

# COLLOQUE ÉCOPHYTO RECHERCHE & INNOVATION 2021

**ÉCOPHYTO**  
RÉDUIRE ET AMÉLIORER  
L'UTILISATION DES PHYTOS

## Webinaire 2

### Les micro-organismes comme défenseurs de la santé des plantes



Jeudi 14 octobre 2021  
de 13h30 à 15h



## Présentation synthétique du colloque

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 réussissent à matérialiser 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** restituera et mettra 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** souhaite s'adresser à différents publics : communautés de recherche-innovation, professionnels agricoles ou non agricoles, industriels et acteurs de l'agro-fourmure, enseignants et étudiants, décideurs et élus locaux.

Chaque session webinaire prendra la forme d'une restitution des résultats de 3-4 projets par leurs porteurs, accompagnée d'interventions de grands témoins.

Une valorisation du contenu du colloque sera réalisée par le biais d'une diffusion à différents niveaux : restitution synthétique des résultats des projets et des points saillants, édition d'articles scientifiques, mise en ligne des vidéos de présentation des projets sur une chaîne YouTube.

[Lien vers la page EcophytoPic dédiée au colloque](#)

### COMITÉ D'ORGANISATION

#### Animation de l'axe Recherche-Innovation

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

#### Membres issus du CSO R&I

Xavier Reboud (INRAE - UMR Agroécologie) Camille Dumat (INP-ENSAT Toulouse) ; 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) ; Antoine Le Gal (MAA) ; Enrique Barriuso Benito (MESRI) ; Jordan Barlemont (MSS)



# Les micro-organismes comme défenseurs de la santé des plantes

Actuellement, le marché du biocontrôle représente 12% du marché de la protection des plantes (selon IBMA France). Or, le développement et la mobilisation de solutions de biocontrôle, qui rassemblent des approches basées sur l'usage d'organismes vivants (micro et macro-organismes) et de produits d'origine biologique (médiateurs chimiques, substances naturelles) représentent un enjeu fondamental pour le plan Écophyto car elles constituent un levier clé pour réduire la dépendance des systèmes de cultures vis-à-vis des produits phytosanitaires chimiques.

Cette session présente de nouveaux agents de lutte biologique parmi les micro-organismes.

La biodiversité microbienne représente un riche potentiel de protection contre les bioagresseurs. Les micro-organismes (bactéries et champignons microscopiques) sont en effet capables d'agir sur

des agents phytopathogènes ou des ravageurs par antagonisme direct (parasitisme, antibiose) ou indirect en stimulant les défenses naturelles des plantes.

Les projets de cette session illustreront le panel de potentialités offert par les micro-organismes : inoculation de plantes avec des micro-organismes bénéfiques pour améliorer leur tolérance au stress biotique (biotisation), conception de systèmes de culture basés sur la mycorhization, utilisation de micro-organismes fongiques d'origine marine ou de champignons entomopathogènes.

Une autre stratégie prometteuse est l'induction d'une résistance de la plante aux agents pathogènes par des micro-organismes bénéfiques en stimulant sa réponse immunitaire. Un projet issu de l'ANR Maturation viendra illustrer ce levier.

## Ordre du jour de la session

- ▶ **Introduction par Philippe Nicot**, chargé de recherche à l'INRAE, Centre PACA, unité Pathologie végétale, président de l'IOBC (Organisation internationale de lutte biologique), membre du CSO R&I

- ▶ **Présentations des résultats des projets**

[BIOTI-VIGNE](#)

[Systemyc](#)

[NABUCO](#)

[AttractMyFly](#)

- ▶ **Intervention de notre invité témoin Bruno Le Cam**

**Bruno Le Cam**

*Directeur de recherche à l'INRAE, Centre Pays de Loire, UMR IRHS (Institut de Recherche en Horticulture et Semences)*

*Coordinateur d'un projet financé par l'ANR dans le cadre de l'appel Ecophyto Maturation 2021*  
[ENFIN! : Développement d'un nouveau concept en protection des plantes appliqué à la tavelure du pommier.](#)

- ▶ **Échanges / questions – réponses**



# 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

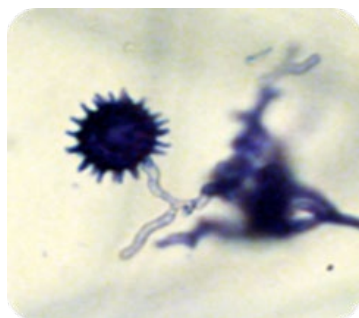
Les 2 objectifs majeurs sont :

- 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



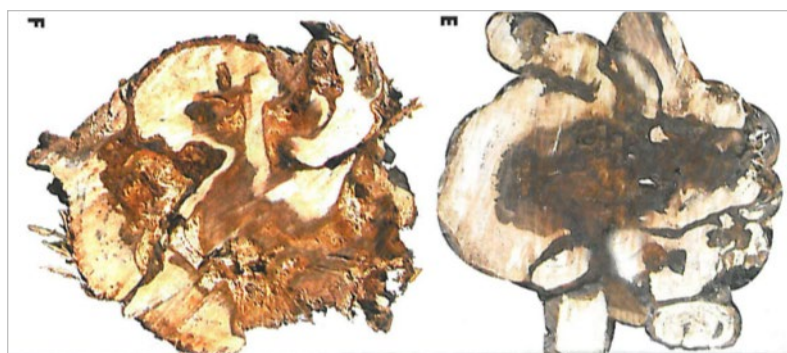
Vue au microscope de la forme sexuée de *Pythium oligandrum*, agent de biotisation utilisé avec succès contre les champignons des maladies du bois de la vigne.  
Crédit photo : Jonathan Gerbore, BIOVITIS

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-résultats-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 : *Phaeomoniella 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](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-biocontrôle/BIOTIVIGNE>
- ▶ **Page WEB BiotiVigne RESULTATS :** <http://www.maladie-du-bois-vigne.fr/Programmes-de-recherche/Les-projets-en-cours/Les-projets-de-biocontrôle/BIOTIVIGNE/Les-resultats-du-projet>



## 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 Alénia-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 (nématicides, 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 :

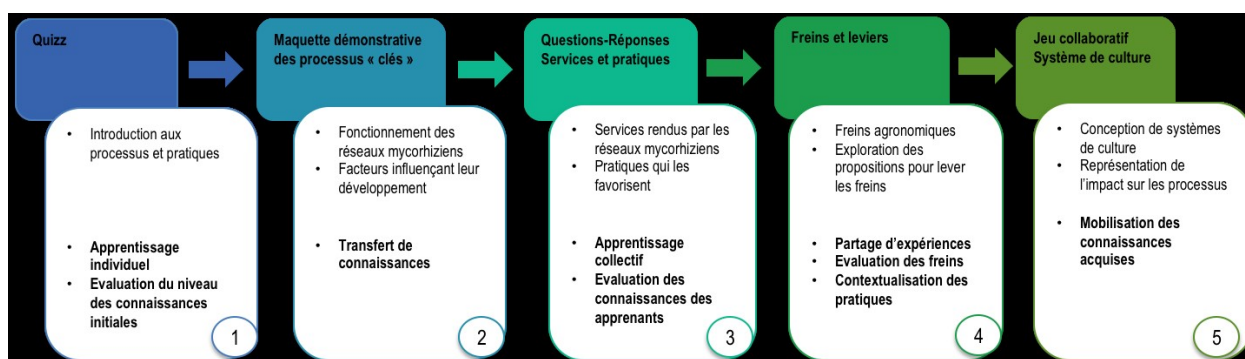
1. Un dispositif d'apprentissage collectif MYMYX<sup>1</sup> («Mimic Mycorrhizal networks»), qui alterne ateliers participatifs (Figure 1 et 2) et enquêtes sur les exploitations et a permis d'appréhender la complexité et l'incertitude des processus mycorhiziens et d'identifier les freins et les leviers 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

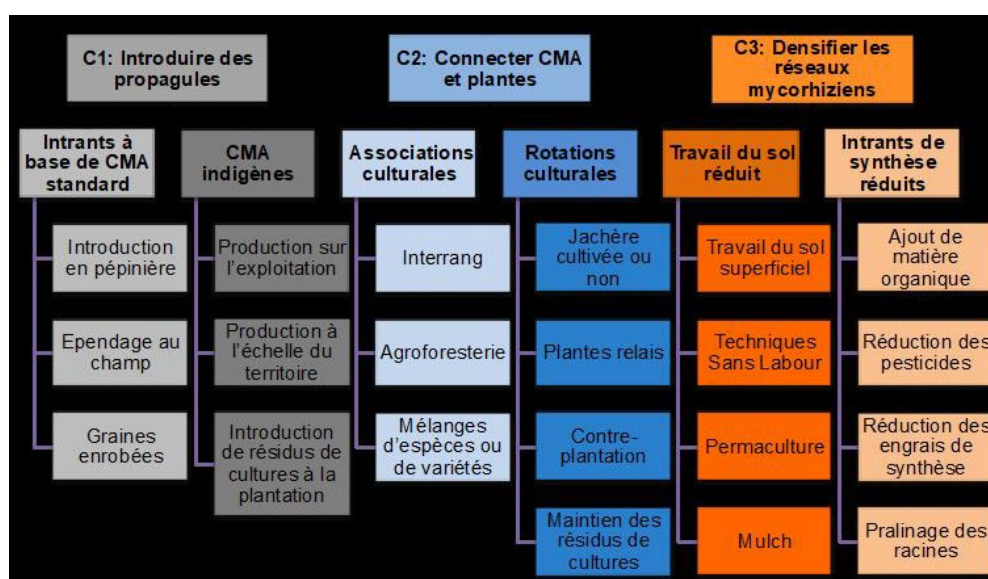
<sup>1</sup> MYMYX : (« Mimic Mycorrhizal networks ») est un support qui permet d'appréhender les interactions souterraines via la création et le maintien d'un réseau par le développement de segments de filaments mycorhiziens (en blanc). Il s'agit, pour les joueurs, de construire une stratégie, c'est-à-dire 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 culturelles, (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 Alénia 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 (Mycoagra 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 mycorrhizotrophes (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 ERS-GR, Athènes, GRC (05-07/07/2017)** : *Mettre en œuvre la transition agroécologique : 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](http://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](http://geco.ecophytopic.fr/documents/20182/21720/pdf_Cultiver_des_esp_ces_mycorhizes_2.pdf)
- ▶ **Fiche technique en ligne sur [geco.ecophytopic.fr](http://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](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, JE. 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



## Nouveaux Agents Bio-marins Utilisables en COntrôle 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

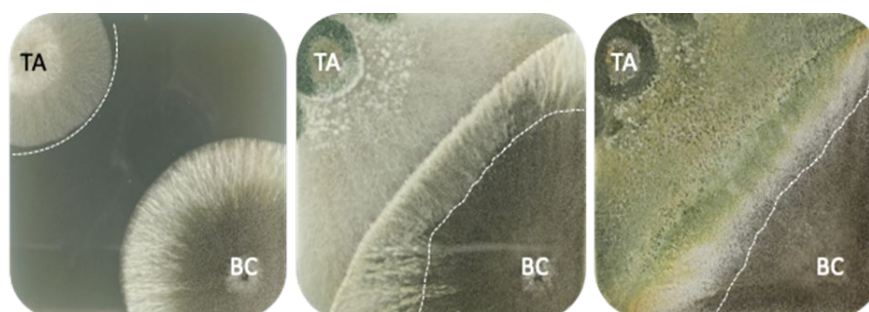
Coût total du projet : 534 412 €  
Subvention Écophyto : 99 521 €

### 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 culturels 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.

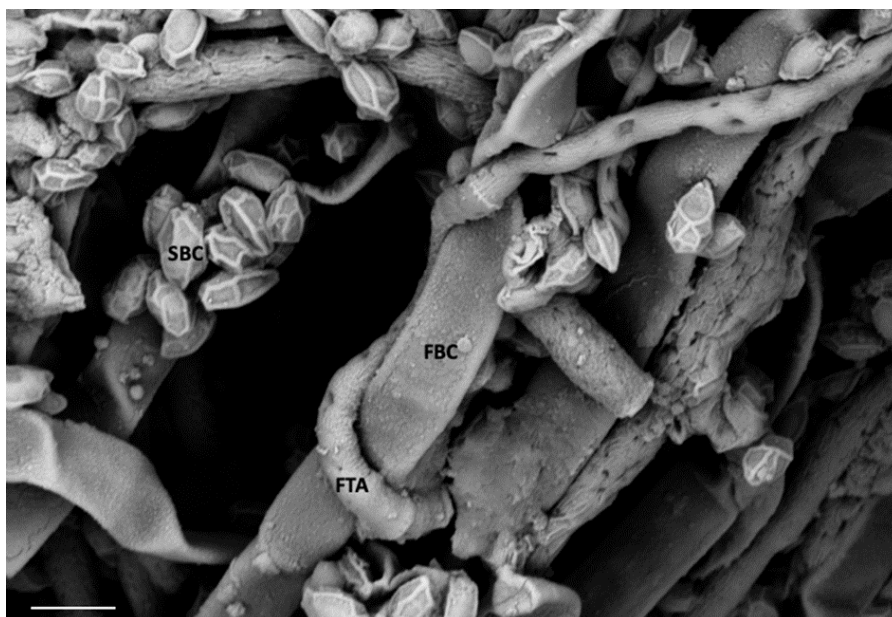
### Principaux résultats et intérêts en lien avec le plan Écophyto

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 culturales (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 néphélométrie 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 µm. 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<sup>ème</sup> 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<sup>èmes</sup> 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.
- ▶ **1<sup>st</sup> 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.



## 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 €

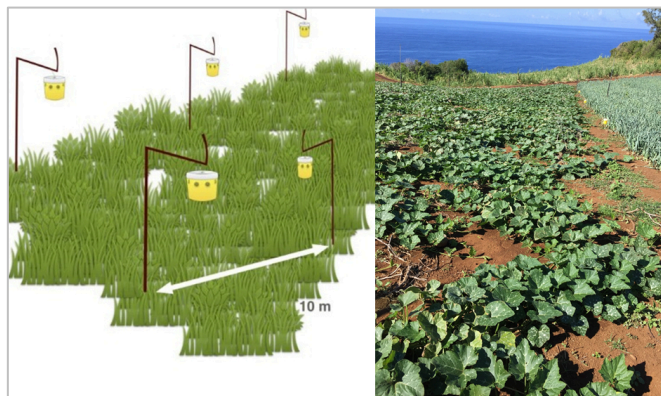
Subvention Écophyto : 100 000 €

### 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*. Rohrlisch 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*. Rohrlisch 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. Rohrlisch 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)





## 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](mailto: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 cibons 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.

### 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.



Crédit photos INRAE



Mise en page [www.laboitea.verbe.fr](http://www.laboitea.verbe.fr)

