdictions d'emploi de produits phytopharmaceutiques (nématocides, bromure de méthyle etc.), le développement de stratégies de biocontrôle est une nécessité. Les interactions entre plantes et micro-organismes du sol, telles que les symbioses mycorhiziennes, offrent de nouvelles solutions pour une gestion agroécologique de la santé des cultures. Dans ce contexte, le projet SYSTEMYC avait pour objectifs de :

- i. Co-concevoir des systèmes de culture qui mobilisent les mycorhizes pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques
- ii. Construire des dispositifs qui permettent d'identifier les freins et les leviers à l'utilisation de la mycorhization par les agriculteurs et favorisent les apprentissages nécessaires à sa mise en œuvre pour le biocontrôle
- iii. Évaluer des stratégies innovantes de valorisation des mycorhizes en systèmes de culture maraîchère tempérés et tropicaux

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

Si l'approche "un bioagresseur : une solution" reste valide pour l'utilisation de certains produits de biocontrôle, elle ne s'applique pas aux mycorhizes. En effet, les mycorhizes 1) ont un effet multi-bioagresseurs, 2) ont des modes d'action multiples, directs et indirects, 3) sont impactées par la majorité des pratiques agricoles.

Mobiliser les mycorhizes pour le biocontrôle nécessite de renouveler l'approche de la protection des cultures. Les principaux résultats du projet SYSTEMYC sont :

1. Un dispositif d'apprentissage collectif MYMYX¹ («Mimic Mycorrhizal networks»), qui alterne ateliers participatifs (Figure 1 et 2) et enquêtes sur les exploitations et a permis d'appréhender la complexité et l'incertitude des processus mycorhiziens et d'identifier les freins et les leviers à leurs valorisation. Parmi les 50 agriculteurs impliqués, on distingue deux pools d'agriculteurs aux



Figure 1 : Le plateau de jeu MYMYX.
Crédit photo : © Marie Chave, INRAE

¹ MYMYX : (« Mimic Mycorrhizal networks ») est un support qui permet d'appréhender les interactions souterraines via la création et le maintien d'un réseau par le développement de segments de filaments mycorhiziens (en blanc). Il s'agit, pour les joueurs, de construire une stratégie, c'est-à-dire un ensemble de pratiques (cultures/inter-cultures, travail du sol, fertilisation, phyto-protection, introduction de mycorhizes commerciales ou non...) pour concevoir un système de culture qui permette aux racines (représentées aux quatre coins du plateau) d'accéder le plus rapidement possible aux ressources nutritives (i.e. phosphore en jaune, eau en bleu, etc.) tout en étant protégées des attaques des bioagresseurs (en rouge).

caractéristiques différenciées en termes de dynamisme de proposition et de niveau de frein identifié vis-à-vis de la mise en oeuvre de la mycorhization : un "pool proactif" et un "pool réservé". Les agriculteurs du "pool proactif" montrent une capacité à adopter une approche de reconception alors que ceux du "pool réservé" montrent une plus faible propension à combiner les concepts. On observe une diversité de réponses territoriales quant à l'énoncé des propositions.

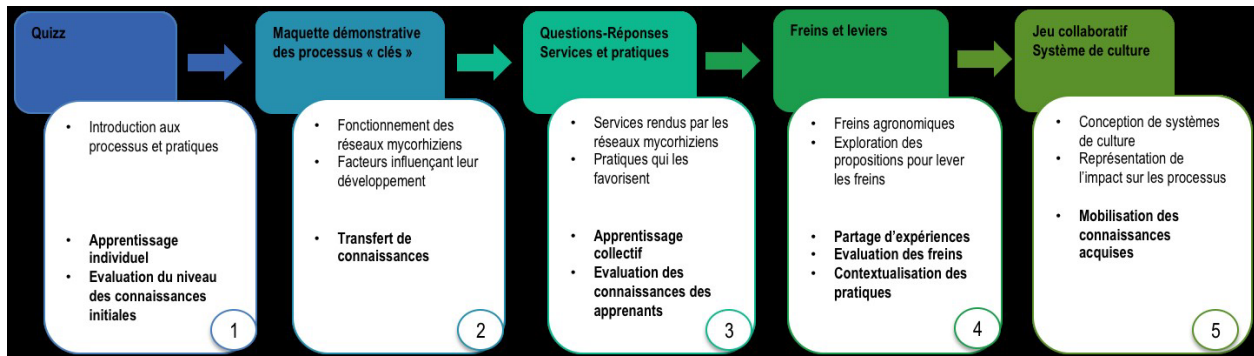


Figure 2 : Déroulement des 5 séquences de l'atelier participatif « Partage de connaissances » mis en œuvre dans les 4 territoires d'étude (Martinique, Guyane, Guadeloupe et Provence).

2. Une démarche de conception innovante qui s'appuie sur le dispositif MYMYX a permis d'ouvrir les perspectives d'utilisation des mycorhizes pour le biocontrôle. Appliquée dans une grande diversité de contextes, elle a conduit à la production d'un arbre hiérarchique résultant des propositions des agriculteurs et structuré en trois niveaux : concepts, sous-concepts et pratiques. Les concepts explorés sont (C1) l'introduction de propagules de souches commerciales standard ou indigènes (naturelles), (C2) la connexion des champignons mycorhiziens avec les plantes par associations et rotations culturales, (C3) la densification des réseaux mycorhiziens par la réduction du travail du sol et des intrants (fertilisants et produits phytopharmaceutiques) (Figure 3). Ce large éventail de solutions, non exhaustives et à adapter à chaque contexte au sein d'un raisonnement systémique, permet aux agriculteurs de comprendre qu'ils sont tous potentiellement "producteurs de mycorhizes".

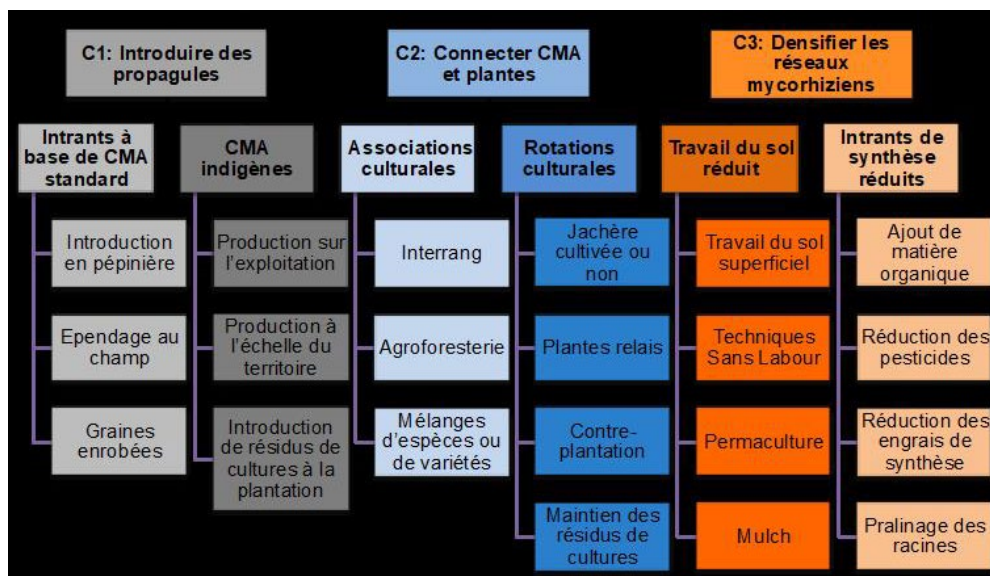


Figure 3 : Extrait de la bibliothèque de propositions de leviers à la mobilisation de mycorhizes (issus des 4 territoires d'étude : Martinique, Guyane, Provence et Guadeloupe), CMA : Champignons Mycorhiziens à Arbuscules. *Crédit image* : © Marie Chave, INRAE

3. Le développement de stratégies et de dispositifs innovants a permis de valoriser les réseaux mycorhiziens indigènes pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques en cultures maraîchères. L'évaluation expérimentale de cette stratégie a été portée par des groupes d'acteurs locaux en Martinique et en Guyane. Menée en parallèle dans les unités expérimentales (INRAE Alénya et PEYI), l'évaluation d'une stratégie de mycorhization innovante, basée sur la multiplication de mycorhizes indigènes pour pré-mycorhizer la tomate a montré : 1. en pépinière : la faisabilité et l'efficacité de cette stratégie au sein de prototypes de bacs de mycorhization, 2. au champ : l'intérêt d'une mycorhization précoce pour la santé des cultures, 3. en conditions contrôlées : l'efficacité de la mycorhization d'une tomate à partir du réseau mycorhizien comparée à une mycorhization par inoculation de propagules et l'effet bioprotecteur de la mycorhization vis-à-vis des nématodes à galles.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

Les résultats et outils développés dans le projet SYSTEMYC ont été mobilisés dans des projets CasDAR (Mycogra et Mycado). L'outil pédagogique MYMYX a été reconçu avec l'enseignement et le conseil agricoles. Ce type d'approche de reconception dans l'usage est nécessaire pour accompagner les acteurs de la transition, leurs changements de postures afin de produire/enseigner/conseiller/chercher autrement.

Si la démarche de 'valorisation de la biodiversité pour la santé des cultures' développée dans SYSTEMYC a été centrée sur les mycorhizes, elle est générique et applicable à d'autres processus de régulation naturelle (mobilisation d'auxiliaires par exemple).

Recherche :

Poursuivre les travaux d'analyse des interactions entre plantes via les réseaux mycorhiziens permet d'ouvrir de nombreuses possibilités de gestion de la santé des cultures combinant effet bioprotecteur et effet assainissant des plantes mycorhizotrophes (cf. projet MultiServ, INRAE SuMCrop).

À l'échelle des systèmes de culture, poursuivre l'évaluation au champ de l'impact des nombreuses stratégies de valorisation des mycorhizes pour le biocontrôle est nécessaire (cf. projet Dephy Expé Cabiosol, porté par la FREDON Martinique).

À l'échelle territoriale, l'analyse des freins et leviers à la mise en œuvre du biocontrôle est à poursuivre (cf. projet Écophyto Interlude).

Publications et colloques scientifiques :

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

- ▶ **International Conference On Mycorrhizae, Mexico (30/06/2019 - 05/07/2019) : A participatory approach to harness native mycorrhizae.** Chave M, Angeon V, Harter AC, Goasduff M, Paul G, Quinquenel S, Ster H.
- ▶ **International Conference on Plant Protection, Boston, USA (29/07/2018 - 03/08/2018) : Agroecological engineering for biocontrol of soil pests- examples from the French Caribbean.** Chave M, Angeon V.
- ▶ **Scientific Advisory Board du métaprogramme SMAcH, Versailles, FRA (29/01/2018) : Harnessing mycorrhiza for crop health: an agroecological approach.** Chave M, Angeon V.
- ▶ **54th Caribbean Food Crops Society symposium. Belize (07-15/07/2018) : Agroecological production and consumption models in the context of transition: the approach of the economies of worth.** Angeon V, Crevoisier O.
- ▶ **Salon Tech & Bio. 20-21/09/ 2017. Valence : Poster et atelier : « Cultivez vos mycorhizes ! ».** Chave M., Paut R., Angeon V., Lefevre A., Dufils A., Tchamitchian M.
- ▶ **Séminaire de restitution du réseau TANDEM, Avignon, FRA (16/10/2017) : Les systèmes de culture maraîchers : des laboratoires pour la co-conception d'innovations agroécologiques ? Focus sur les réseaux mycorhiziens.** Chave M, Angeon V, Paut R, Tchamitchian M.
- ▶ **54ème Colloque ASRDLF, Conférence ERSA-GR, Athènes, GRC (05-07/07/2017) : Mettre en œuvre la transition agréocologique : un défi d'apprentissage et de partage de connaissances par et pour l'action.** Angeon V, Chia E, Chave M, Auricoste C.
- ▶ **52nd Caribbean Food Crops Society symposium. Gosier, Guadeloupe (07-15/07/2016) : How to foster mycorrhiza ? From brakes to levers.** Chave M, Paut R, Angeon V, Dufils A, Lefèvre A, Tchamitchian M 2016.

ARTICLES DE VALORISATION/VULGARISATION :

- ▶ **Cahiers des techniques INRA : Des tomates mycorhizées dès la pépinière pour favoriser la nutrition et la protection des plantes : développement d'un dispositif-pilote.** Julianus P, Perrin B, Chave M. 2019.
- ▶ **Fiche technique en ligne sur geco.ecophytopic.fr : « Les mycorhizes : des réseaux vivants au service de la protection des cultures ».** Chave M., Paut R., Perrin B., Dufils A. 2017.
http://geco.ecophytopic.fr/documents/20182/21720/pdf_Cultiver_des_esp_ces_mycorhizes_2.pdf
- ▶ **Fiche technique en ligne sur geco.ecophytopic.fr : « Multiplier des champignons mycorhiziens sur son exploitation ».** Chave M., Paut R., Perrin B., Dufils A. 2017
http://geco.ecophytopic.fr/documents/20182/21720/pdf_Multiplier_des_champignons_mycorhiziens_sur_son_exploitation_1.pdf
- ▶ **Fait marquant INRA EA-SAD 2016 : MYMYX, un dispositif participatif de conception d'innovations agroécologiques pour valoriser les réseaux mycorhiziens.** Chave M., Angeon V. 2016.

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION :

- ▶ **Formation annuelle APCA-RESOLIA (2019) : Développer les symbioses mycorhiziennes au profit des cultures.** Formation à destination des conseillers agricoles. Hirissou F, Chave M, Auricoste C, Lendure A.
- ▶ **Présentation au réseau DEPHY Ferme Bouches du Rhône (28/01/2016) : Comment valoriser les mycorhizes en agriculture ?** Paut R., Chave M., Angeon V.
- ▶ **Fait marquant INRA EA-SAD 2016 : MYMYX, un dispositif participatif de conception d'innovations agroécologiques pour valoriser les réseaux mycorhiziens.** Chave M., Angeon V. 2016.
- ▶ **Présentation dans le cadre du Forum territorial Culture Science PACA (22/09/2016) : Accompagner la transition écologique en agriculture par le jeu.** Paut R, Chave M, Angeon V., Tchamitchian M.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ **Agronomy for Sustainable Development (n°39, p 48) : Codesigning biodiversity-based agrosystems promotes alternatives to mycorrhizal inoculants.** Chave M, Angeon V, Paut R, Collombet R, Tchamitchian M. 2019.
- ▶ **Phytopathologia Mediterranea (n°59[2], pp 377-384) : Protective effects of mycorrhizal association in tomato and pepper against *Meloidogyne incognita* infection, and mycorrhizal networks for early mycorrhization of low mycotrophic plants.** Rodriguez-Heredia M, Djian-Caporalino C, Ponchet M, Lapeyre L, Canaguier R, Fazari A, Marteau N, Industri B, Chave M.
- ▶ **Agroecological transitions : from theory to practice in local participatory design (pp 99-120) : A plurality of viewpoints regarding the uncertainties of the agroecological transition.** Magda D., Girard N., Angeon V., Cholez C., Raulet-Croset N., Sabbadin R., Salliou N., Barnaud C., Monteil C., Dubois Peyrard N. 2019. In: E. Audoin, J.E. Bergez, O. Therond, dir.
- ▶ **Innovations Agronomiques (n°64, pp 97-111) : Du partage de connaissances à la co-conception d'innovations agroécologiques : Exemple de la mobilisation des mycorhizes en Guyane.** Chave M, Angeon V. 2018.
- ▶ **Mycorrhiza (n° 27, pp 719-723) : *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 transitorily reduces tomato bacterial wilt severity caused by *Ralstonia solanacearum* under in vitro conditions.** Chave M, Crozilhac P, Deberdt P, Plouznikoff K, Declerck S. 2017.

AUTRES VALORISATIONS :

- ▶ **MYMYX, jeu de plateau visant à favoriser le partage de connaissances autour des mycorhizes et la conception de systèmes de culture qui les valorisent.** (DI-RV-15-15-0020. Enveloppes Soleau n°582327 et n°582992. Marque n°174341832 déposée au nom de l'INRA en classes 9, 28 et 41.) Chave M, Angeon V, Giraud N. 2017.
- ▶ **Reconception de l'outil MYMYX et production des éléments mobiles.** N Giraud. 2016.
- ▶ **Réalisation d'une série limitée de 4 plateaux de jeu MYMYX, UE INRA Alénia-Roussillon.** Mention G. 2016.
- ▶ **Les Mycorhizes. Emission de radio Kamannyok.** Guadeloupe Première. Chave M., Angeon V. 2016. 22 octobre 2016



Trajectoires

Trajectoires familiales et utilisation des pesticides dans des territoires à enjeux

Année de démarrage : 2015

Année de fin : 2019

Partenaires

LPED Aix-Marseille Université ; INRAE Lyon et Montpellier ; Bureaux d'études Ressources

Responsable scientifique

Carole Barthélémy, LPED Aix-Marseille Université
carole.barthelemy@univ-amu.fr

Financement

Coût total du projet : 177 916 €
Subvention Écophyto : 89 991 €

Mots clés :

Analyse sociologique ; Trajectoires familiales ; Utilisation des pesticides ; Approche interdisciplinaire ; Viticulture ; Riziculture ; Oléiculture ; Arboriculture

Contexte et principaux objectifs

Dans le cadre de la politique nationale Ecophyto (2018, 2 et 2+), si l'on se réfère à l'indicateur utilisé pour évaluer les effets de cette politique, à savoir le Nombre de Doses Unité (NODU), le bilan est globalement décevant au vu de l'objectif poursuivi d'une réduction de 50% des utilisations en dix ans¹. Guichard et al.² mettent en évidence deux freins majeurs quant à ce bilan. Le premier résiderait dans un manque de vision systémique du plan Ecophyto, uniquement centré sur les agriculteurs et leurs conseillers, oblitérant ainsi les « verrouillages sociotechniques »³, rejoignant ainsi une critique émise dans le rapport Potier au sujet d'une « vision trop étroitement technique et « pas assez systémique »⁴. Le second frein concernerait le choix et l'utilisation des indicateurs de suivi qui restent essentiellement d'ordre quantitatif, ne permettant pas de repérer des changements plus confidentiels ou des amorces de changement.

C'est dans ce contexte que le projet « Trajectoires » s'inscrit afin de contribuer à la réflexion sur le changement de pratiques dans l'utilisation des produits phytosanitaires. Concernant les limites d'une approche basée sur une évaluation par des indicateurs quantitatifs et chiffrés, la recherche repose majoritairement sur des données qualitatives issues d'entretiens sociologiques, rendant compte des points de vues et des expériences des agriculteurs et des acteurs du monde agricole.

Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

La recherche sociologique s'est établie sur une comparaison de quatre territoires agricoles présentant des cultures et des dispositifs différents en matière de réduction des produits phytosanitaires : riziculture en Camargue et oléiculture en Alpilles-Sud ; viticulture dans le Beaujolais et en cœur d'Hérault ; arboriculture dans le Comtat (Nord-Alpilles). 146 entretiens semi-directifs ont été réalisés se répartissant entre 120 exploitants agricoles et 26 acteurs du monde agricole et qui ont fait l'objet d'une analyse de contenu comparative.

Afin de nouer un dialogue interdisciplinaire, quatre séminaires ont été organisés sur chacun des terrains d'enquête. Chaque séminaire s'organisait autour d'une visite du terrain entre l'équipe du projet et un ou des agriculteurs et/ou des acteurs locaux. Des entretiens collectifs ont ainsi été menés, ce qui a amené les chercheurs en sciences de l'environnement à s'intéresser aux discours des agriculteurs. Un exercice d'analyses de certains verbatims a été mené par ces chercheurs. Enfin, un autre dialogue interdisciplinaire a été réalisé entre l'ergotoxicologie et la sociologie afin de confronter les deux regards disciplinaires sur le dispositif Certiphyto.

Le premier élément constituant un point très stabilisé dans l'ensemble des entretiens concerne l'évocation par les agriculteurs d'une période d'utilisation systématique et sans grande protection des produits phytosanitaires. L'élément structurant repose sur le fait que nous avons, sur chacun de nos terrains, pris connaissance d'initiatives individuelles et collectives plus ou moins anciennes qui suggèrent une prise de distance avec le référentiel

¹ Note de suivi 2017, Ministère de la Transition écologique et solidaire, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, juillet 2018.

² Laurence Guichard *et al.*, « Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer », *Cahiers Agricultures* 26, no 1, 2017.

³ Guichard *et al.*, p.1.

⁴ Rapport de Dominique Potier, Pesticides et agro-écologie, les champs du possible, Novembre 2014, p. 61.

systémique précédemment décrit et génèrent des changements de pratiques quant à l'utilisation des produits phytosanitaires. Ces prises de distance s'expliquent par un certain nombre de facteurs dont les plus explicites sont les suivants : le poids des normes administratives émanant des acteurs privés ou des services de l'Etat/la pression sociale/la solidarité et la loyauté envers la famille/l'attachement au territoire.

Les échanges interdisciplinaires pratiqués dans le projet Trajectoires soulignent les limites quant aux trajectoires des connaissances diffusables dans le cadre de la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, trop normalisées dans le cadre de Certiphyto et inadaptées aux publics concernés, trop éloignées encore des préoccupations techniques des agriculteurs. Notre réflexion aboutit à questionner cette segmentation cognitive et appelle à imaginer des espaces de co-construction qui pourraient être l'objet de l'action publique.

Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

Transfert :

L'enjeu du projet Trajectoires était de s'inscrire dans la lignée de travaux existants en sociologie compréhensive pour apporter des éléments à une meilleure efficacité de l'action publique et de partager cette démarche avec des chercheurs en sciences de l'environnement. Quatre perspectives se dégagent de notre démarche :

- Se positionner sur le registre des idées et de la culture.
- Accompagner la « transition » plutôt que catégoriser le « changement ».
- Valoriser les nouveaux savoirs et savoir-faire.
- Co-construire les protocoles de recherche ayant une visée d'action publique.

Nos résultats convergent à la fois vers un certain nombre d'éléments connus mais également sur certains moins commentés dans la littérature, mais insistent sur la nécessité de repenser l'accompagnement et l'évaluation de l'action publique en matière de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. Autrement dit, il revient également à l'action publique de se questionner sur son propre fonctionnement et système de représentations.

Recherche :

Le projet Trajectoires contribue à alimenter les recherches qualitatives en sciences sociales qui proposent une autre manière de suivre, d'évaluer et d'accompagner les politiques de réduction dans l'utilisation des produits phytosanitaires. Il appelle aussi à faire dialoguer sciences de l'environnement et sciences sociales afin de contextualiser les mesures de suivi des pesticides au sein d'un territoire.

Publications et colloques scientifiques :

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :

- ▶ Carole Barthélémy, Aurélien Allouche, Gilles Armani, Gaïa Bonnet, Christelle Gramaglia, Laurence Nicolas, **Écologisation des pratiques agricoles et ancrages familiaux au territoire. Une comparaison de l'utilisation des produits phytosanitaires entre Camargue et Beaujolais**, Développement Durable et Territoires, Vol. 11, n°1, Avril 2020, Écologisation des pratiques et territorialisation des activités.
<https://journals.openedition.org/developpementdurable/16822>
- ▶ Gaïa Bonnet, Christelle Gramaglia, **Les agriculteurs face aux risques induits par les pesticides : pratiques culturelles, attachements familiaux et territoriaux chez les viticulteurs de l'Hérault**, in Lupton S., Chauveau-Aussourd V., Randrianasolo-Rakatobe H., Faire face aux risques en agriculture, Perspectives croisées de chercheurs et professionnels, L'Harmattan, 2019, pp.77-97.
- ▶ Armani G. **Analyse des stratégies d'utilisation des pesticides, des freins et leviers socio-culturels aux changements de pratiques viticoles dans le Beaujolais**, in Budzinski H. *et al.*, (éditeurs), Enjeux environnementaux et sanitaires associés aux pesticides, de leur usage à leur dispersion dans l'environnement en lien avec leur impact, Editions du GPF, 2017, pp. 188-191.
- ▶ Gilles Armani G., **Étude sociologique des pratiques viticoles dans le Beaujolais face aux enjeux environnementaux et sanitaires**, in La Tassée N° 191, Mai 2018, pp. 22-24.

Autres valorisations :

- ▶ Séminaire d'échanges : organisés sur les territoires Cœur d'Hérault et Beaujolais.
- ▶ Participation à des fêtes de la science.
- ▶ Réalisation de films de vulgarisation : Vidéos réalisées pour le réseau social Echo's Phyto PACA :
 - Allouche A, Nicolas, L : « Cultiver le riz autrement »
<https://www.youtube.com/watch?v=u8SqJBOagmg&t=1s>
 - « Riz hybride et culture bio »
<https://www.youtube.com/watch?v=R8TH5GoRhqU&t=3s>
- ▶ Réalisation de 6 films par Gilles Armani :
 - Court-métrage sur le laboratoire PolDiff, IRSTEA Lyon-Villeurbanne, octobre 2017.
 - Court-métrage sur les laboratoires LAMA et EMHA, IRSTEA Lyon-Villeurbanne, octobre 2017.
 - Court-métrage d'entretien avec deux viticulteurs du Beaujolais, octobre 2017.
 - Court-métrage d'entretien avec un viticulteur bio dans le Beaujolais, octobre 2017.
 - Court-métrage de témoignages de participants au Séminaire SAAM du 19 octobre 2017 à Lancié, octobre 2017.



Crédit photos INRAE



Mise en page www.laboiteaverbe.fr

