

Les webinaires d'avril

Ecophyto II+ Recherche & Innovation



ACTES DES WEBINAIRES 2024

Webinaire n°1

Les avancées dans la filière
viticulture

Webinaire n°2

Gestion des adventices et mesures
préventives

Webinaire n°3

Biocontrôle et régulation naturelle
par la gestion des paysages

Webinaire n°4

Sélection et résistance variétale

Comité d'organisation :

Sonia LEQUIN, Caroline BOTTOU et Xavier REBOUD de l'équipe d'animation Ecophyto R&I (INRAE), Marie-Camille SOULARD (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires), Antoine LE GAL (Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire), Robin Roche (Ministère du travail, de la santé et des solidarités) copilotes ministériel de l'axe recherche et innovation du plan Ecophyto II+.
Éric CHANTELOT (IFV), Agnès Langlois (ASTREDHOR) et Caroline Gibert (SOLAGRO), Ingrid Arnault (Université de Tours) et Marc Bardin (INRAE), Jean Guyot (CIRAD) et Sébastien Lemièrre (Université de Lille) pour le CSO R&I

Rédaction des synthèses :

Sibylle de Tarlé pour Animagro : sibylle.de-tarle@animagro.fr

Mise en page :

Caroline BOTTOU (INRAE)

Crédits Photos : Pixabay, Freepik Pexel, Adobe Stock (Sauf mention contraire dans le document). Tous droits réservés.

Plus d'infos et contact :

animation-ecophyto@inrae.fr

Le projet d'animation Ecophyto II+ R&I est piloté par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), du travail de la santé et des solidarités (MTSS) ainsi que celui de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité (OFB), sur l'enveloppe de redevance pour pollutions diffuses du plan Écophyto II+

Merci aux porteurs de projets et leurs équipes pour leur mobilisation !

Et Merci aux Experts extérieurs qui ont accepté notre invitation à partager leurs travaux !



S O M M A I R E

À propos p.4

- Présentation de l'axe Recherche et innovation Ecophyto II+ p.4
- Présentation de la série de Webinaires d'avril 2024 p.5
- Synthèse générale p.6
- Le mot des copilotes ministériels p.11



le Webinaire n°1 p.13

- Programme du Webinaire 1 p.14
- Synthèse du webinaire p.16
- Les projets présentés p.21
 - ARPHY Trajectoire Vigne p.21
 - TECHNODOSE VITI p.27
 - OSCAR p.34



le Webinaire n°3 p.73

- Programme du Webinaire n°3 p.73
- Synthèse du webinaire p.76
- Les projets présentés p.85
 - DEMETER p.85
 - STREPTOCONTROL p.92
 - ARPHY GCPE PAYSAGE p.97

le Webinaire n°2 p.41

- Programme du Webinaire n°2 p.41
- Synthèse du webinaire p.44
- Les projets présentés p.51
 - AC/DC WEEDS p.51
 - CAPABLE p.61
 - CHABABRI p.67



le Webinaire n°4 p.103

- Programme du Webinaire n°4 p.105
- Synthèse du webinaire p.106
- Les projets présentés p.113
 - POTATOMETABIOME p.113
 - DURÉBAN p.118



L'axe Recherche et Innovation du plan Ecophyto

Le plan Ecophyto

Le plan Écophyto matérialise les engagements pris par le Gouvernement pour atteindre l'objectif de réduire les usages de produits phytopharmaceutiques de 50% d'ici 2025 et de sortir du glyphosate d'ici fin 2020 pour les principaux usages et au plus tard d'ici 2022 pour l'ensemble des usages.

[En savoir +](#)

L'axe Recherche et Innovation (axe R&I ou axe 2 du plan Ecophyto), intitulé « **Améliorer les connaissances et les outils pour demain et encourager la recherche et l'innovation** » vise à mobiliser et structurer les différentes communautés de recherche-innovation pour produire et améliorer les connaissances et les outils nécessaires pour atteindre les objectifs de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques et des risques associés. Il est copiloté par la Direction Recherche et Innovation (DRI) du CGDD/ MTECT¹, la DGER/MASA², la DGS/MTSS³ et la DGRI/MESR⁴.

L'axe R&I vise ainsi à mobiliser et orienter l'ensemble du système de recherche-innovation avec de fortes incitations pour la formation et la vulgarisation scientifique, afin d'apporter les connaissances nécessaires pour répondre aux défis posés par la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques et de leurs impacts, sur la santé et l'environnement. Pour définir, piloter et mettre en œuvre l'ensemble de ces actions, **il s'appuie sur un Comité Scientifique d'Orientation « Recherche et Innovation » (CSO R&I)**, composé d'une trentaine d'experts de différentes disciplines, nommés intuitu personae et reconnus pour leurs travaux ou leurs engagements sur tous les aspects relatifs à la protection des cultures et à la réduction des produits phytopharmaceutiques, ainsi que de leurs risques et impacts sur la santé et l'environnement. Son ambition est de poursuivre le décloisonnement disciplinaire afin de porter une vision globale des enjeux et des solutions pour atteindre les objectifs du plan Ecophyto.



1 CGDD/MTECT : Commissariat général au développement durable / Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des territoires

2 DGER/MASA : Direction générale de l'enseignement et de la recherche / Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire

3 DGS/MTSS : Direction générale de la Santé / Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités

4 DGRI /MESR : Direction générale de la recherche et de l'innovation / Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche



Les webinaires d'Avril Ecophyto Recherche et Innovation

Chaque semaine d'avril 2024 une ou plusieurs thématiques différentes ont été abordées au travers de la présentation de 3 à 4 projets arrivés à leur terme dans le cadre des appels à projets [Era net suscrop 2018](#), [Anr générique 2016/2017](#), [Appel national Arphy](#), [CASDAR innovation et partenariat \(2017\)](#), [CASDAR Recherche Technologique \(2017\)](#), [CASDAR semence et sélection végétale](#).

En plus de la présentation des résultats, ces webinaires ont permis d'échanger sur les perspectives ouvertes à la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques mais également sur les verrous à lever.

Cette série de webinaires printaniers s'est composée de 4 sessions :

- **Webinaire #1** Les avancées dans la filière viticulture
- **Webinaire #2** Gestion des adventices et mesures préventives
- **Webinaire #3** Biocontrôle et régulation naturelle par la gestion des paysages
- **Webinaire #4** Sélection et résistance variétale



[Replays](#)



[Livrets](#)



[Contact](#)

Les webinaires d'avril ont mis le projecteur sur les travaux de 11 projets arrivés à leur terme, ayant bénéficié d'un co-financement par l'axe Recherche et Innovation du plan Ecophyto. Actionnant une diversité de leviers, ces projets constituent une belle illustration des avancées scientifiques en matière de solutions de protection intégrée des cultures. Ils pointent également du doigt le besoin de continuer à consolider les connaissances et les outils de leur application, afin d'optimiser les leviers de gestion alternative aux produits phytomédicamenteux de synthèse.

Cette série de 4 webinaires a mis en lumière les résultats de 11 projets co-financés par l'axe Recherche et Innovation du plan Ecophyto II+, aux côtés d'autres financeurs comme l'ANR, le CAS-DAR, l'appel national Ecophyto, ou encore un ERA-NET. Certains de ces projets ont une **portée nationale**, voire se focalisent sur un périmètre géographique plus restreint compte-tenu des filières étudiées (par exemple la banane export des Antilles). D'autres ont eu une portée plus large, comme par exemple lorsqu'il s'agit de projets lauréats de l'ERA-NET Suscrop, ces derniers ayant bénéficié d'une **coordination à une échelle européenne**. Ces projets sont représentatifs de la diversité des filières végétales françaises (viticulture, cultures légumières et fruitières, grandes cultures), certains traitant de filières bien spécifiques, d'autres privilégiant des approches plus génériques s'appliquant en multi-filière. Compte-tenu que ces projets s'inscrivent dans des dispositifs de financement différents, par leur visée et leur envergure partenariale, ils **reflètent une diversité d'approches pour le développement de nos connaissances en matière de protection intégrée des cultures** : certaines approches ont eu un caractère plus **exploratoire**, lorsque d'autres s'attaquent à une **recherche plus appliquée voire opérationnelle**. Il faut enfin souligner que les leviers testés sont nombreux et divers : **résistance variétale, prophylaxie et pratiques culturales préventives, biocontrôle, stimulation des régulations naturelles des bioagresseurs via l'aménagement d'infrastructures agroécologiques, pulvérisation de précision, etc.** et viennent enrichir l'état de l'art et la palette des solutions disponibles pour favoriser la transition vers une agriculture plus économe en produits phytomédicamenteux.





Une production de connaissances et de méthodes structurantes et capitalisables

sances scientifiques et la mise au point des innovations. Les projets présentés s'inscrivent dans ces deux facettes de la recherche scientifique. Les travaux fondamentaux ont généré de nouvelles connaissances structurantes permettant, d'une part de **mieux comprendre les**

La recherche fondamentale et la recherche appliquée jouent des rôles complémentaires essentiels dans l'avancement des connais-

mécanismes de défense des végétaux face aux bioagresseurs, et d'autre part de **décrypter la biologie** du développement des maladies ou des adventices, ou le comportement des ravageurs en fonction du contexte cultural. Certains de leurs résultats

explorent des **fronts de science** et apparaissent comme des découvertes marquantes :

→ **Identification du récepteur à la phéromone sexuelle** de la noctuelle du coton *Spodoptera littoralis* et de deux récepteurs impliqués dans le comportement d'attraction olfactive des chenilles vers les plantes hôtes par le projet [DEME-TER](#) ;

→ Caractérisation du **mode d'action de métabolites de bactéries du sol** *Streptomyces AgN23* pour induire les défenses immunitaires des plantes et assurer une activité antimicro-

bienne, par le projet [STREPTOCONTROL](#) ;

→ **Décryptage des interactions entre la pomme de terre et son microbiome** selon les conditions de croissance et les cultivars par le projet [PotatoMETAbiome](#), afin d'optimiser l'influence des micro-organismes sur la santé de la culture ;

→ **Amélioration des connaissances sur la biologie du rumex** par le projet [Capable](#), en particulier mise en évidence d'une corrélation entre faculté germinative et profondeur d'enfouissement de la graine, et de l'impact de la fragmentation du plant sur sa capacité à se régénérer ;

→ Dans le cadre du projet [CHABABRI](#) qui visait la lutte contre le chancre bactérien de l'abricot, identification inattendue de **l'absence d'incidence entre l'état sanitaire initial** des arbres au moment de la plantation (présence de bactéries pathogènes *Pseudomonas syringae*) et le développement de la bactériose observée au verger, montrant ainsi que les phénomènes post-plantation sont déterminants pour la santé des vergers.

D'autres travaux ont évalué les performances qu'il était possible d'atteindre en actionnant certains leviers agroécologiques, selon différentes conditions d'expérimentation : en mobilisant des simulations informatiques, ou en testant les leviers au laboratoire, et/ou au champ. Plusieurs stratégies de protection ont ainsi pu faire leurs preuves dans certaines conditions particulières, et on peut citer à titre illustratif les chiffres suivants :

→ - **80% : il s'agit de la réduction moyenne de l'IFT fongicide**, par rapport à la référence nationale 2019, obtenue au champ grâce au recours à de nouveaux cépages résistants, dans les vignobles suivis par le projet [OS-CAR](#) ;

→ - **25% : il s'agit de la baisse de l'IFT chimique** évaluée dans le projet CHABABRI sur





les vergers d'abricotiers ayant adopté le greffage haut, avec de surcroît une augmentation de rendement permise par cette technique ;

→ **0% : arrêt total de recours aux fongicides** au champ expérimenté sur la culture de nouvelles variétés de bananes identifiées dans le projet [DuRéBan](#), sans impact sur la santé des bananiers.

Il est aussi à noter que les méthodes et approches développées dans les projets sont potentiellement reproductibles pour explorer des développements sur d'autres filières ou d'autres bioagresseurs. A titre d'exemple : les approches « d'écologie chimique inverse » et de criblage in silico construites par le projet DEMETER pour prédire de nouveaux ligands aux récepteurs olfactifs d'insectes ravageurs ont un **fort potentiel de généricité**.

Des perspectives prometteuses de transfert au terrain

Certains travaux sont parvenus à des développements assez avancés, dans l'objectif d'**apporter à court ou moyen terme des outils ou**

des solutions opérationnelles à la profession agricole. Dans les projets présentés lors de ce webinaire, nous pouvons ainsi distinguer 3 grandes familles de solutions opérationnelles particulièrement représentées : **les outils de modélisation, les solutions de biocontrôle, et les variétés résistantes vis-à-vis des maladies**.

Les modèles mis au point dans les projets présentent des outils innovants pour faciliter la mise en œuvre et l'insertion des leviers agroécologiques opérationnels dans les systèmes. Parmi ces modèles, on peut citer :

→ Les **modèles de prédiction** des dépôts de produits phytopharmaceutiques au sein du couvert végétal développés par le projet [TECH-NODOSEVITI](#) qui pourront être intégrés dans des OAD (outils d'aide à la décision) destinés aux agriculteurs, facilitant ainsi l'ajustement précis des doses en fonction des caractéristiques des parcelles traitées et de la performance des pulvérisateurs employés ;

→ **L'OAD ODERA Vivaces**, développé par le projet Capable, et opérationnel dans les Hauts de France : il permet aux agriculteurs et aux conseillers d'orienter la construction des systèmes en évaluant le risque de développement du chardon. Le projet [AC/DC Weeds](#) a quant à lui développé un **outil de prédiction de développement du chardon, appelé IPSIM-Cirsium**, tenant compte de l'impact des pratiques culturales, du sol, du climat et de l'environnement ;

→ Le **modèle de simulation informatique spatialisée** adapté à la cercosporiose noire des bananiers, développé par le projet DuRéBan : il pourra aider les producteurs à choisir leurs stratégies spatiales de déploiement des nouvelles variétés pour optimiser leur efficacité.

Ces modèles représentent des **bases solides pour de futurs projets de recherche** visant à les affiner ou s'intéressant à explorer d'autres cultures ou d'autres bioagresseurs, en vue de proposer in fine des outils opérationnels utilisables par les acteurs agricoles adaptés à leurs problématiques de protection des cultures.

Les **solutions de biocontrôle** représentent un levier important de la protection intégrée des cultures, et les projets présentés dans ce webinaire ont ainsi travaillé à développer plusieurs d'entre elles :

→ L'identification de **nouveaux sémi-chimiques actifs** sur la noctuelle du papillon par le projet DEMETER grâce à des expériences en conditions de laboratoire. Leur applicabilité reste à déterminer via des tests à plus grande



échelle ;

→ L'identification de la **souche bactérienne AgN23** par le projet STREPTOCONTROL dont les propriétés de protection ont été particulièrement remarquées. Il s'agit à présent de trouver une formulation efficace garantissant la viabilité de la souche avant de lancer son développement industriel.

Plusieurs projets se sont attachés à identifier et sélectionner des **variétés résistantes selon leur fort potentiel à se défendre contre les bioagresseurs**, permettant ainsi de réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques, que ce soit en viticulture (projet OSCAR) ou en culture de bananes (projet DuRéBan). Plusieurs actions doivent cependant être considérées pour favoriser la gestion de leur durabilité et leur déploiement. En premier lieu, le déploiement de ces variétés résistantes doit faire l'objet d'une surveillance étroite, afin de se prémunir contre le **risque de contournement des résistances**. D'autre part, les caractéristiques des nouvelles variétés ne correspondent pas toujours aux **standards de commercialisation**, et il s'agira de travailler à la mise au point des itinéraires techniques, au champ et en post récolte, pour essayer de **minimiser les défauts des variétés hybrides et d'accompagner les producteurs dans cette adaptation**. C'est ce qu'a pu établir comme constat et propositions le projet DuRéBan.

Des pistes d'approfondissement à explorer

Pour la plupart des projets présentés, leurs résultats ont pu donner lieu à des prolongements, et ainsi faire tremplin vers de nouvelles initiatives visant à approfondir les pistes soulevées.

Par exemple la thèse [ARPHY-Trajectoires VIGNE](#) a analysé les changements de pratique des ex-

ploitations viticoles du réseau DEPHY, et a vu ses résultats exploités par le projet [VITAE](#) dans l'objectif de **mettre au point des itinéraires techniques de rupture**.

On notera que plusieurs solutions ont démontré leur **efficacité au laboratoire**, mais qu'elles nécessitent, dans certains cas, d'être validées et fiabilisées par des **expérimentations en conditions réelles et à plus large échelle**, parfois sur plusieurs sites et plusieurs années, pour plus de représentativité. Les formulations de certains produits de biocontrôle restent encore à optimiser afin d'atteindre les objectifs attendus sur le terrain, et il s'agit aussi de mieux **cerner leurs conditions optimales d'application**.

Inversement, certaines analyses réalisées à large échelle avec de grands jeux de données doivent être complétées par des études plus locales et plus fines afin d'aboutir à des recommandations efficaces pour les agriculteurs. Ainsi la thèse [ARPHY - GCPE – Paysage](#) a **confirmé le lien entre pression de bioagresseurs et caractéristiques du paysage** environnant des cultures en s'appuyant sur le large jeu de données du réseau DEPHY Ferme. Il serait maintenant pertinent de mener des approches locales complémentaires afin d'étudier notamment comment la composition spécifique des habitats tels que les haies pourrait permettre d'optimiser leur implantation, et faciliter leur gestion. Cela pourrait conduire à **développer des outils pour conseiller les agriculteurs** dans l'intégration de ces infrastructures agroécologiques au sein de leurs exploitations.



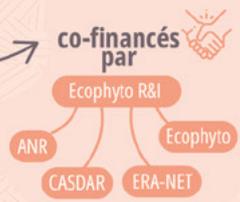
Les webinaires d'avril
Ecophyto Recherche & Innovation
En 1 page !

4 Webinaires

6 Appels à projets

11 Projets ou thèses

1 Ambition



portant sur

- grandes cultures
- viticulture
- arboriculture vergers
- cultures légumières
- ravageurs
- maladies
- adventices
- prévention
- échelle paysagère
- agroécologie
- génétique des plantes
- ...

Améliorer les connaissances en vue de **réduire l'usage et les impacts liés aux produits phytopharmaceutiques**

Des résultats notables...

...de l'acquisition de connaissances scientifiques...



DEMETER

Identification de récepteurs olfactifs clés chez la noctuelle du coton, un ravageur parmi les plus dévastateurs.

CAPABLE

Augmentation des connaissances biologique du Rumex, une plante adventice qui prolifère, afin de faciliter sa gestion.

STREPTO CONTROL

Découverte du mode d'action derrière l'activité antimicrobienne d'une bactérie jouant sur l'immunité de la plante.

POTATO METABIOME

Décryptage des interactions entre la pomme de terre et son microbiome pour déterminer les variétés les plus adaptées à une culture moins dépendantes des pesticides.

DURÉBAN

-100%

Arrêt total de l'emploi de fongicide pour la culture de nouvelles variétés de bananes identifiées dans le projet



OSCAR

-80%

réduction moyenne de l'IFT fongicide par rapport à la référence nationale 2019 sur les nouveaux cépages suivis par le projet.



CHABABRI

-25%

IFT chimique sur les vergers d'abricotiers ayant adopté le greffage haut (120cm)



... aux perspectives d'utilisation sur le terrain.

STREPTO CONTROL
Souche bactérienne AGN 23 dont les propriétés protectrices sont remarquables

DEMETER
Identification de sémiochimiques actifs qui pourront constituer une solution de biocontrôle efficace contre la noctuelle du coton

DURÉBAN
Modèle de simulation informatique pour déterminer l'implantation des bananiers

CHABABRI
La taille en gobelet et le greffage à 120cm de hauteur des abricotiers permettent de gérer la bactériose

TECHNO DOSEVITI
Modèle de prédiction des dépôts de pesticides sur des couverts végétaux pour mieux ajuster les doses utilisées en fonction des parcelles et des performances des pulvérisateurs.

CAPABLE
Outil d'aide à la décision ODERA VIVACES

AC/DCWEEDS
Outil de prédiction du développement du chardon



Quelle est la prochaine étape ?

ARPHY TRAJECTOIRE VIGNES

Les travaux se poursuivent dans le projet VITAE, qui étudie des exploitations en rupture allant au-delà de 40% de réduction des pesticides

ARPHY PAYSAGE

Déclinaison à l'échelle locale pour étudier la composition spécifique des paysages et apporter un conseil précis aux agriculteurs sur implantation de haies, arbres etc.



- + Des conclusions transposables à d'autres ravageurs, bactéries, ...
- + Des résultats généralisables qui demandent de poursuivre les recherches,
- + Des solutions à développer pour une exploitation industrielle.



Le mot des copilotes ministériels

« Répondre aux besoins de connaissances et d'innovation est au centre des préoccupations d'Ecophyto et un des leviers majeurs pour en atteindre les objectifs » rappelle Laëtitia de Nervo, sous-directrice de la recherche, de l'innovation, et des coopérations internationales au sein de la DGER du MASA . « Il s'agit en particulier de mettre au point des solutions alternatives aux produits phytopharmaceutiques de synthèse, qui soient efficaces sur les différentes facettes techniques, économiques, sanitaires, environnementales et d'**accompagner le renforcement des stratégies de protection des cultures basées sur la prophylaxie**, voire la reconception des systèmes » ajoute-t-elle.

A l'aube de la stratégie Ecophyto 2030, les 4 ministères co-pilotes de l'axe Recherche & Innovation Ecophyto ont tenu à souligner combien cette séquence de valorisation était importante pour **permettre la capitalisation et le partage des connaissances**

produites, contribuant ainsi à la politique de réduction du recours aux produits phytopharmaceutiques. Ces webinaires et les résultats présentés « mettent en avant les performances qu'il est possible d'atteindre avec les leviers testés, ce qu'il reste à explorer pour les améliorer et les fiabiliser, et également identifier les

moyens de leur mise en œuvre concrète et leur insertion dans les systèmes », souligne Laëtitia de Nervo. Ludovic Bonnard, chargé de mission au MTECT, ajoute que cette série de webinaire permet de répondre « au besoin de **vulgariser à la fois les résultats des projets et les démarches pour inspirer d'autres porteurs qui vont pouvoir prendre la suite** ». La di-

zaine de projets présentés dans ces webinaires sont une illustration des travaux de recherche que **le CSO R&I a contribué à faire émerger**, et à soutenir financièrement, parmi plus de 120 projets labellisés par l'axe Recherche & Innovation d'Ecophyto depuis 2018. « Cela souligne l'importance mais aussi le dynamisme de la recherche et de l'innovation pour Ecophyto » salue Laetitia de Nervo.

Les cotutelles ministérielles ont également souhaité saluer le travail fourni pour mettre en cohérence les projets présentés, bien qu'ils soient issus de différents dispositifs financiers (Recherche & Innovation Eco-

phyto, CASDAR, ANR, thèses issues de l'Appel national Ecophyto, ERA-NET). Celui-ci participe à l'effort de coordination entre les différents acteurs et opérateurs qui mobilisent l'écosystème Recherche & Innovation d'Ecophyto. « Il est essentiel en particulier de réfléchir toujours plus aux moyens de porter à **l'échelle euro-**

” *Il s'agit d'un temps important de partage collectif pour mettre en avant les performances qu'il est possible d'atteindre avec les leviers testés, ce qu'il reste à explorer pour les améliorer et les fiabiliser, et également identifier les moyens de leur mise en œuvre concrète et leur insertion dans les systèmes .”*

Laetitia de Nervo,
sous-directrice de la RIC1
au sein de la DGER du MASA



peenne ces recherches, qu'il s'agisse de valoriser ce qui est réalisé au niveau national ou de trouver encore des possibilités de synergie pour renforcer et amplifier ces dynamiques » affirme Laëtitia de Nervo.

« La **recherche d'alternatives et leur déploiement** constituent un objectif prégnant pour la Stratégie Ecophyto 2030 qui se traduit actuellement de manière opérationnelle notamment par le PARSADA (Plan d'action stratégique pour l'anticipation du potentiel retrait européen des substances actives et le développement de techniques alternatives pour

la protection des cultures) » explique Pauline Souche-Suchovsky, chargée de mission au MASA. Ce plan vise à **accélérer et amplifier encore la recherche d'alternatives dans les situations d'impasses techniques** qui seraient liées à des situations de retrait des produits de synthèse très utilisés.

Le souhait des pilotes ministériels est aussi que « ces nouvelles connaissances mises en lumière viennent **irriguer l'enseignement et la formation**, [...] acteurs majeurs des transitions » comme le souligne Laëtitia de Nervo.





Webinaire n°1 ●●●●

LES AVANCÉES EN VITICULTURE

Synthèse



Le webinar #1 : Les avancées en viticulture

Date : Jeudi 4 avril 2024 - 13h30 Voir le [replay](#)

Au travers de la présentation des résultats de 3 projets ont été abordées les avancées en viticulture sur la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires par différents leviers :

- ◇ l'analyse des **trajectoires suivies par les agriculteurs** (en viticulture conventionnelle et biologique) en lien avec les performances techniques, économiques, environnementales et des changements de pratiques. Ces travaux s'appuient sur les données du réseau DEPHY,
- ◇ l'analyse des **gains de différentes solutions technologiques** au regard de l'efficacité des matériels (pulvérisateurs) et des évolutions de dose,
- ◇ Le **déploiement de cépages résistants** qui nécessitent une observation de leur comportement dans les systèmes de cultures et un accompagnement des viticulteurs vers de nouveaux itinéraires techniques.

Afin d'enrichir les perspectives ouvertes par ces présentations, Eric Chantelot, membre du CSO R&I a invité M. Vincent Lang, Directeur du pôle Technique et Développement Durable du Bureau National Interprofessionnel du Cognac, pour présenter le projet LUMA.

Animation Scientifique

Eric Chantelot

Membre du CSO R&I

Éric Chantelot est ingénieur agronome spécialisé en Protection du Vignoble (biosolutions) et Agronomie viticole (adaptation changement climatique). Il est Directeur du pôle régional IFV Rhône-Méditerranée, et Expert Ecophyto.



P R O G R A M M E

13h30 Accueil

13h35 Introduction par Laëticia de Nervo, adjointe à la sous-directrice de la Recherche, de l'Innovation, et des Coopérations Internationales (SDRICI) au sein de la Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche (DGER) du MASA

13h45 Introduction du webinaire par Eric Chantelot (IFV) Membre du CSO R&I

13h50 Présentation de 3 projets :

ARPHY– Trajectoires VIGNE « Analyse des changements de pratiques, de leurs trajectoires et des performances associées dans les systèmes viticoles du réseau DEPHY »
par Esther Fouillet et Anne Merot (INRAE)

TECHNODOSEVITI « Modélisation expérimentale des dépôts de traitements phytosanitaires en fonction de l'architecture du végétal en viticulture. Applications à l'expression des doses et à la viticulture de précision. » par Sébastien Codis (IFV)

OSCAR « Observatoire National du Déploiement des Cépages Résistants »
par Anne-Sophie Miclot (INRAE)

14h20 Intervention de **M. Vincent Lang** Directeur du pôle Technique et Développement Durable du Bureau National Interprofessionnel du Cognac, qui nous présentera le projet LUMA pour illustrer comment la filière Cognac s'est emparée du sujet du transfert des connaissances au terrain.

L'invité

Vincent Lang

Directeur du pôle Technique et Développement Durable du Bureau National Interprofessionnel du Cognac

«Vincent Lang, ingénieur agronome diplômé d'AgroParisTech et titulaire d'un doctorat en nutrition humaine, dispose de 25 ans d'expérience dans le secteur de l'agriculture et de l'industrie

agro-alimentaire tant en France, en Europe qu'en Amérique du Nord.

Son parcours professionnel couvre différents secteurs d'activité dans la recherche et développement (R&D), l'innovation, la gestion de la qualité, la performance industrielle, la communication, la propriété intellectuelle et le développement durable. Vincent Lang a contribué tant au sein de PME que de grandes entreprises telles que le groupe Danone où il a exercé des responsabilités dans le domaine de la R&D pendant une vingtaine d'années.»

Source : cognac.fr, Vincent Lang, nouveau directeur de la station viticole du Bureau National Interprofessionnel du Cognac (BNIC) - BNIC, Communiqué,22/09/2020

Protéger les cultures tout en diminuant l'usage des pesticides représente un défi important pour cette culture emblématique que représente la vigne en France. Les projets de recherche & innovation présentés dans ce webinaire montrent plusieurs leviers de gestion expérimentés avec succès : raisonner l'opportunité des traitements, privilégier les produits de biocontrôle, choisir des variétés plus résistantes... La robustesse des systèmes est aussi à acquérir via une approche agronomique globale incluant des changements en profondeur et l'application de mesures prophylactiques.

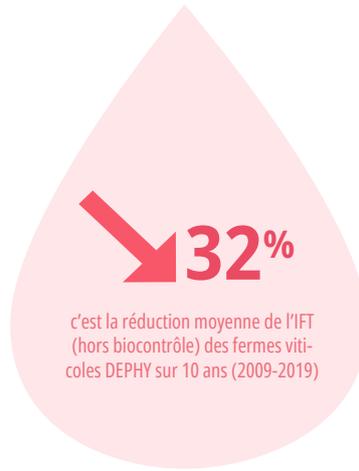




Avec un nombre moyen de 18 applications phytosanitaires en 2019, la vigne est encore une culture fortement traitée, notamment avec les fongicides. Ses deux principaux bioagresseurs sont l'oïdium et le mildiou, cibles de 80% des pesticides dans cette filière. L'objectif de réduction de 50% de l'usage des produits phytosanitaires du plan Ecophyto représente donc un défi important pour cette filière. De nombreux leviers existent, expérimentés avec succès dans les projets présentés dans ce webinaire.

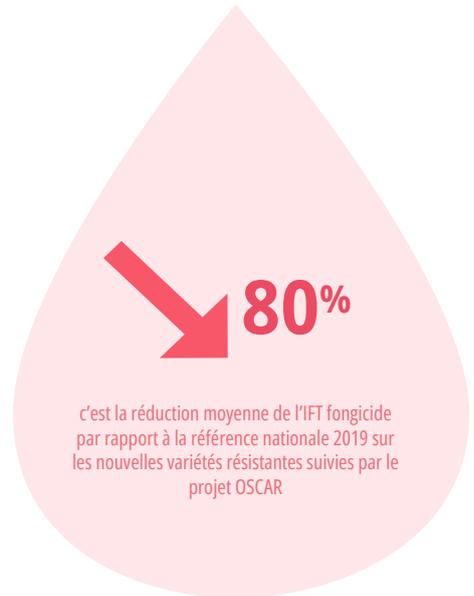
Différents leviers pour réduire les traitements chimiques sur la vigne ont prouvé leur efficacité

L'utilisation d'outils d'aide à la décision (OAD) permet d'adapter le nombre et la dose des traitements aux risques encourus. Ainsi, comme l'illustre Eric Chantelot, membre du CSO RI et Directeur du pôle régional IFV Rhône-Méditerranée, l'outil DeciTrait®, développé par l'IFV pour modéliser les risques de maladies cryptogamiques (fongiques) sur les parcelles et optimiser la protection de la vigne, per-



met de réduire l'IFT (Indice de Fréquence de Traitement) de 25%.

Les substances de biocontrôle (qui utilisent les mécanismes naturels et les interactions entre les espèces dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures) peuvent en partie se substituer aux pesticides. Le programme LUMA - Limiter l'Utilisation des produits phytopharmaceutiques selon les principes de l'Agroécologie -, qui vise à développer de nouveaux itinéraires de cultures pour s'émanciper des pesticides de synthèse sur la filière Cognac, propose un calendrier de traitement 100% biocontrôle et produits utilisables en agriculture biologique (UAB), en optimisant les doses. Le projet a été lancé en 2022 et les premiers résultats sont prometteurs : la stratégie a permis de conserver un bon rendement en 2023 malgré une forte pression générale du mildiou. Si les résultats se



confirment à l'issue du programme (2025), un plan de transfert sera organisé.

L'amélioration de la qualité de pulvérisation apparaît comme un levier efficace qui permet de réduire l'IFT jusqu'à 30 à 50%. Ainsi, le projet [TechnoDoseViti](#) a permis une avancée significative dans le domaine de la pulvérisation de précision en s'intéressant à l'adaptation des doses selon les caractéristiques de la végétation à protéger (mesurées par un capteur LiDAR 2D) et les performances des pulvérisateurs. Les modèles de prédiction développés pourraient être intégrés dans des OAD destinés aux agriculteurs, facilitant ainsi l'ajustement précis des doses en fonction des caractéristiques des parcelles traitées et de la performance des pulvérisateurs employés.

Enfin, des variétés plus to-





lérantes ou résistantes aux bioagresseurs peuvent dorénavant être plantées et représentent une voie d'avenir, comme le montre le projet [OSCAR](#), *Observatoire National du Déploiement des Cépages Résistants*, dispositif partenarial destiné à suivre la durabilité des résistances des nouveaux cépages. Ces suivis ont confirmé leur fort potentiel pour réduire l'usage des produits phytosanitaires au sein des exploitations viticoles : réduction moyenne de 80% de l'IFT fongicide par rapport à la référence nationale 2019.

L'efficacité de ces différents leviers est illustrée par les résultats du projet [ARPHY trajectoire vigne](#) qui s'appuie sur les données des systèmes au sein du réseau DEPHY-Ferme vigne depuis 2009. Les analyses ont démontré que les fermes DEPHY réduisent leur IFT de 32% en moyenne sans que cette baisse n'impacte les rendements. Derrière la démonstration de la faisabilité avec les solutions actuellement disponibles, c'est donc maintenant la question de la transition

vers la généralisation qui se pose.

Il est important de souligner qu'il n'existe pas de solution alternative unique et que l'atteinte des objectifs Ecophyto ne peut se faire qu'en combinant les différents leviers.

La compréhension du cycle de la vigne, du contexte viticole et des bioagresseurs est cruciale pour élaborer des stratégies de protection efficaces

Tout au long de son cycle de développement annuel, la sensibilité de la vigne (feuillage ou grappe) aux bioagresseurs évolue suivant son stade phénologique. Guillaume Saumon, ingénieur d'étude pour le programme LUMA expose un des scénarios rencontrés où la maladie s'est installée tôt dans la saison (avant nouaison), la maladie est alors difficile à contrôler et des pertes de récoltes précoces sont enregistrées. D'où l'importance d'enrailler le développement de la maladie au bon moment en ajustant les posologies de traitement. Esther Fouillet, qui a présenté la thèse ARPHY, a fait l'analyse que la réduction des IFT au sein du réseau DEPHY est due en partie à une

réduction des traitements pendant les périodes moins sensibles, c'est-à-dire celles qui encadrent la floraison.

« *Aujourd'hui, en culture pérenne (viticulture ou arboriculture), le système d'expression des doses de produits phytosanitaires actuellement en vigueur en*

” **À terme on pourrait faire apparaître sur les étiquettes des produits des abaques d'adaptation des doses en fonction de paramètres facilement observables sur le terrain ”**

Sébastien Codis (IFV)
projet Technodose VITI

France est basé sur une dose fixe maximale, définie par hectare cadastral de parcelle, indépendante des conditions d'application dont le stade de végétation, explique Sébastien Codis, chercheur à l'IFV et porteur du projet TechnodoseViti. A terme on pourrait faire apparaître sur les étiquettes des produits des abaques d'adaptation des doses en fonction de paramètres

 **À voir aussi**
Appel à projets Eco-phyto II+ Recherche et innovation « Combiner les leviers opérationnels alternatifs » lancé en 2021 et notamment le projet [Vitarbae](#).



Le modèle ESR

Élaboré par Hill & MacRae (1995), ce cadre d'analyse distingue 3 niveaux de rupture et de transition à partir d'une situation « conventionnelle » initiale

E-efficience : l'objectif est d'optimiser le fonctionnement actuel du système et des moyens de lutte disponibles. Dans ce cadre, se positionnent les outils d'aide au raisonnement mais aussi l'agriculture de précision.

S-substitution : il s'agit de remplacer une/des intervention(s) chimique(s) par une intervention avec un agent biologique et/ou par une intervention mécanique

R-reconception : il s'agit d'une transformation de l'ensemble du système en vue d'une durabilité profonde. Cela passe notamment par une approche privilégiant la prévention et la prophylaxie pour placer les cultures dans les meilleures conditions et défavoriser les bio-agresseurs.

facilement observables sur le terrain (hauteur et épaisseur de la végétation) et de la performance du pulvérisateur ». Cette approche novatrice offre une alternative aux doses fixes par hectare, permettant une meilleure adaptation des doses aux conditions spécifiques des parcelles et de la phase de développement de la vigne.

Dans le cadre du déploiement de nouvelles variétés résistantes, il existe un enjeu de garantir l'efficacité et la durabilité de cette méthode de

gestion sur le moyen ou long terme. Dans cette optique, le projet OSCAR doit permettre d'organiser la surveillance de l'évolution des populations de bioagresseurs et de fournir des indicateurs fiables s'appuyant sur des données de terrain (suivi des dynamiques des maladies et des ravageurs au vignoble, des itinéraires techniques, des éléments quantitatifs et qualitatifs concernant le comportement agronomique des cépages) ainsi que sur l'évaluation au laboratoire de l'évolution de l'agressivité

des souches de mildiou sur les cépages.

Mieux vaut prévenir que guérir, ou comment anticiper pour limiter le risque

Si la baisse rapide des pesticides des viticulteurs du réseau DEPHY étudiés dans la thèse ARPHY est liée à des leviers de type efficience (optimisation des doses de traitement) et substitution (recours



À voir aussi

appel à projets « [Les approches globales pour limiter l'utilisation des produits phyto-pharmaceutiques](#) » lancé en 2019 par l'axe Recherche et Innovation du plan Ecophyto. Celui vise à promouvoir des approches préventives des épidémies plutôt que des approches curatives.



au biocontrôle), les fermes dont les trajectoires sont les plus avancées dans la réduction des phytosanitaires font appel à des changements plus profonds : prophylaxie, gestion de l'inter-rang, intégration de changements à l'échelle de l'exploitation et non uniquement de la parcelle. Ainsi s'affranchir de l'usage des pesticides ne pourra se faire en se limitant à l'approche curative. En intervenant le plus possible en amont par des actions préventives créant les conditions défavorables à l'apparition et au développement des populations de bioagresseurs et limitant les dégâts occasionnés, on réduit d'autant les besoins d'intervenir.

On constate que le nombre d'exploitations viticoles qui vont dans le sens d'une reconception de leur système reste relativement faible. Anticiper les risques demande d'intégrer un certain nombre de paramètres et nécessite des besoins d'accompagnement plus rapprochés des viticulteurs, mais aussi une production de connaissances sur les pratiques

innovantes. « *Plus on avance dans la réduction des phytosanitaires, plus on a besoin d'avoir des observations et des informations sur l'état du système, et de mobiliser des indicateurs pour favoriser la prise de décision* », explique Anne Mérot de l'INRAE de Bor-

”
Plus on avance dans la réduction des phytosanitaires, plus on a besoin d'avoir des observations et des informations sur l'état du système.”

Anne Mérot (INRAE)

deaux et impliquée dans le projet VITAE qui s'intéresse aux leviers pour conduire la vigne vers la sortie des pesticides. Cela nécessite d'une part d'op-

timiser la surveillance via des observations humaines ou des capteurs avec IA, d'autre part de renforcer l'appui technique pour gérer ces informations, les analyser et les rendre accessibles. C'est en capitalisant les réussites mais aussi les difficultés rencontrées suivant les années où les degrés de pression des bioagresseurs fluctuent, que la filière avancera progressivement sur cette route complexe. ■



À voir aussi

Appel à projets « [l'épidémiosurveillance étendue pour appuyer la transition agroécologique de conduite des cultures](#) » lancé en 2022 par l'axe recherche & innovation du plan Ecophyto II+ et notamment le projet [Valorise VITI](#).



ARPHY

TRAJECTOIRE VIGNE

Accompagnement par la Recherche
du réseau DEPHY

> Thèse de doctorat en agronomie d'Esther Fouillet

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Anne Merot
INRAE
anne.merot@inrae.fr

Esther Fouillet
INRAE
Esther.fouillet@inrae.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 191 236 €
Montant de la subvention OFB : 50 000€
[Appel National Ecophyto 2018/2019](#)

PARTENAIRES

- ◇ Région Occitanie,
- ◇ Réseau DEPHY,
- ◇ projet VITAE

En bref

Les enjeux instaurés par le plan ECOPHYTO sont ambitieux avec une nécessité pour les viticulteur·ice·s de maintenir de bonnes performances économiques et agronomiques dans la réduction de l'utilisation des pesticides. Cette thèse en agronomie cherchait à comprendre les changements de pratiques mis en place sur les viticulteurs impliqués dans la réduction des pesticides au fil du temps et d'évaluer l'impact de ces changements sur les performances agronomiques et économiques. L'analyse s'est déployée sur les exploitations engagées dans le réseau DEPHY depuis 2010.

Transition agroécologique

Réseau de ferme

Trajectoire

Réduction des pesticides

Vitis Vinifera



La transition vers des systèmes agricoles à faible utilisation de pesticides est une étape clé pour améliorer la durabilité de la viticulture. Les viticulteur·ices doivent changer leurs pratiques pour réduire durablement leur utilisation d'intrants. Un grand nombre de pratiques agroécologiques existent déjà mais les agriculteur·ice·s peuvent rencontrer des difficultés lors de leur mise en œuvre. Cette thèse en agronomie propose d'étudier les mécanismes de changements de pratiques dans le temps et leurs impacts sur la dynamique des performances, en focalisant cette étude sur des viticulteur·ices engagé·es dans une démarche de réduction des pesticides, dans le but de mieux comprendre et accompagner la transition agroécologique.

Ce travail est fondamental pour identifier les trajectoires conduisant à des stratégies de gestion associées à un faible usage de pesticides au sein de la viticulture conventionnelle mais aussi au sein de la viticulture biologique. Elle propose une démarche originale combinant analyse de base de données et enquêtes de viticulteur·ices engagé·es au sein du réseau DEPHY-Ferme.

Sur la base des données du réseau national DEPHY, une évaluation des performances techniques, économiques et environnementales des viticulteur·ices et leurs trajectoires a été faite. Ces analyses ont permis de démontrer que **les fermes DEPHY réduisent leur IFT de 33% en moyenne** sans que cette baisse n'impacte les rendements (*figure 1*). La baisse de l'IFT observée est expliquée par différents leviers mobilisés par les viticulteur·ices du

réseau comme la substitution de certains produits par des produits biocontrôle et la réduction des doses. L'efficacité dans l'application des doses avec un raisonnement en fonction de période phénologique a aussi pu être mise en évidence comme un des premiers facteurs identifiés dans le réseau. Un **arrêt de l'utilisation des herbicides** a été observé, au profit d'une diversité de pratiques de gestion du travail du sol. ➤

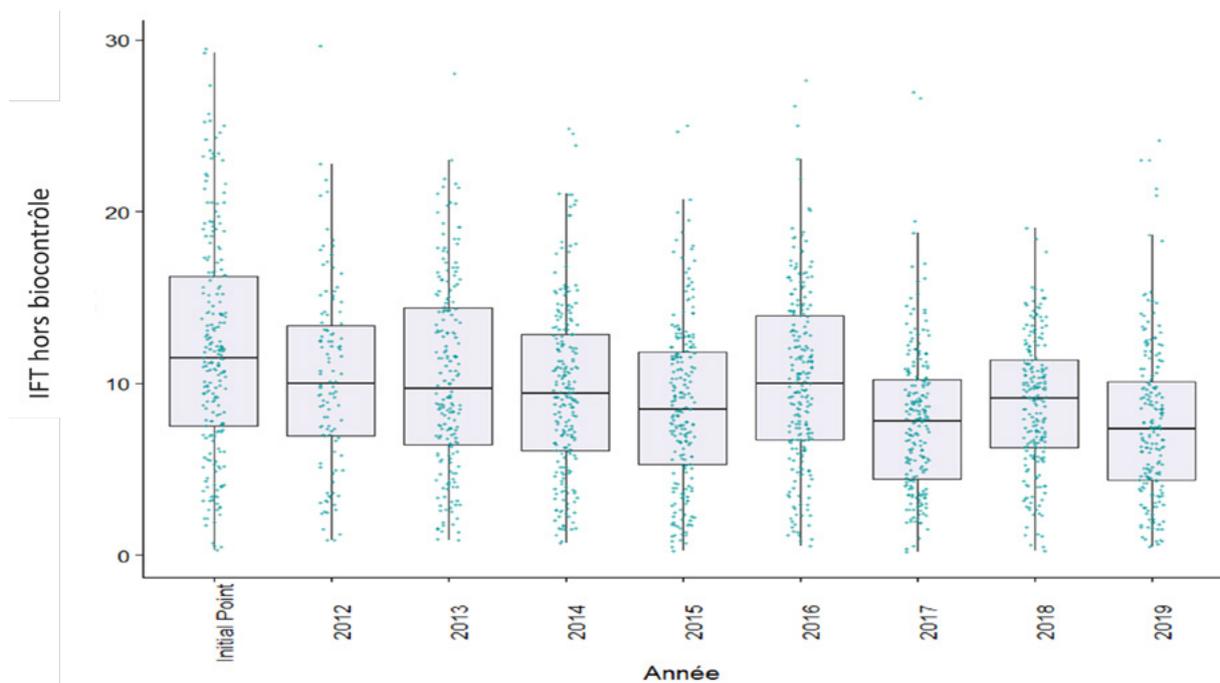


Figure 1 : Evolution de l'IFT hors biocontrôle pour les systèmes entrés en 2010 au sein du réseau DEPHY. Les points bleutés représentent les fermes DEPHY.



L'évolution de l'IFT au cours du temps a montré une forte variabilité inter- et intra-annuelle. Nous avons cherché à caractériser les trajectoires individuelles d'évolution des pesticides de 161 viticulteur·ices sur 10 ans à l'aide d'une typologie. Les analyses statistiques réalisées ont mis en évidence **3 trajectoires-type d'évolution de l'IFT sur 10 ans** en s'affranchissant de l'effet bassin viticole (figure 2). Le Type 1, correspond aux viticulteur·ices qui entrent dans le réseau DEPHY avec un IFT proche de la moyenne régionale et qui expérimentent une faible réduction de l'IFT (-16,4%). Le Type 2 comprend les domaines viticoles qui sont entrés dans le réseau DEPHY avec une faible utilisation des pesticides comparé à la moyenne régionale et qui réduisent leur IFT de 48% en moyenne passant d'un IFT moyen de 8.2 vers un IFT de 4.2 (soit -4 points d'IFT). La dernière trajectoire type (type 3) identifiée représente des domaines viticoles avec un IFT de départ élevé (un peu supérieur à la moyenne régio-

nale) et qui ont connu la plus forte réduction sur 10 ans d'engagement (-63% en moyenne, de 20.8 à 7.7 soit 13.1 point d'IFT). Les leviers identifiés entre les types sont similaires mais les types se distinguent par les différences de combinaison et d'intensité de leur mise en œuvre. **Le niveau de réduction de l'utilisation des pesticides dépend cependant du point de départ et des leviers mis en œuvre.** Une dernière analyse statistique a été faite pour étudier l'impact de la réduction de pesticides sur les performances économiques (coûts d'exploitation et consommation de carburant) et techniques (temps de travail mécanique) et la productivité (rendement). Ces données sont disponibles dans la base de données DEPHY. Les analyses réalisées ont mis en évidence que **la réduction de l'utilisation des fongicides et des herbicides n'avait pas d'effet significatif sur l'évolution des rendements sur les 10 ans.** ➤

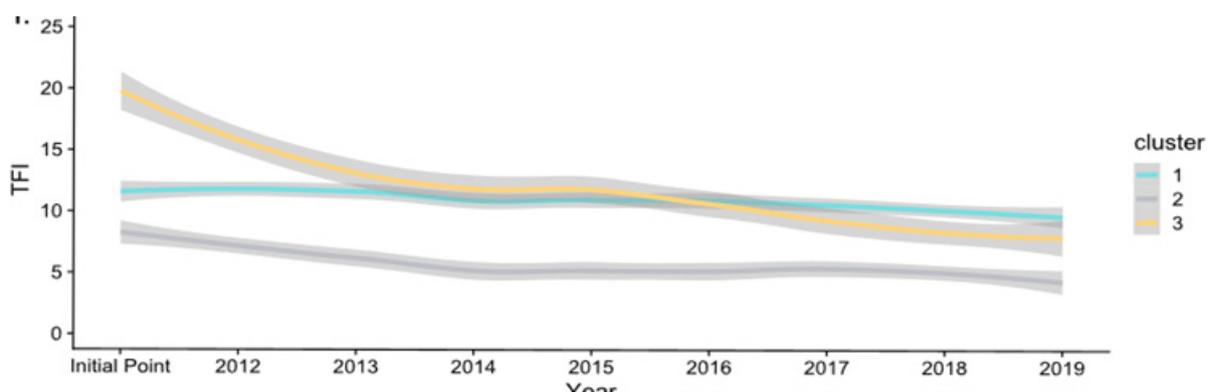


Figure 2 : Evolution moyenne de l'IFT par type de trajectoire identifié au cours des 10 années de l'étude.



Dans un deuxième volet complémentaire, une analyse des changements de pratiques mis en œuvre par les viticulteur-ices pour réduire les intrants et améliorer leurs performances environnementales a été réalisée par enquêtes. 37 viticulteur-ices ont été enquêtés et sélectionnés à partir des types de trajectoires d'IFT précédemment identifiées et de trois zones climatiques (Atlantique, Méditerranéenne et Nord). Les changements mis en place pour réduire l'utilisation des pesticides ont été retracés au cours des entretiens. Nous avons montré que les leviers étaient implémentés pas-à-pas et reposaient principalement sur de l'efficacité et de la substitution. L'étude des trajectoires de pratiques a permis l'**identification d'une trajectoire générique conduisant à une réduction des pesticides** (figure 3).

L'approche mise en place au cours de ce travail de thèse a permis de **produire des résultats génériques à l'échelle de la filière vigne** grâce à la combinaison d'analyses sur base de données nationales à large échelle et d'analyses plus spécifiques à l'échelle de l'exploitation suite aux enquêtes. Le faible niveau de reconception observé soulève des **questions sur l'accompagnement des viticulteur-ices au cours de leur démarche de réduction des pesticides** mais aussi sur la production de connaissances sur les pratiques innovantes. ➤

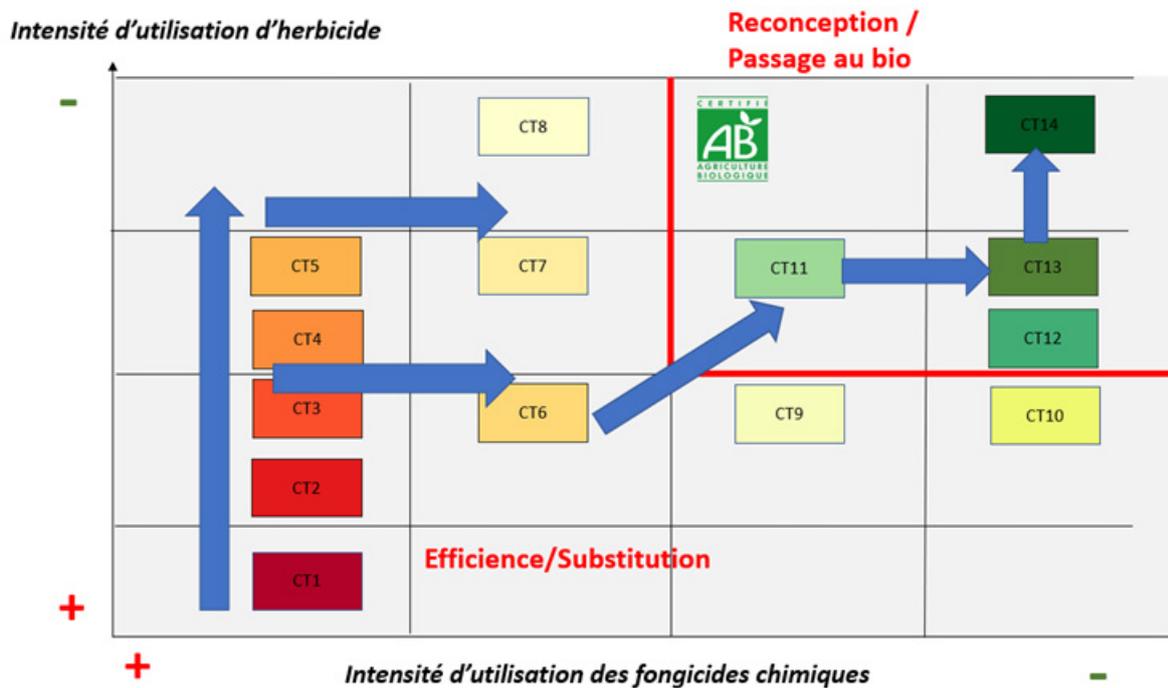


Figure 3 : Trajectoire de changements de pratiques suivie par les viticulteur-ices enquêtés. Les cases CT correspondent à des Combinisons Techniques identifiées reprenant à la fois la stratégie d'utilisation des fongicides (du chimique à l'utilisation de PNPP) et la gestion du rang et de l'inter-rang (de la gestion chimique à l'enherbement). Les combinaisons techniques correspondant à une conduite en agriculture biologique sont représentées en vert. Les trajectoires type de changement observées par enquête sont retracées par les flèches bleues.



Du côté du transfert

Cette étude fournit des ressources pour un meilleur accompagnement des viticulteur·ices dans leur processus de réduction des pesticides. Nos résultats montrent que **le chemin à suivre pour mettre en place les leviers est relativement générique**. Il existe un « ordre » à suivre qui semble garantir la baisse des pesticides. Nous avons également **identifié des points de blocages** dans la réduction notamment avant la conversion au bio – qui constitue des points de vigilance pour les conseiller·ères dans le suivi des viticulteur·ices. Aussi, **les différences de marge de manœuvre en fonction de l'IFT initial soulignent l'importance du diagnostic**.

Du côté de la recherche

Ce travail de thèse s'est **prolongé dans le projet VITAE – PPR Cultiver Protéger Autrement**, dans un travail de traque aux innovations dans des exploitations en rupture. La question qui se posait était de savoir **ce qui se passait au-delà du seuil de réduction de 30-40% de réduction des pesticides**.

Livrables, valorisation et transfert

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES

Fouillet E., Delière, L., Chartier, N., Munier-Jolain, N., Cortel, S., Rapidel, B., and Merot, A. *Reducing pesticide use in vineyards : Evidence from the analysis of the French DEPHY-Network*. Short paper accepted for oral presentation at the Towards Pesticide Free Agriculture, 2 and 3 June 2022, Dijon, France

Fouillet Esther, Rapidel Bruno et Merot Anne.

Analyse des changements de pratiques, de leurs trajectoires et des performances associées dans les systèmes viticoles du réseau DEPHY. Séminaire DEPHY, 8 décembre 2021, Rivesaltes

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES, AVEC ET SANS ACTES

Fouillet E., Delière, L., Chartier, N., Munier-Jolain, N., Cortel, S., Rapidel, B., and Merot, A. *Reducing pesticide use in vineyards : Evidence from the analysis of the French DEPHY-Network*. Short paper accepted for oral presentation at the 14th European IFSA Symposium, 28 March to 1 April 2022, Evora, Portugal

Esther Fouillet, Bruno Rapidel et Merot Anne. *Analyse des changements de pratiques, de leurs trajectoires et des performances associées dans les* ➤



systèmes viticoles du réseau DEPHY. Réunion
CAN-IT Réseau DEPHY, 22 juin 2022, en ligne

Fouillet Esther, Rapidel Bruno and Merot Anne.
*Reducing pesticide use in vineyards. Evidence from
the analysis of a national demonstration Network*.
GiESCO, 17-23 juillet 2023, Ithaca, USA

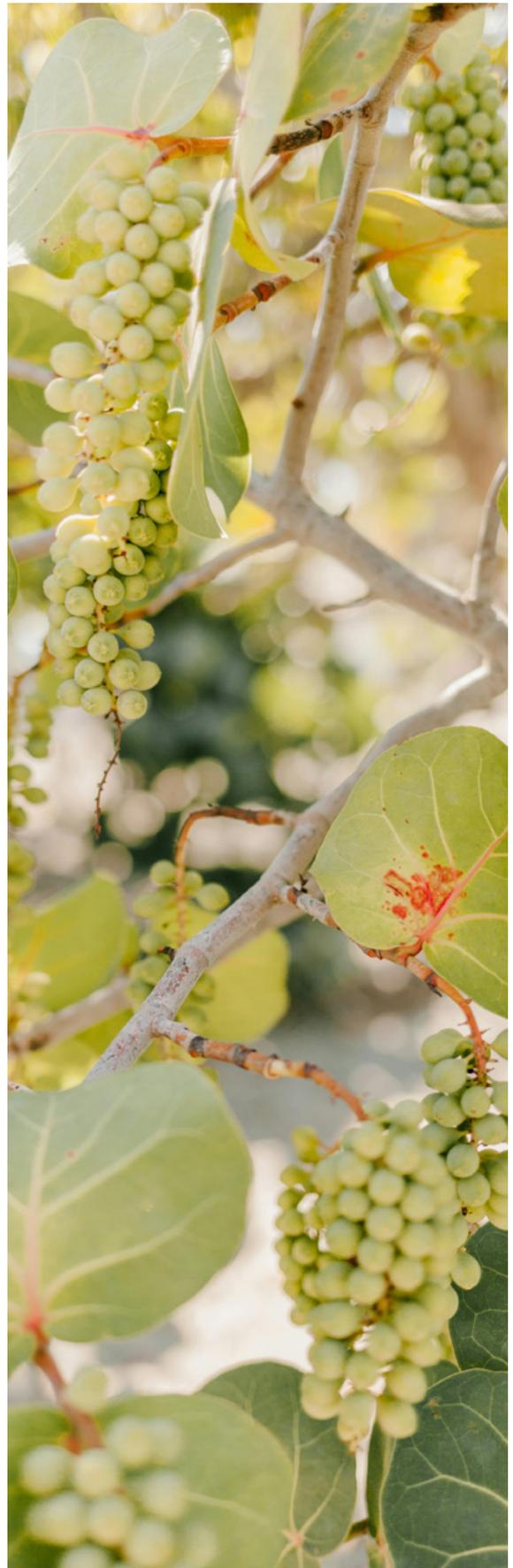
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Fouillet, Esther, Laurent Delière, Nicolas Char-
tier, Nicolas Munier-Jolain, Sébastien Cortel,
Bruno Rapidel, et Anne Merot. « *Reducing
Pesticide Use in Vineyards. Evidence from the Ana-
lysis of the French DEPHY Network* ». European
Journal of Agronomy 136 (mai 2022): 126503.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126503>.

Fouillet, Esther, Laurent Delière, Albert Flori,
Bruno Rapidel, et Anne Merot. « *Diversity of
Pesticide Use Trajectories during Agroecological
Transitions in Vineyards: The Case of the French
DEPHY Network* ». Agricultural Systems 210
(août 2023): 103725. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103725>.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

Fouillet E., Delière, L., Chartier, N., Munier-
Jolain, N., Cortel, S., Rapidel, B., and Merot, A.
(2022). *Vers des systèmes viticoles économes en
pesticides. Etude du réseau DEPHY-Ferme* Revue
des Œnologues ■



TECHNO- DOSEVITI

Modélisation expérimentale pour la prédiction des dépôts de produits phytopharmaceutiques au sein du couvert végétal en viticulture. Application à l'expression des doses et à la viticulture de précision.

> Projet de recherche & développement

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Sébastien Codis

IFV

sebastien.codis@vignevin.com

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 461 433 €

Montant de la subvention OFB : 200 000 €

[Appel à projets CASDAR Recherche technologique 2017](#)

PARTENAIRES

- ◇ IFV, Institut Français de la Vigne et du Vin, UMT Ecotech, Montpellier, France.
- ◇ ITAP, INRAE, Montpellier SupAgro, Univ Montpellier, UMT Ecotech, Montpellier, France

En bref

Le projet Casdar RT TechnoDoseViti (2018-2021) a permis une avancée significative dans le domaine de la pulvérisation de précision en proposant une approche novatrice pour prédire les dépôts de produits phytosanitaires au sein du couvert végétal. À l'aide de données expérimentales acquises dans des contextes agronomiques divers, des modèles multivariés ont été développés, calibrés et validés pour prédire les quantités de dépôts de produit pulvérisé au sein de la végétation en fonction de ses caractéristiques mesurées par un capteur LiDAR 2D. Ces modèles ont été adaptés à différents types de pulvérisateurs et de contextes viticoles. Ils ont permis d'évaluer l'impact des techniques de précision sur la réduction des intrants phytopharmaceutiques. Un démonstrateur web a été créé pour visualiser les résultats : <https://technodoseviti.hdigitag.fr/>

Modélisation

Dépôts phytosanitaires

Doses

Couvert végétal

Viticulture

Précision



La demande sociétale en faveur de la réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (PPP) a été traduite ces dernières années par un ensemble de textes réglementaires au niveau national et européen qui définissent des objectifs très ambitieux pour le secteur agricole (directive SUD (2009/128/CE) en cours de révision, plans Ecophyto successifs au niveau national ...). Ces textes fixent des objectifs de réduction de 50 % des usages à l'échelle d'une décennie et conduisent à reconsidérer l'ensemble des processus de protection des cultures.

Parmi les questions posées, figure le mode d'expression des doses homologuées des produits phytosanitaires en cultures 3D. Aujourd'hui, en cultures pérennes, les doses sont exprimées sous la forme d'une quantité fixe (en Kg/ha ou L/ha) et indépendante des conditions d'application (quantité de végétation à traiter, mode de conduite, etc.). Pourtant, entre les premiers traitements et le stade de pleine végétation, la surface foliaire totale à traiter sur une même parcelle de vigne peut varier de 1 à plus de 10. En parallèle, à un même stade végétatif, en fonction des cépages, des modes de conduite et de la vigueur des parcelles, la surface à traiter peut varier dans un rapport de 1 à plus de 3. Ainsi, dans la pratique, l'application de la dose homologuée conduit à des quantités de produits déposés par unité de surface sur le végé-

tal très variables. Cette variabilité est d'autant plus grande quand on considère la diversité de performance des matériels de pulvérisation utilisés au vignoble pour appliquer les produits.

Le projet CASDAR RT TechnoDoseViti contribue aux objectifs de réduction de l'utilisation des PPP en viticulture en s'intéressant à **l'adaptation des doses selon les caractéristiques de la végétation à protéger et les performances des pulvérisateurs**. Porté par l'UMT Ecotech (IFV-INRAE-CTIFL) et la Chambre d'Agriculture de l'Hérault (CA34), le projet TechnoDoseViti portait l'ambition de développer un cadre d'analyse des marges de réduction d'intrants liées à la fois à l'évolution de l'expression des doses et à l'amélioration des techniques d'application. ➤



Le projet a été conduit en adressant les questions opérationnelles suivantes :

1. Comment adapter la dose de PPP au développement et à l'architecture du végétal ?
2. À quelle échelle spatiale est-il pertinent d'ajuster les doses (exploitation, adaptation inter-parcellaire, intra-parcellaire) et selon quels prérequis technologiques ?
3. Quelles pourraient être les économies d'intrants phytosanitaires liées à l'évolution du mode d'expression des doses et à l'utilisation de pulvérisateurs performants ?
4. Que peut-on attendre de la pulvérisation de précision ? Les travaux conduits dans le cadre du projet Casdar RT TechnoDoseViti (2018-2021) ont permis d'identifier les descripteurs de la végétation nécessaires à prendre en compte pour prédire la distribution statistique des dépôts de produits phytopharmaceutiques pulvérisés au sein du couvert végétal (Cheraïet et al., 2021). Ce travail de modélisation expérimentale (Codis et al., 2018) a permis de

construire, calibrer et valider des modèles multivariés permettant de prédire les différents déciles de quantité de dépôts surfaciques dans le couvert végétal en fonction de descripteurs de la végétation (hauteur, épaisseur et porosité du couvert végétal) mesurés à l'aide de capteurs LiDAR 2D mobiles permettant une reconstitution 3D de la végétation (Cheraïet et al., 2019 & 2020).

Des modèles ont été développés et calés pour différents types de pulvérisateurs et différents contextes viticoles (vignes larges et vignes étroites). Les données ont été mobilisées pour comparer différents scénarios technologiques consistant en différentes stratégies de mécanisation des viticulteurs et différents niveaux de technologie des appareils afin d'évaluer quelle pourrait être la contribution des techniques d'application de précision en termes de réduction des intrants phytosanitaires. ►





Dans le cadre du projet, un démonstrateur web a été réalisé : <https://technodoseviti.hdigitag.fr/> .

Muni d'une interface graphique et cartographique, ce démonstrateur web permet de comparer 3 scénarios technologiques :

- ◆ utilisation d'une voûte pneumatique tous les 4 rangs,
- ◆ utilisation d'un appareil jet porté de configuration face par face
- ◆ utilisation de panneaux récupérateurs.

L'interface de visualisation cartographique per-

Un autre résultat important est le **développement d'abaques d'adaptation des doses simples** à utiliser par les professionnels, qui pourraient à terme apparaître sur les étiquettes des produits phytosanitaires. Ces abaques pourraient **permettre aux agriculteurs d'ajuster les doses en fonction de la performance de leur pulvérisateur et de paramètres observables sur le terrain**, tels que la hauteur et l'épaisseur de la végétation. Cette approche novatrice offre une alternative aux doses fixes par hectare, permet-

tant une meilleure adaptation des doses aux conditions spécifiques de chaque parcelle.

Pour ce qui concerne les limites de la démarche mise en œuvre, il est important de noter que les données recueillies durant ces 3 ans de projet reposent sur des hypothèses spécifiques concernant le contexte viticole (conditions de pulvérisation et caractéristiques de la végétation), ce qui limite leur généralité.

En résumé, les résultats du projet TECHNODOSEVITI représentent une avancée significative dans le domaine de la réduction des intrants phytosanitaires en agriculture, en proposant des approches novatrices et efficaces pour une gestion plus précise des traitements. Cependant, il est important de reconnaître les limites

méthodologiques de ces résultats, qui nécessitent des validations supplémentaires et une adaptation aux spécificités locales pour assurer leur généralité à d'autres territoires et types de cultures. ➤

met de comparer deux situations : par exemple, l'application de deux scénarios différents pour une même parcelle à une date donnée, l'application d'un même scénario pour deux parcelles différentes, ou l'application d'un même scénario à deux stades différents d'une même parcelle.





Du côté du transfert

Les résultats obtenus dans le cadre du projet TECHNODOSEVITI offrent des perspectives prometteuses de transfert à la profession agricole et aux parties prenantes du secteur. Les modèles de prédiction des dépôts de produits phytosanitaires pourraient être intégrés dans des outils d'aide à la décision destinés aux agriculteurs, facilitant ainsi l'ajustement précis des doses en fonction des caractéristiques des parcelles traitées et de la performance des pulvérisateurs employés.

De plus, des abaques d'adaptation des doses du même type que développés dans le projet pourraient être utilisés sur les étiquettes des produits, fournissant des références aux utilisateurs pour une utilisation plus précise des produits. Ces résultats, bien que spécifiques à la viticulture, présentent des principes génériques transférables à d'autres cultures, favorisant ainsi une approche plus précise et durable de la protection des cultures.

Du côté de la recherche

Les avancées du projet CASDAR RT TechnodoseViti en recherche sont significatives. En développant des modèles de prédiction des dépôts de produits phytosanitaires au sein du couvert végétal, le projet ouvre de nouvelles perspectives pour la recherche en agronomie. Ces modèles permettent d'explorer plus profondément la relation entre la dose de produit appliquée et son efficacité, ainsi que l'impact de la structure de la végétation sur la distribution des dépôts. Les résultats obtenus offrent des bases solides pour de futurs projets de recherche visant à affiner ces modèles, à explorer d'autres cultures et à développer des technologies de pulvérisation encore plus précises. En outre, ces avancées encouragent la collaboration interdisciplinaire entre les sciences agronomiques, l'ingénierie et la modélisation statistique, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour l'innovation dans le domaine de l'agriculture de précision.

Livrables, valorisation et transfert

LIVRABLES

- ◆ Modèles de prédiction des dépôts de produits phytosanitaires dans le couvert végétal.
- ◆ Abaques d'adaptation des doses en fonction

du développement de la végétation.

- ◆ Base de données des références expérimentales acquises.
- ◆ Méthodes de caractérisation de la structure du couvert végétal.
- ◆ Méthodes de caractérisation de la distribution statistique des dépôts de pulvérisation.

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES, AVEC ET SANS ACTES

- ◆ SUPROFUIT 2017 : colloque bisannuel de ►



référence au niveau européen sur les avancées scientifiques et techniques sur les techniques d'application

Codis, S., Carra, M., Delpuech, X., Montegano, P., Ruelle, B., Savajols, B., & Ribeyrolles, X. (2017). Towards a new model of dose expression in viticulture: Presentation of an experimental approach based on deposition measurement to test the relevance of different scenarios. *SuproFruit* 2017.

◇ Workshop européen sur l'expression des doses en cultures pérennes 2018

Carra, M., Codis S., Lienard A., Naud O. (2018) Experimental modelling of spraying deposit according to vine canopy architecture to design scenarios for dose expression and adjustment. AAB-Dose Expression Workshop on 6-7 November 2018 at the Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

Codis S., Douzals J-P, Verges A., Carra M., Ribeyrolles R., Bonicel JF, Lienard A. Delpuech A. (2018) Importance of sprayer performance for dose adjustment and plant protection security: The tools allowing to classify sprayers according to safety margins for dose adjustment AAB-Dose Expression Workshop on 6-7 November 2018 at the Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

Mironet V., Codis S., Carra M., Verpont F. (2018). First steps from a French methodological working group to facilitate LWA dose expression implementation in France. *Aspects of Applied Biology*. AAB-Dose Expression Workshop on 6-7 November 2018 at the Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain

◇ Colloque de la CIETAP (Commission interprofessionnelle d'étude des techniques d'application de produits phytosanitaires) 2018

Codis S., Ruelle B., Carra M., Montegano P., Ribeyrolles X., Naud O., Douzals JP., Delpuech X., Verges A. (2018) Le mode d'expression des doses en viticulture, un facteur clé pour une

optimisation des quantités de produits phytosanitaires appliqués - AFPP - colloque sur les techniques d'application de produits de protection des plantes - Lyon - 13 et 14 mars 2018

◇ Colloque "International Advances in Pesticide Application" 2018 colloque bisannuel de référence au niveau mondial sur les avancées scientifiques et techniques sur les techniques d'application

Bastianelli, M., de Rudnicki, V., Codis, S., Naud, O., (2018). Assessing models from Lidar based vegetation indicators for predicting spraying deposit amounts in a set of vine estates in France, in *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 137:375-384, Brighton, UK, Jan 9-11.

◇ Conférence européenne sur l'agriculture de précision 2019

Cheraïet, A., Carra, M., Lienard, A., Codis, S., Vergès, A., Delpuech, X., Naud, O. (2019). Investigation on LiDAR based indicators for predicting agrochemical deposition within a vine field. *The 12th European Conference on Precision Agriculture*, 8-11 juillet 2019, Montpellier, France.

◇ Colloque GFP (Groupe Français de Recherche sur les Pesticides) 2019

Cheraïet, A., Delpuech, X., Carra, M., Andres, J., Lienard, A., Codis, S., Vergès, A., Naud, O. (2019). Evaluer au vignoble des capteurs et des solutions numériques innovantes pour diminuer et gérer les intrants phytosanitaires. *49ème congrès du Groupe Français de Recherche sur les Pesticides*, 21-24 mai 2019, Montpellier, France.

◇ Développement de modèles multivariés de prédiction de la distribution statistique des dépôts en fonction des données LiDAR dans le contexte des vignes étroites. Cet article valorise les données acquises dans e cadre du projet ►



PULVETROIT. Cet article a été soumis à la conférence internationale d'horticulture (IHC 2022) (abstract accepté).

A. Cheraïet, O. Naud, S. Codis, P. Petitot, F. Bidaud, M. Liebart, J. Taylor. Testing the suitability of a terrestrial 2D LiDAR scanner for 3D canopy characterization of narrow vineyards to optimize the spraying process of pesticides.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

◆ Cheraïet A., Naud O., Carra M., Codis S., Lebeau F., Taylor J., 2020. An algorithm to automate the filtering and classifying of 2D LiDAR data for site-specific estimations of canopy height and width in vineyards. *Biosystems Engineering* 200: 450-465.

◆ Cheraïet A., Naud O., Carra M., Codis S., Lebeau F., Taylor J., 2021. Predicting the site-specific distribution of agrochemical spray deposition in vineyards at multiple phenological stages using 2D LiDAR-based primary canopy attributes. *Computers and Electronics in Agriculture* 189 (2021) 106402

◆ Cheraïet A., Naud O., Carra M., Codis S., Taylor T., 2022B. Evaluation of the distribution of intercepted spray deposits within a vine canopy from measurements on artificial targets and real leaves. *Oeno One* by IVES (International Viticulture and Oenology Society) DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.4.5414>

◆ Codis S., Carra M., Delpuech X., Montegano P., Nicod H., Ruelle B., Ribeyrolles X., Savajols B., Vergès A., Naud O., 2018. Dataset of spray deposit distribution in vine canopy for two contrasted performance sprayers during a vegetative cycle associated with crop indicators LWA and TRV. *Data in Brief* 18 2018 415-421.

◆ Codis S., Carra M., Vergès A., Delpuech X., de Rudnicki V., Naud O., 2019. Optimisation agro-environnementale de la pulvérisation sur vigne en fonction de l'architecture de la végétation et du matériel d'application utilisé (Ar-

chiTechDoseViti), *Innovations Agronomiques*, INRA, 71 (2019), pp.151-

◆ Codis S., Cheraïet A., Delpuech X., Carra M., Ribeyrolles X., Trinquier E., Vergès A., Naud O., 2023 *TechnodoseViti : Modélisation expérimentale pour la prédiction des dépôts de produits phytosanitaires au sein du couvert végétal en viticulture. Application à l'expression des doses et à la viticulture de précision. Innovations Agronomiques* 88 (2023), 28-43

AUTRES VALORISATIONS

◆ Mémoire de thèse de Anice Cheraïet (janvier 2018-décembre 2020):

Cheraïet A., 2020A. Modélisation expérimentale et statistique des relations entre caractéristiques morphologiques de la vigne et dépôts de pulvérisation : application à l'agriculture de précision. Mémoire de thèse présenté par Anice Cheraïet le 18 décembre 2020, Institut Agro Montpellier

◆ **Méthodologies produites** : Les membres du projet (Sébastien Codis, IFV), Mathilde Carra (INRAE) ainsi que Florence Verpont (CTIFL et co-animatrice de l'UMT ECOTECH) ont été rapporteurs du nouveau document technique (DT28, 2021) de la CEB relatif aux « *Recommandations pour l'utilisation de l'unité de dose LWA en cultures hautes (Leaf Wall Area : surface de haie foliaire)* ». Ce document élaboré dans un cadre interprofessionnel a pour objectif de guider les firmes phytosanitaires dans la mise en œuvre de la nouvelle expression des doses décidée au niveau européen pour être le support des essais et mise en place des essais d'efficacité des produits dans le cadre de leur homologation. ■



OSCAR

Observatoire National du
Déploiement des Cépages Résistants

> Projet de recherche et développement

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Laurent Delière

INRAE

laurent.deliere@inrae.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 466 603 €

Montant de la subvention OFB : 201 111 €

[Appel à Projets CASDAR Semences et Sélection Variétale - 2017](#)

PARTENAIRES

- ◇ INRAE,
- ◇ IFV,
- ◇ Chambre d'agriculture de la Gironde,
- ◇ Chambre d'agriculture de l'Aude

En bref

L'utilisation de la résistance variétale au mildiou et à l'oïdium constitue une piste d'avenir pour réduire fortement la dépendance de la viticulture aux produits phytosanitaires. Si les premières variétés commencent à être déployées dans le vignoble français, un accompagnement est nécessaire afin de garantir l'efficacité et la pérennité de cette méthode de gestion. Le projet OSCAR a permis de mettre en place un dispositif partenarial destiné à accompagner ce déploiement, notamment par une surveillance de l'efficacité, de l'évolution des populations de bioagresseurs et plus largement des problématiques sanitaires rencontrées

observatoire-cepages-resistants.fr

Vignes

Cépages résistants

Mildiou

Oïdium

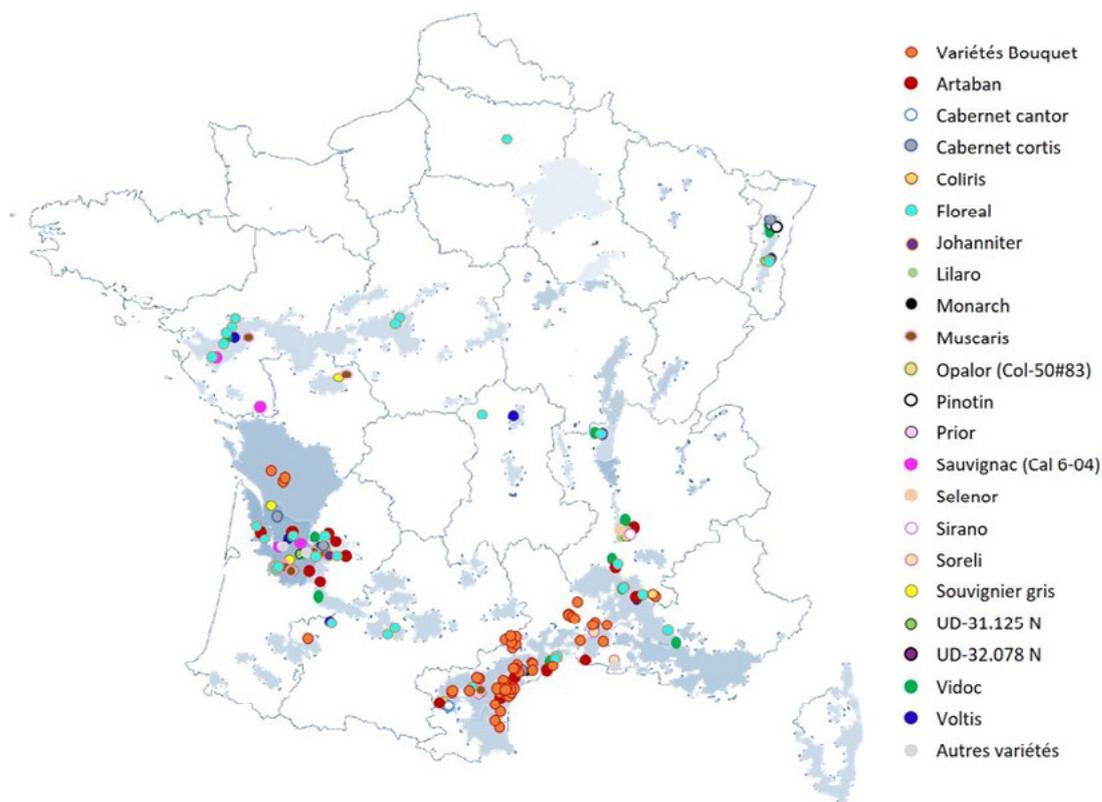
Durabilité



Le recours aux produits phytosanitaires en viticulture est en grande partie lié à la gestion de deux maladies foliaires, le mildiou et l'oïdium. Introduits en France à la fin du XIXème siècle, ces deux maladies sont encore à l'origine de plus de 80% des traitements réalisés. En effet, les variétés utilisées dans le vignoble français sont sensibles à ces maladies qui peuvent entraîner des dégâts quantitatifs et qualitatifs très importants. L'utilisation de nouvelles variétés résistantes à ces maladies constitue un levier permettant d'envisager une réduction très importante de l'usage des produits phytosanitaires. L'aboutissement de programmes de sélection en France et en Europe et le classement des premières variétés depuis 2018 permettent le déploiement dans le vignoble de ces nouvelles variétés. Néanmoins, cette étape soulève de nombreuses questions sur la durabilité des résistances déployées, des itinéraires techniques à mettre en place pour accompagner ces nouveaux cépages et plus globalement l'accompagnement de l'expérimentation de ces cépages résistants.

Pour répondre à ces enjeux, le projet OSCAR propose la mise en place et le suivi d'un dispositif original : l'Observatoire National du déploiement des Cépages Résistants. Il doit permettre **d'organiser la surveillance** (durabilité des résistances, émergences de nouvelles problématiques sanitaires) mais aussi **d'organiser un partage d'expérience et d'accompagner les acteurs** dans l'appropriation et l'usage des cépages résistants. Ce dispositif national s'ap-

puie sur un réseau de parcelles en production plantées par des viticulteurs, sur lesquelles sont collectées les données via des protocoles standardisés. Ces données concernent le suivi des dynamiques des maladies et des ravageurs au vignoble, les itinéraires techniques, des éléments quantitatifs et qualitatifs concernant le comportement agronomique des cépages ainsi que l'évaluation au laboratoire de l'évolution de l'agressivité des souches de mildiou sur les ➤



Répartition des 168 parcelles de l'observatoire



cépages résistants.

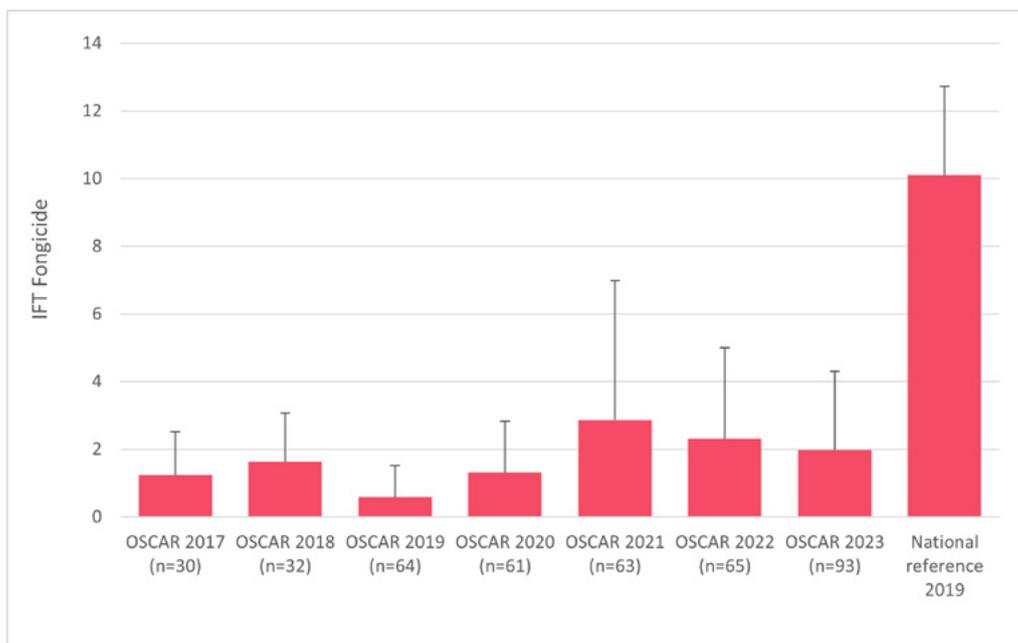
Ce projet vise ainsi à initier **une recherche participative sur le sujet du déploiement des variétés résistantes** en proposant un système d'alerte sur l'érosion des résistances et les nouvelles problématiques sanitaires ainsi qu'en partageant et diffusant des connaissances sur les systèmes de cultures mobilisant la résistance variétale.

Le projet OSCAR a permis la **mise en place opérationnelle du réseau de parcelles** : construction des différents protocoles, suivi des parcelles et réalisation de monitoring de l'agressivité de souches de mildiou.

A la fin du projet en 2021, le réseau était constitué de 116 parcelles réparties sur 63 sites en France. Le nombre de parcelles intégrées à l'observatoire avait été multiplié par 3 depuis sa préfiguration en 2017 avec en moyenne 26 parcelles intégrées tous les ans. A la fin du projet, le travail a été poursuivi et **le réseau compte, en 2024, 168 parcelles réparties sur**

94 sites. Trente-deux variétés sont ainsi suivies. A partir de 2025, une extension de l'observatoire est prévue à l'échelle européenne avec l'intégration de parcelles en Allemagne, Italie et Espagne.

Ces suivis ont confirmé le fort potentiel des variétés résistantes pour réduire l'usage des produits phytosanitaires au sein des exploitations viticoles. Avec un IFT fongicide moyen égal à 1.7 sur le réseau depuis 2017, **nous constatons une réduction moyenne de 83% l'IFT fongicide** par rapport à la référence nationale 2019. En dépit de cette forte baisse de l'usage des fongicides, l'ensemble des bio-agresseurs est resté dans la majorité des cas bien maîtrisé même pendant les années à fortes pressions parasitaires comme 2018, 2020 ou 2021. Même si les résultats dépendent bien entendu des variétés et des gènes de résistances déployés, **aucune perte d'efficacité n'a été observée sur le terrain.** >



IFT fongicide moyen des parcelles OSCAR de 2017 à 2023 et IFT fongicide de référence nationale 2019. L'ensemble des parcelles OSCAR sont plantées avec des variétés résistantes.

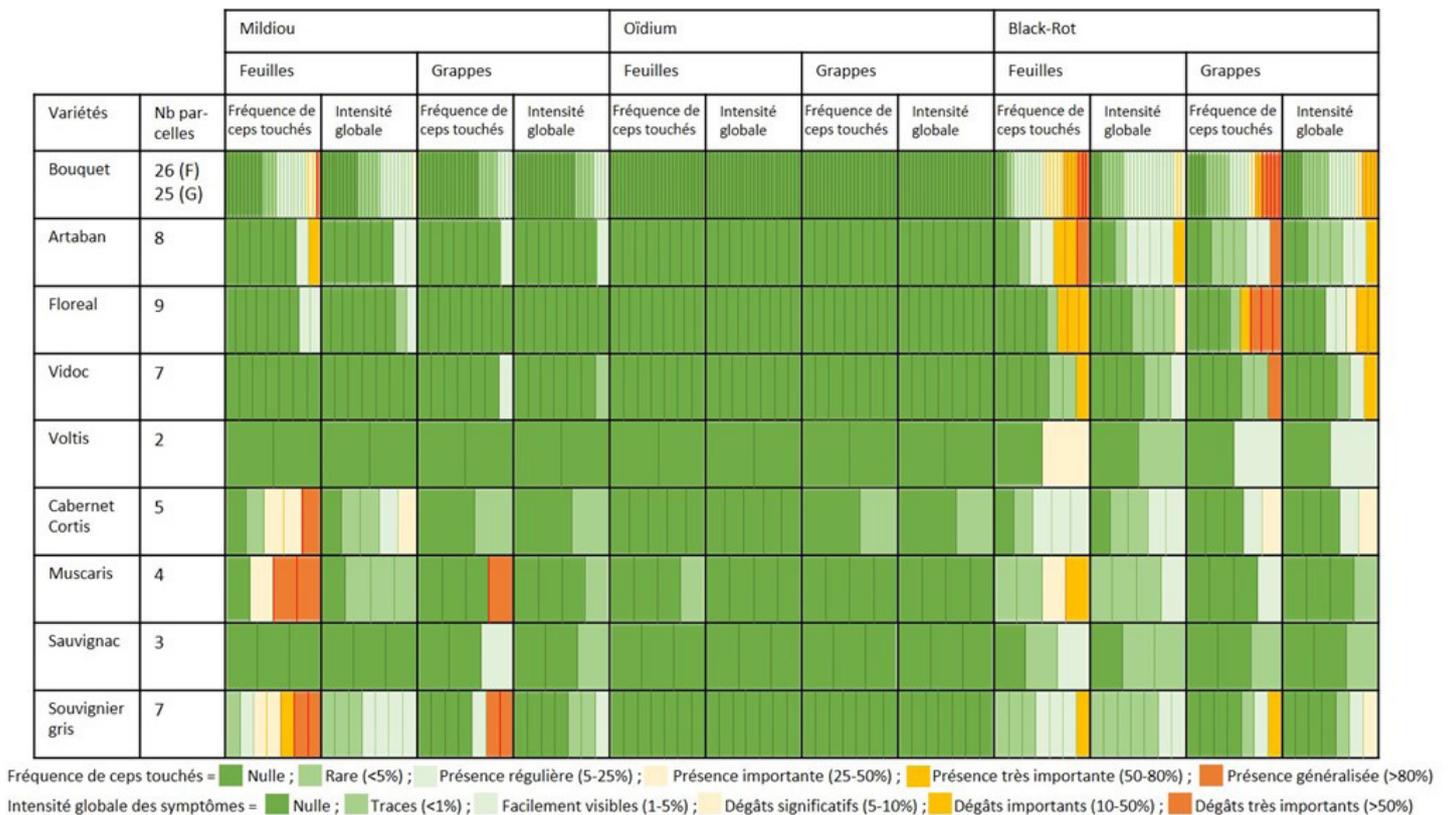


Pour le mildiou, des symptômes sont apparus sur les parcelles de 2018 à 2022 et de façon plus marquée en 2018, du fait de la forte pression épidémique. Si les fréquences de symptômes ont pu être importantes en 2018, les intensités d'attaques sont restées faibles et n'ont pas entraîné de pertes de récolte significatives. Pour l'oïdium, aucun symptôme n'a été détecté au terrain sur les variétés INRAE (Bouquet et ResDur) porteuses du gène Run1 conférant une résistance totale.

Le suivi des autres bioagresseurs, notamment ceux habituellement contrôlés par les traitements visant le mildiou et/ou l'oïdium a mon-

tré des problématiques ponctuelles de black-rot, qui peuvent nécessiter une stratégie de gestion spécifique. Les autres bioagresseurs (excoriose, anthracnose) n'ont pas été identifiés comme des problématiques majeures.

Les monitoring mildiou réalisés au laboratoire n'ont montré aucune perte d'efficacité des résistances conférées par les gènes Rpv1 et Rpv10. Les résultats ont néanmoins confirmé la présence d'individus contournant la résistance conférée par Rpv3, comme décrit précédemment depuis 2010 dans la littérature. La fréquence de ces individus était parfois assez élevée en particulier sur certaines parcelles ➤



Fréquence et intensité du mildiou, de l'oïdium et du black rot sur feuilles et grappes sur 71 parcelles du réseau OSCAR à la véraison 2021. Les parcelles sont classées par variété. Les variétés représentées ici, sont celles avec le plus grand nombre de données collectées à la véraison 2021. Fréquence de maladies sur feuilles : fréquence de ceps présentant au moins un symptôme sur feuilles. Fréquence de maladies sur grappes : fréquence de ceps présentant au moins un symptôme sur grappes. Intensité de maladie : pourcentage de couverture des symptômes sur la totalité de la parcelle (y compris organes sains). La fréquence et l'intensité sont évalués avec 5 classes. Le tableau présente la distribution des parcelles dans chaque classe d'évaluation.



Du côté du transfert

L'usage de la résistance variétale constitue une alternative efficace, dans la mesure où son déploiement est raisonné avec les opérateurs de terrain. Il est nécessaire d'augmenter la couverture nationale de l'observatoire OSCAR en intégrant de nouveaux bassins viticoles, de mieux organiser le choix des parcelles (variétés, contextes agronomiques, objectifs de production, etc.), d'assurer la pérennité des suivis et du pilotage du dispositif en impliquant les interprofessions viticoles. Cette évolution, actuellement coordonnée dans le cadre du CST de la filière vigne permettra une surveillance efficace de la durabilité des résistances déployées et apportera les informations nécessaires pour leur bonne gestion. Ce réseau OSCAR 2.0 pourra facilement inclure les nouvelles variétés issues des programmes régionaux qui devraient commencer à être disponible en 2030.

Du côté de la recherche

Les travaux conduits dans le cadre de ce projet ont permis la constitution d'une collection d'isolats de mildiou (3700 isolats), mobilisés pour différents programmes de recherche. Les données d'interactions hôte-parasite produites lors du phénotypage au laboratoire alimentent le choix de paramètres aussi représentatifs que possible du mildiou de la vigne dans les travaux de modélisation qui sont menés à INRAE. Ces travaux visent à comparer les effets de différentes stratégies de déploiement de variétés résistantes sur (i) le contrôle des épidémies, (ii) la durabilité des résistances, (iii) la réduction des traitements et (iv) les performances économiques aux échelles des exploitations et des territoires.

La méthode de phénotypage actuelle nécessite une logistique et des moyens humains très conséquents. Dans l'objectif d'augmenter le débit du monitoring, des travaux sont actuellement en cours pour créer des marqueurs moléculaires d'avirulence des gènes de résistance.



Livrables, valorisation et transfert

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES

♦ PNDV Tour : Atelier «VIFA et Résistants sous climat Bordelais : des résultats agronomiques et œnologiques» - 21 novembre 2023

♦ Journée technique «Mois de la bio» - Les variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium – organisé par la chambre d'agriculture de la Vienne - 9 novembre 2023

♦ Journées Techniques Vigne et Vin bio - Atelier Cépages Résistants au Domaine du Siorac (Dordogne) - 02 mars 2023

♦ Séminaire «Partage et interopérabilité des données» organisé dans le cadre du projet Vitis Data Crop - 19 et 20 janvier 2023 - Montpellier
Journée technique en vignoble nantais - Atelier variétés résistantes – organisé par la chambre d'agriculture Pays de la Loire - 20 octobre 2022

♦ Journée technique de la formation CIPP Acta – 18 octobre 2022

♦ Rencontre Chercheurs Professionnels « Sortir des pesticides en viticulture » dans le cadre du PPR Cultiver et Protéger Autrement – 8 mars 2022

♦ Journées techniques sur les variétés résistantes organisées par le BIVB – 29 et 30 janvier 2020

♦ Journée technique viticulture : Les cépages résistants en Charentes – 12 septembre 2019

♦ Groupes DEPHY Val de Loire - 13 février 2019

♦ Assemblée Générale du Conseil des Grands Crus classés 1855 – 19 décembre 2018

♦ Groupe 30000 de la chambre d'agriculture d'Indre et Loire – 28 novembre 2018

♦ Journée technique BNIC - 8 novembre 2018

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES

ET TECHNIQUES, AVEC ET SANS ACTES

♦ A.S. Miclot, F. Delmotte, J. Bourg, I. Mazet, F. Fabre, L. Delière. 2022. *Four years of monitoring of disease-resistant grapevine varieties in French vineyards*. BIO Web of Conferences. 9th International Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildews 20-22 July 2022

♦ A.S. Miclot, M. Zaffaroni, J. Bourg, I. De-meaux, C. Couture, L. Delière, F. Delmotte, F. Fabre. 2022. *L'Observatoire national du déploiement des Cépages Résistants (OSCAR) : présentation et premiers résultats sur l'efficacité des variétés résistantes face au mildiou de la vigne* – Poster aux 13ème rencontres de Phytopathologie-Mycologie – Aussois -10 au 14 janvier 2022

♦ A.S. Miclot. 2022. *Le suivi du déploiement des variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium : OSCAR – un outil au service des producteurs et des filières*. Colloque Euroviti – SIVAL – 12 janvier 2022

♦ L. Delière. *Gestion durable des résistances en viticulture. Détecter l'apparition de contournements, l'émergence de nouvelles problématiques sanitaires et adapter les systèmes de cultures*. Carrefour de l'Innovation Agronomique « Gestion du Risque en Agriculture », Paris, 27 juin 2019.

♦ A.S. Miclot. *L'Observatoire national du déploiement des Cépages Résistants*. Journées techniques Vigne et Vin Bio, 21 février 2019

♦ L. Delière. 2018. *Comment accompagner le déploiement des nouvelles variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium. 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, FRA (2018-05-30 - 2018-05-30).

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

♦ Comité Technique Permanent de la Sélection des plantes cultivées (CTPS) - Section vigne - décembre 2023 ➤



PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

◆ 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*. Accepted for publication in *Acta Horticulturae*. XII International Conference on Grapevine Breeding and Genetics.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

◆ A.S. Miclot, S. Audureau, J. Bourg, I. D. Mazet, F. Delmotte, F. Fabre, L. Delière. 2023. *Déploiement des variétés résistantes. Le réseau OSCAR - au service de la filière*. Le vigneron Champenois

◆ A.S. Miclot, S. Guimier, F. Delmotte, F. Fabre, I. Mazet, C. Couture, L. Delière. 2020. *OSCAR, un observatoire national pour accompagner le déploiement des variétés résistantes*. Union girondine des vins de Bordeaux.

◆ F. Delmotte, F. Fabre, A.S. Miclot, M. Painéau, C. Schneider, L. Delière, 2020. *L'immunité de ► plantes*. Chapitre 26 : *Des vignes, des invasions et des résistances*. Editions Quae. Pages 318 à 328

◆ A.S. Miclot, S. Guimier, F. Delmotte, F. Fabre, I. Mazet, C. Couture, L. Delière. 2019. *Gestion durable des résistances en viticulture. Détecter l'apparition de contournements, l'émergence de nouvelles problématiques sanitaires et adapter les systèmes de cultures*. Innovations Agronomiques (sous presse)

AUTRES VALORISATIONS

◆ Formation *Installation du vignoble dans un contexte de changement climatique - Envisager la place des variétés résistantes au vignoble* - Bordeaux Sciences Agro _ 15 novembre 2022



observatoire-cepages-resistants.fr



Webinaire n°2 

GESTION DES ADVENTICES ET MÉTHODES PRÉVENTIVES

Synthèse



Le webinaire # 2 : Gestion des adventices et méthodes préventives

Date : Jeudi 11 avril 2024 - 13h30 | [Voir le replay](#)

Animation Scientifique

Caroline Gibert

Membre du CSO R&I

Responsable de l'activité agroécologie biodiversité au sein de Solagro, Caroline Gibert accompagne la transition agroécologique pour répondre au double enjeu de la préservation de la biodiversité et de l'adaptation au changement climatique auprès des agriculteurs, des acteurs des filières avec la mise en place d'action de formations, de reporting, des collectivités. Elle évalue les impacts des pratiques agricoles sur l'environnement au travers des outils de diagnostics et indicateurs développés par Solagro (HVN, SYNABIO,...). Elle anime aussi des collectifs d'agriculteurs et d'acteurs agricoles auprès de chercheurs pour identifier les freins et les leviers au changement et à l'adoption de pratiques agroécologiques.

Ingénieure agronome de formation spécialisée en protection des plantes, Agnès Langlois a animé pendant près de 20 ans le groupe d'experts sur la Protection Biologique Intégrée d'ASTREDHOR. Directrice territoriale d'ASTREDHOR depuis 2013 pour l'unité territoriale Seine-Manche, elle a développé avec son équipe plusieurs projets de recherche et de développement en lien avec la thématique Ecophyto : Dephy Expé en Pépinière ornementale, animation d'un Groupe 30000, les programmes ALT'CIM, VEDECO, BIOFRUITI. Elle co-pilote depuis 2017 aux côtés de la Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie, le contrat d'objectif Innovation en tant que représentante déléguée d'ACTA en Région.

Agnès Langlois

Membre du CSO R&I



P R O G R A M M E

13h30 Accueil

13h35 Introduction du CSO R&I

13H40 Présentation 3 projets :

AC/DC Weeds « Appliquer et combiner des perturbations et des compétitions parmi des adventices pluriannuelles et rampantes pour leur gestion agro-écologique »
par Marie-Hélène robin (INRAE –Purpan)

CAPABLE « Maîtriser le chardon des champs (*Cirsium arvense*) et les rumex (*Rumex crispus*, *Rumex obtusifolius*) en grande culture biologique. »
par Enguerrand Burrel (ITAB)

CHABABRI « Identification et hiérarchisation des facteurs biotiques de risque «Chancre bactérien» en verger d'abricotiers »
par Cindy Morris (INRAE)

14h35 «L'engagement de l'enseignement agricole dans la gestion des adventices et le développement des méthodes alternatives»
par Philippe Cousinié MASA/DGER/SDDRICI/BDAPI Animateur Réso'therm et membre invité permanent du CSO R&I

L'invité

Philippe Cousinié

Réso'Them

Ingénieur agronome, Philippe Cousinié est expert trans-disciplinaire France et DOM en agronomie, alimentation, agroécologie, sciences humaines et sociales pour l'enseignement agricole. Il est chargé d'accompagner le plan Ecophyto et le plan « Enseigner à produire autrement » (MAA/DGER). Il a également des expériences en recherche (CIRAD), en développement (CIVAM) et en formation agricole (France et international).

Il est possible et même nécessaire d'agir avant que les bioagresseurs colonisent les parcelles et provoquent des dommages importants à la récolte. Ainsi la mise en œuvre de stratégies préventives permet de contrôler efficacement les pressions que les ennemis des cultures pourraient exercer. C'est ce que montrent les résultats des projets de recherche et innovation exposés dans ce webinaire dédié à une gestion préventive et agroécologique des adventices et des maladies.





Les projets de recherche et innovation présentés dans ce webinaire ont produit des connaissances et des références sur des leviers d'action agroécologiques mobilisables pour lutter contre des adventices (projets [AC/DC Weeds](#) et [Capable](#)) et contre une phyto-bactériose (le chancre bactérien en verger d'abricotiers : projet [ChaBabri](#)). Ils ont répondu aux attentes du plan EcoPhyto II+ en proposant de qualifier l'importance des approches préventives de lutte intégrée contre les bioagresseurs. Dans le cadre des adventices, le contexte actuel réglementaire engage les systèmes de production vers la réduction progressive de l'usage des herbicides (glyphosate en particulier) et renforce le besoin de trouver des solutions alternatives à une lutte directe chimique. Dans le cadre du contrôle des maladies, les mesures préventives apparaissent aussi les plus pertinentes. En effet, « *lorsqu'il s'agit de bactéries ou de virus, explique Agnès Langlois, directrice territoriale d'ASTREDHOR et membre du Comité Scientifique d'Orientation Recherche & Innovation (CSO R&I), les solutions de contrôle existantes sont souvent très limitées, ou avec une efficacité variable avec des risques de résistance, ou a contrario très radicales avec des opérations de destruction obligatoire lorsqu'il s'agit d'organismes de quarantaine.* » En outre, pour maîtriser efficacement ces menaces sur les cultures, une bonne connaissance du bioagresseur est cruciale, ainsi que l'association de plusieurs méthodes de lutte. Cette transition agroécologique requiert enfin un accompagnement des producteurs, par le biais d'approches participatives, le développement d'outils d'aide à la décision (OAD), la formation, et une synergie entre acteurs.





Connaitre le ou les bioagresseurs et le(s) détecter

Savoir reconnaître les bioagresseurs des cultures et mieux connaître leur fonctionnement sont essentiels pour une protection intégrée des cultures. Cela commence par une bonne connaissance de leurs cycles de développement. « *Les essais en conditions contrôlées ont permis de déterminer qu'au-delà du stade 3 feuilles, le rumex devient beaucoup plus robuste et difficile à gérer à cause d'une elongation racinaire particulièrement importante, d'une croissance aérienne exponentielle, et d'une forte capacité de régénération.* » explique ainsi Enguerrand Burrel, ingénieur à l'ITAB et porteur du projet Capable. Il existe encore un vaste champ de connaissances à produire concernant la biologie des adventices et leurs diversités génétiques et phénotypiques. « *Il y a encore des mystères à élucider* » affirme Marie-Hélène Robin (chercheuse à l'INRAE et à Purpan et impliquée dans le projet AC/DC Weeds), *par exemple les agriculteurs ont besoin de comprendre certaines situations où des chardons se sont développés à un endroit et pas à un autre alors que les conditions étaient les mêmes, il y a peut-être une part de reproduction sexuée ou une diversité génétique qui pourraient jouer un rôle.* » Une problématique importante des vivaces est leur capacité à se régénérer et à remobiliser des réserves pour développer rapidement de nouvelles plantules. « *Il peut y avoir aussi des éléments intéressants à creuser sur le fonctionnement des organes de stockage des réserves.* » souligne Enguerrand Burrel.

Outre la connaissance approfondie des bioagresseurs, leur détection représente un outil précieux pour lutter contre eux. Dans le cadre du projet AC/DC Weeds sur lequel ont collaboré sept partenaires de cinq pays européens, un outil utilisant l'imagerie par drone a été développé pour détecter les mauvaises herbes et testé dans des champs d'agriculteurs danois.

Dans le cas du contrôle sanitaire des plantes, l'identification des souches pathogènes se fait en laboratoire. Le projet ChaBabri a permis d'identifier les souches à l'origine du chancre bactérien sur abricots et de déterminer leurs traits distincts et leur pouvoir pathogène. Un test moléculaire de détection des

souches de *Pseudomonas syringae* potentiellement pathogènes sur plants d'abricotiers a également été mis au point. Cependant il est ressorti que la présence de bactéries pathogènes n'avait pas d'incidence sur le risque de développement de la bactériose observée au verger. Ainsi, ce n'est parce que les bactéries pathogènes sont sur la plante que la maladie va se développer

: son déclenchement résulte d'un réseau complexe d'interactions entre le pathogène et son environnement biotique sous l'influence des facteurs environnementaux, il s'agit du concept de « *pathobiome* » comme l'explique Agnès Langlois.

” **Les agriculteurs ont besoin de comprendre certaines situations où des chardons se sont développés à un endroit et pas à un autre alors que les conditions étaient les mêmes.**”

Marie-Hélène Robin
INRAE - Purpan





Les méthodes de gestion préventives des bioagresseurs

Les méthodes de prévention s'appuient sur des pratiques agissant à différentes étapes des cycles des cultures et des bioagresseurs et peuvent être regroupées selon 3 types de leviers d'actions sur les bioagresseurs

1

Limiter le potentiel ou le stock initial

En amont, des méthodes peuvent être mobilisées pour réduire ou éliminer toutes les formes de conservation des bioagresseurs (graines, spores, larves, œufs, ...). Cela doit conduire à limiter le développement des populations qui sont sources de contamination des cultures. Cela peut aussi porter sur la propagation et la dissémination des bioagresseurs.

2

Eviter les attaques

Les stratégies d'évitement consistent à éviter la concordance entre la phase de contamination du bioagresseur et la période de sensibilité de la culture. L'action principale porte sur le décalage des cycles de la culture et des bioagresseurs. La décision d'arrêter une culture (annuelle) peut être envisagée.

3

Atténuer la pression

L'atténuation en culture a pour objectif de minimiser les dégâts lorsque la culture et le bioagresseur se trouvent en contact. Ce processus agit via une modification de l'état du peuplement : il s'agit d'augmenter la compétitivité de la culture et d'éviter les conditions favorables au développement et à la propagation du ou des bioagresseurs. L'action principale porte sur la mise en condition favorable de la culture et défavorable des bioagresseurs.

Pour aller plus loin : « [Mettre en œuvre une stratégie de prévention pour gérer les bioagresseurs](http://ecophytopic.fr) » ecophytopic.fr

Mettre en œuvre une stratégie de gestion préventive et sollicitant une combinaison de leviers

« *L'art de la guerre, c'est de soumettre l'ennemi sans combat.* » disait le philosophe chinois Sun Tzu. Cette théorie peut s'appliquer dans le cadre de la protec-

tion intégrée des cultures. Ainsi, en défavorisant l'apparition et/ou le développement des ennemis des cultures via des techniques agroécologiques préventives, on peut éviter ou réduire drastiquement la nécessité de leur « *livrer bataille* », et ne conduire des actions curatives qu'en dernier recours le cas échéant.

Comme l'explique Caroline Gilbert, responsable de l'activité agroécologie biodiversité chez

Solagro, et membre du CSO RI, plusieurs leviers d'actions préventives peuvent être actionnés pour lutter contre les adventices : la prophylaxie, les actions sur le stock semencier, les stratégies cherchant à éviter la levée des adventices en même temps que la culture, et les actions à mener une fois que ces adventices sont en place pour atténuer leur pression. Ces leviers se déclinent en de nombreuses actions mobilisables par les agriculteurs : rota-



tions, décalage des semis, mise en place de couverts, lutte mécanique, lutte biologique (pâturage des couverts par exemple). On retiendra que les actions préventives portent leur fruit quand elles sont conduites dans la durée. Leur effet est souvent cumulatif et leur bénéfice étalé

sur plusieurs saisons. Ces particularités amènent à analyser leur contribution sur un pas de temps différent des actions curatives. Ainsi, une somme de petits bénéfices peut facilement excéder un avantage majeur mais ponctuel. Penser loin doit aider à mieux prendre les actions préventives

en considération.

« Il n'y a pas de stratégie absolue, elle doit s'adapter à chaque circonstance. » disait encore Sun Tzu. Ainsi, il est important de souligner qu'il n'existe pas de solution alternative unique et que l'atteinte des objectifs Eco-

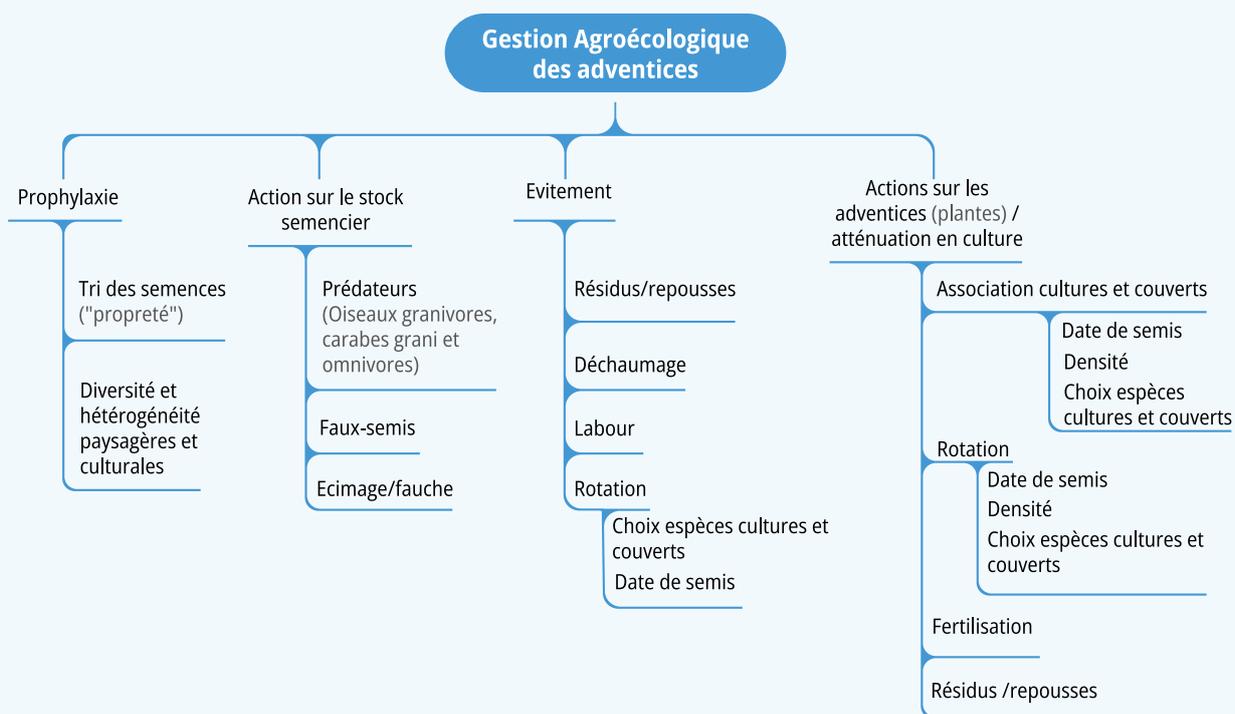


À voir aussi

Appel à projets « *Les approches globales pour limiter l'utilisation des produits phytopharmaceutiques* » lancé en 2019 par l'axe Recherche et Innovation du plan Ecophyto. *Synthèse des échanges du séminaire « Anticiper et accompagner le changement vers des systèmes moins dépendants des pesticides »* 30 juin 2023.

Différents leviers

dans le cadre de la gestion préventive des bioagresseurs (au sens large)





phyto ne peut se faire qu'en combinant les différents leviers. Les projets [AC/DC Weeds](#) et [Capable](#) illustrent bien cette approche systémique mise en œuvre pour montrer que c'est par une diversité d'actions et en fonction des contextes que l'on peut arriver à lutter contre les chardons ou le rumex. Le projet AC/DC Weeds a montré que les plantes vivaces rampantes pouvaient être supprimées avec succès par les perturbations du sol sans inversion (coupe des racines) et la compétition par l'implan-

tation d'une culture de couverture. Dans le projet Capable il a été constaté par les partenaires expérimentateurs qu'il pourrait y avoir un antagonisme entre gestion du chardon et du rumex, d'où l'importance de trouver des solutions ciblant ces deux adventices quand elles sont toutes les deux présentes sur les parcelles. Les pratiques doivent être adaptées localement. « Par exemple, dans le Sud de la France où les étés particulièrement secs, explique Enguerrand Burel, il s'agit de privilégier plutôt

une fenêtre d'intervention au printemps, saison où le chardon se développe plus et où les déchaumages sont plus efficaces. » Dans le projet [ChaBabri](#), on a démontré que les pratiques agronomiques sont déterminantes pour gérer les bactérioses, en particulier la combinaison de la conduite des arbres en gobelets avec le greffage à 120 cm de hauteur, et le choix variétal.



À voir aussi

appel à projets Ecophyto II+ Recherche et innovation « Combiner les leviers opérationnels alternatifs » lancé en 2021



Accompagner le déploiement des solutions sur le terrain

Enfin, pour que la transition agroécologique et que le transfert des connaissances auprès des acteurs de terrain puisse s'opérer, un accompagnement au changement est nécessaire.

Le développement d'OAD peut y contribuer en orientant les choix des producteurs sur leurs pratiques. Ainsi le projet AC/DC Weeds a mis

au point un outil de modélisation pour prévoir l'évolution du développement des adventices selon les conditions (infestation initiale, environnement au printemps, pratiques culturales choisies). Cet outil peut être utilisé comme un OAD ex ante - avant la mise en place de la culture pour optimiser les chances de ne pas en avoir, et concevoir des systèmes moins dépendants en herbicides et labours profonds - ou ex post pour comprendre l'origine des infestations de chardon, ou comme outils de formation et de transfert vers les agriculteurs, experts ou



étudiants. A l'issue du projet Capable, l'OAD ODERA Vivaces, opérationnel dans les Hauts de France, permet aux agriculteurs et aux conseillers d'orienter la construction des systèmes en évaluant le risque de développement du chardon.

L'accélération de la transition ne peut se faire sans la mise en place d'une synergie entre la recherche, les agriculteurs et les futurs professionnels. Dans cette optique, Réso'them-Agronomie-Ecophyto est un collectif composé de 10 animateurs nationaux qui a pour objectif d'accompagner le développement de systèmes de production agroécologiques dans les établissements d'enseignement agricole en s'appuyant sur les actions du Plan Ecophyto et les innovations agronomiques utiles au Plan « Enseigner à Produire Autrement ». Philippe Cousinié invité permanent du CSO R&I et animateur Reso'them montre combien l'enseignement agricole est précurseur dans les avancées concernant la gestion agroécologique des adventices, comme l'illustrent les chiffres particulièrement remarquables, par exemple une baisse de l'IFT total de 38% sur la période 2020-2023 (dont 62% en insecticide et 45% fongicide), et en 2023 : une part de 36% de la surface agricole utilisée (SAU) des lycées agricoles consacrée à l'Agriculture Biologique et la quasi-totalité de cette SAU (96 %) sortie du glyphosate.

Ainsi, le déploiement de stratégies de gestion efficaces et innovantes passe par le développement de dynamiques collectives et la co-conception de solutions testées sur le terrain.



AC / DC WEEDS

Applying and Combining Disturbance and Competition for an agro-ecological management of creeping perennial weeds

> **Projet de recherche et développement**

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

University of Rostock (UR)

PRÉSENTATION

Marie-Hélène Robin

INRAE

mh.robin@purpan.fr

PARTENAIRES

- ◇ Norwegian University of Life Sciences,
- ◇ Norwegian Institute of Bioeconomy Research,
- ◇ Natural Resources Institute Finland,
- ◇ University of Copenhagen,
- ◇ INRAE UMR agronomie

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 1 436 000 €

Montant de la subvention OFB : 101 510€

[Appel Era Net Suscrop 2018](#)

En bref L'objectif du projet AC/DC-weeds était de mettre en œuvre une gestion agroécologique efficace pour les plantes vivaces rampantes dans les cultures arables afin de réduire le labour dans l'agriculture biologique et conventionnelle et de remplacer l'utilisation du glyphosate dans cette dernière. Le projet se concentre sur trois espèces vivaces importantes en Europe centrale et septentrionale (*Sonchus arvensis*, *Cirsium arvense* et *Elymus repens*) et utilise et combine différentes méthodes. De nouvelles approches pour la gestion agro-écologique des mauvaises herbes vivaces ont été exploitées, combinées et évaluées. Des méthodes de lutte culturale et physique ainsi que l'utilisation d'herbicides biologiques ont été testées. La réponse aux besoins des agriculteurs devrait augmenter la probabilité de l'adoption d'une gestion agroécologique des plantes vivaces rampantes. Sept partenaires de cinq pays européens, représentant les conditions de l'Europe centrale et septentrionale, ont collaboré à ce projet.

<https://acdc-weeds.info/>

Plantes vivaces rampantes

Agroécologie

Méta-analyse



L'objectif du projet AC/DC WEEDS est de promouvoir une gestion durable des adventices vivaces dans une approche agroécologique qui intégrant les nouveaux outils et technologies disponibles. Dans le cadre d'une gestion agroécologique des vivaces rampantes, il s'agit de limiter voire supprimer les fortes dépendances à l'égard des méthodes chimiques (glyphosate) et mécaniques (labour profond).

Le remplacement de ces méthodes par une gestion agro-écologique nécessite de mobiliser **toutes les connaissances existantes** en matière de biologie, d'écologie, d'agronomie, de combler les lacunes de la recherche, d'étudier de nouvelles possibilités pour supprimer les plantes vivaces, et de **favoriser le transfert de connaissances** dans la pratique agricole.

En se concentrant sur trois espèces pérennes importantes en Europe centrale et septentrionale (*Sonchus arvensis*, *Cirsium arvense* et *Elymus repens*), l'objectif d'AC/DC-weeds est d'**étudier ces espèces par le biais d'analyses bibliographiques, d'expertises et d'expérimentation.** ➤



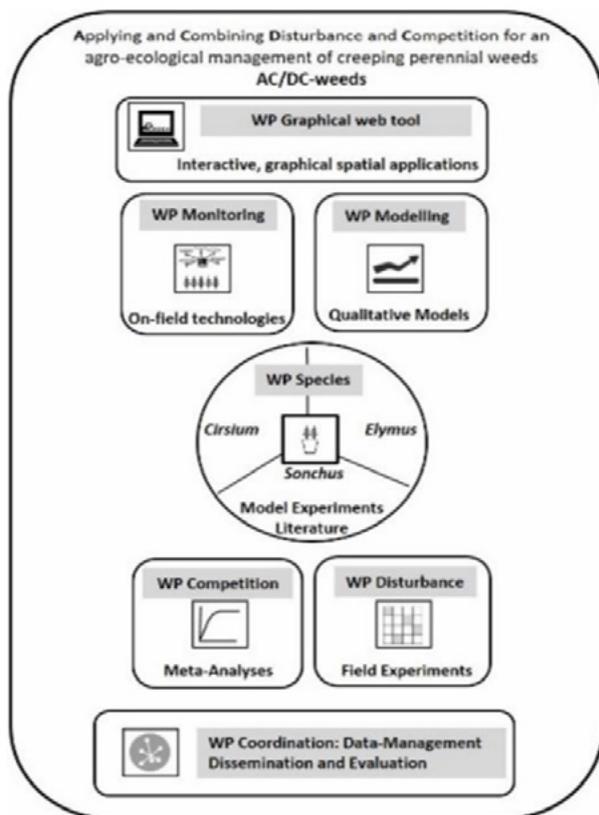
—*Cirsium_arvense_with_Bees* @Richard_Bart



—*Sonchus_arvensis_* @wikimedia commons



—*Elymus_repens* @Kweek_bloeiwijze



Le projet est organisé en 7 actions

Lors de ce projet, de nouvelles méthodes de perturbation du sol ont été examinées dans le cadre d'expérimentation. Des stratégies de défoliation à l'aide d'herbicides biologiques ou d'écimage de la biomasse au-dessus du sol ont été testées.

Les résultats de différentes expérimentations indiquent que la perturbation sans inversion peut presque remplacer l'effet du labour entre deux cultures. La combinaison de la coupe des racines et de la compétition par l'implantation d'une culture de couverture augmente l'effet du contrôle. Des expériences en pot et en semi-champ menées en collaboration sur trois sites indiquent que le chiendent (*E. repens* C. *Arvense*) peut être gérés par des stratégies de lutte mécanique, tandis que le laiteron (*S. arvensis*) doit être géré par une combinaison de différentes méthodes non chimiques. Des recherches supplémentaires sont nécessaires, en particulier pour le laiteron

qui n'est que peu étudié.

La banque d'articles a également alimenté une méta-analyse sur les couverts végétaux appropriés qui exercent une concurrence sur les plantes vivaces rampantes. **Les couverts sont capables de réduire la densité et la biomasse pour certaines espèces de mauvaises herbes vivaces, avec une grande variabilité.**

L'équipe du projet AC/DC WEEDS a également **cartographié les plantes vivaces dans l'espace** à l'aide de caméras installées sur des drones. Des algorithmes pour surveiller les plantes vivaces ont été développés et testés dans des expériences et dans des champs d'agriculteurs.

Une approche de modélisation qualitative, adaptée aux plantes vivaces rampantes, a permis d'analyser l'impact des pratiques culturales, du sol, du climat et de l'environnement sur les infestations en plantes vivaces.

Des vidéos spécifiques aux espèces détaillent l'importance de la biologie pour les agriculteurs, accompagnées de recommandations sur les effets de la perturbation et de l'infestation. Les vidéos en anglais sont sous-titrées en cinq langues (allemand, danois, finnois, norvégien, français).

Un site web a été créé pour informer tous les utilisateurs sur les plantes vivaces rampantes et sur les efforts déployés pour mieux les gérer. Il assure la diffusion des résultats au niveau international.

Les plantes vivaces rampantes peuvent donc être supprimées avec succès par les perturbations et la concurrence. Grâce à une meilleure compréhension de ces plantes, nous avons contribué à de nouvelles connaissances dans la gestion agroécologique des adventices vivaces rampantes. ➤



Le contrôle biologique

représente une technologie alternative pour la gestion des mauvaises herbes. Les bioherbicides tels que l'acide pélargonique peuvent contribuer à la gestion agro-écologique en mettant fin (1) aux pousses des mauvaises herbes vivaces sans travail du sol par inversion. Les applications aux stades de croissance de la fin de l'élongation et de sept à dix feuilles de *C. arvensis* ont montré une grande efficacité sur la biomasse des pousses pour un volume d'application de 400l ha⁻¹ d'eau. (2) Les cultures auxiliaires au printemps/automne peuvent être contrôlées par l'acide pélargonique sans utiliser de glyphosate. Nos résultats indiquent une efficacité raisonnable et élevée de l'acide pélargonique pour contrôler la culture secondaire sept jours après l'application. En cas de conditions météorologiques volatiles ou des goulets d'étranglement dans le travail, une destruction rapide mais à court terme des cultures secondaires pourrait être utile dans les cultures arables.

Des prototypes de coupe-racines horizontaux

(fournis par le partenaire engagé Kverneland) ont été testés sur trois sites en Europe du Nord. Outre les résultats expérimentaux concernant l'efficacité du contrôle, nous avons acquis et échangé des expériences sur la manière et le moment d'utiliser le coupe-racine. Cela concerne le type de sol, l'humidité du sol et la fréquence de coupe.

L'outil Chardon,

a été intégré dans deux plates-formes informatiques conviviales et testé dans de vastes champs commerciaux au Danemark. Les agriculteurs danois sont en général satisfaits de la capacité de détection des mauvaises herbes. L'algorithme de base sépare les plantes vertes des céréales jaunâtres sénescentes. Un facteur important pour l'optimisation de la détection des mauvaises herbes est la formation des utilisateurs finaux. En particulier, les connaissances de base sur les réglages de l'appareil photo et les facteurs qui peuvent réduire la qualité de l'image sont importantes.

Projets collaboratifs envisagés

"Spot cutting - a spatially precise technique to manage creeping perennials" – development and evaluation from an environmental and farm economic perspective lead by P1, prototype machine from committed partner, National Project Germany submitted proposal for a PhD grant

"Subsidiary crops, root cutting and alternative herbicides for weed management in cereals (FRAKK)" (2021-2023, lead by P3, P2 participates) -national project Norway -

"SUSWECO : Sustainable weed control in cereals by combining subsidiary crops and minimal soil disturbances" (2023-2026, lead by P2, P3 participates) - mainly national project Norway



Livrables, valorisation et transfert

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- ◆ 1. Journal article; Andert, S., Weigel, M., Ganji, E., and Gerowitt, B., Visualizing growth of *Cirsium arvense* (L.) scop. for farmers. *Julius-Kühn-Archiv*, 2022. 468: 105-109.
- ◆ 2. Journal article; Ganji, E., Andert, S., and Gerowitt, B., The herbicidal potential of pelargononic Acid to control *Cirsium arvense* (L.) scop. in relation to the timing of application and the application volume. *Julius-Kühn-Archiv*, 2022. 468: 86-93.
- ◆ 3. Journal article; Gerowitt, B., Andert, S., Brandsæter, L.O., Rasmussen, J., Robin, M-H., Salonen, J., Tørresen, K.S., and Zhang, H., The challenges of arable creeping perennial weeds in research, management and perception addressed in the joint project AC/DC weeds. *JuliusKühn-Archiv*, 2022. 468: 68-72.
- ◆ 4. Journal article; Hamacher, M., Andert, S., Zhang, H., and Gerowitt, B., Praxiserfahrungen zu Wurzelunkräutern im Ackerbau. *Julius-Kühn-Archiv*, 2022. 468: 73-78. 5.
- ◆ Journal article; Weigel, M., and Gerowitt, B., Mechanical disturbance of *Cirsium arvense* - Results from a multi-year field study. *Julius-Kühn-Archiv*, 2022. 468: 79-85.
- ◆ 6. Journal article; Zhang, H., Andert, S., Brandsæter, L.O., Rasmussen, J., Robin, M-H., Salonen, J., Tørresen, K.S., Valantin-Morison, M., and Gerowitt, B., Future management of arable perennials - an introduction to the project AC/DC-weeds. *Julius-Kühn-Archiv*, 2020. 464: 280-285.
- ◆ 7. Journal article; Andert, S., Rohde, S., and Tackenberg, M., Betrieblicher Herbizid-Einsatz zur Kontrolle von *Cirsium arvense* in Winterweizen. *Julius-Kühn-Archiv*, 2022. 468: 345-352.
- ◆ 8. Journal article; Andert, S., Ziesemer, A., and Zhang, H., Farmers' perspectives of future management of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A case study from north-eastern Germany. *European Journal of Agronomy*, 2021. 30: 126350.
- ◆ 9. Journal article; Andert, S., Hamacher, M., and Gerowitt, B., Hier hilft nur eine Wurzelbehandlung. *Bauernzeitung*, 2020. 51: 22-24.
- ◆ 10. Journal article; Andert, S., and Gerowitt, B., Wurzelunkräuter im Ackerbau kontrollieren – Strategien gegen Quecken und Disteln. *Lumbrico*, 2020. 7: 39-42.
- ◆ 11. Journal article; Ganji, E., and Andert, S., The herbicidal potential of pelargononic acid to control *Cirsium arvense* in arable farming. *Book of Abstracts 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science"*, 2022. Athens (Greece), p. 154.
- ◆ 12. Journal article; Ganji, E., and Andert, S., The potential of natural substances as bio-based herbicides to control arable weeds. *Book of Abstracts 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science"*, 2022. Athens (Greece), p. 205.
- ◆ 13. Journal article; Weigel, M., Brandsaeter, L.O., Berge, T.W., Salonen, J. Lötjönen, T., and Gerowitt, B., Two years multi-site field experiments to control perennial weed species without herbicides. *Book of Abstracts 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science"*, 2022. Athens (Greece), p. 123.
- ◆ 14. Journal article; Weigel, M., Andert, S., and Gerowitt, B., Monitoring patch size changes of the creeping perennial *Cirsium arvense* to evaluate the efficiency of control treatments. *Book of Abstracts 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science"*, 2022. Athens (Greece), p. 82.
- ◆ 15. Journal article; Ganji, E., Salonen, J., Gerowitt, B., and Tørresen, K.S., Sprouting potential of *Sonchus arvensis* under defoliation treatments in Northern Europe. *Book of Abstracts* ►



19th EWRS Symposium 2022 “Lighting the Future of Weed Science”, 2022. Athens (Greece), p. 225.

◆ 16. Journal article; Andert, S., in preparation. Working title: Controlling arable weeds with natural substances as bio-based herbicides in the intercropping period.

◆ 17. Journal article; Andert, S., in preparation. Working title: Effects of different adjuvant products on the efficacy of pelargonic acid to control arable weeds.

◆ 18. Journal article; Ganji, E., Grenzdörffer, G., and Andert, S., in preparation. Working title: Référence du formulaire : ANR-FORM-090601-01-01 18/23 Cover crop termination by pelargonic acid as bio-based herbicide using visual and UAV assessment methods.

◆ 19. Journal article; Ganji, E., Andert, S., and Gerowitt, B., in preparation. Working title: Efficacy of pelargonic acid on *Cirsium arvense* and *Sonchus arvensis* as influenced by different initial creeping root sizes.

◆ 20. Journal article; Ganji, E.; Andert, S.; and Gerowitt, B., in preparation. Working title: Effect of growth stage, adjuvant and carrier volume on the efficacy of pelargonic acid used to control perennial weeds

◆ 21. Journal article; Ganji, E., Defant, F., Tørresen, K., Salonen, J., Gerowitt, B., in preparation. Working title: Shoot cutting of *Sonchus arvensis* effects the plant productivity in the following year depending on season and site – two years experiment on three sites in Northern Europe.

◆ 22. Journal article; Weigel, M., Gerowitt, B., Andert, S., Alt, M., Weiß, K., and Müller, J., in preparation. Working title: Carbohydrate dynamics in roots of *Cirsium arvense* (L.) Scop. and *Sonchus arvensis* L. - a contribution to the compensation point debate.

◆ 23. Journal article; Weigel, M., Andert, S., and Gerowitt, B., in preparation. Working title: Monitoring patch size changes of the creeping perennial *Cirsium arvense* to evaluate the effi-

ciency of control treatments.

◆ 24. Journal article; Weigel, M., Brandsæter, L.O., Berge, T.W., Salonen, J. Lötjönen, T., and Gerowitt, B., in preparation. Working title: Controlling perennial weeds non-chemically: two years multi-site field experiments in Northern Europe.

◆ 25. Journal article; Hamacher, M., Guguin, J., Andert, S., Valantin-Morison, M., and Gerowitt, B., in preparation. Working title: How farmers perceive perennial weeds in Northern France and Eastern Germany.

◆ 26. Journal article; Hamacher, M., Weigel, M., Andert, S., and Gerowitt, B., in preparation. Working title: Do farmers save diesel by replacing ploughing with root cutting to control perennial weeds?

◆ 27. Journal article; Bergo, K., Tørresen, K.S., and Brandsæter, L.O., *Leter etter alternativer. Norsk Landbruk*, 2021. 6.

◆ 28. Journal article; Brandsæter, L.O., Salonen, J. Lötjönen, T., Skagestad, Ø., Torp, T., and Tørresen, K.S., in preparation. Working title: Experiments with subsidiary crops and mechanical weeding in Norway and Finland.

◆ 29. Journal article; Brandsæter, L.O., Mangerud, K., Skagestad, Ø., Lundkvist, A., Verwijst, T., and Børresen, T., in preparation. Working title: Kverneland root cutter: Effects on creeping perennial weeds, crop yield, soil erosion and nutrition leaching.

◆ 30. Journal article; Skagestad, Ø., Tørresen, K.S., and Brandsæter, L.O., Effect of early and late mechanical treatments in autumn on bud growth and long-term control of *Sonchus arvensis* in spring cereals. Book of Abstracts 19th EWRS Symposium 2022 “Lighting the Future of Weed Science”, 2022. Athens (Greece), p. 32.

◆ 31. Journal article; Skagestad, Ø., Tørresen, K.S., and Brandsæter, L.O., in preparation. Working title: Effect of timing of mechanical treatments in autumn on bud growth and control of *Sonchus arvensis* in spring cereals.

◆ 32. Journal article; Tørresen, K.S., Ringselle, ▶



B., Brandsæter, L.O., and Salonen, J., in preparation. Working title: Management of *Elymus repens* by combining autumn mowing, pelargononic acid and crop competition.

◆ 33. Journal article; Tørresen, K.S., Fykse, H., Rafoss, T., and Gerowitt, B., Autumn growth of three perennial weeds at high latitude benefits from climate change. *Global Change Biology*, 2019. 26 (4): 2561-2572.

◆ 34. Journal article; Tørresen, K.S., Ringselle, B., Brandsæter, L.O., and Salonen, J., Autumn mowing and pelargononic acid can suppress *Elymus repens* abundance especially when combined with increased crop competition. *Julius-Kühn-Archiv*, 2022. 468: 100-104.

◆ 35. Journal article; Tørresen, K.S., Salonen, J., Brandsæter, L.O., Ringselle, B., Weigel, M., Ganji, Référence du formulaire : ANR-FORM-090601-01-01 19/23 E., and Gerowitt, B., Managing *Cirsium arvense*, *Sonchus arvensis* and *Elymus repens* in northern European arable farming – where are significant knowledge gaps? Book of Abstracts 19th EWRS Symposium 2022 “Lighting the Future of Weed Science”, 2022. Athens (Greece), p. 213.

◆ 36. Journal article; Tørresen, K.S., and Gerowitt, B., in review: Late autumn ramet sprouting of three arable creeping perennial weed species, *Agronomy*.

◆ 37. Journal article; Tørresen, K.S., and Gerowitt, B., in preparation. Working title: Frost affects ramet sprouting of arable perennials.

◆ 38. Journal article; Rasmussen, J., Azim, S., and Nielsen, J., Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* L. based on free satellite imagery – The importance of weed aggregation and image resolution. *European Journal of Agronomy*, 2021. 130: 126373.

◆ 39. Journal article; Lati, R.N., Rasmussen, J., Andujar, D., Dorado, J., Berge, T.W., Wellhausen, C., Pflanz, M., Nordmeyer, H., Schirrmann, M., Eizenberg, H., Neve, P., Jørgensen, R.N., and Christensen, S., Site-specific weed management—constraints and opportunities for the

weed research community: Insights from a workshop. *Weed Research*, 2021. 61: 147- 153.

◆ 40. Journal article; Rasmussen, J., Azim, S., Nielsen, J., and Andreasen, C., in preparation. Working title: Detecting weeds in pre-harvest cereals based on UAV images - the importance of image quality.

◆ 41. Journal article; Salonen, J. and Lötjönen, T., Agrologista otetta kestorikkakasvien torjuntaan. Kasvinsuojeluseuran “Kasvinsuojelupäivä 2020”, 2020. 36.

◆ 42. Journal article; Salonen, J., Brandsæter, L.O., Gerowitt, B., Rasmussen, J., Robin, M-H., Tørresen, K. and Valantin-Morison, M., Agro-ecological management of creeping perennial weeds (AC/DC-weeds). *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote*, 2020. 37: 313.

◆ 43. Journal article; Salonen, J., and Lötjönen, T., Uutta tietoa ja tekniikkaa kestorikkakasvien mekaaniseen torjuntaan. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote*, 2022. 39: 45.

◆ 44. Journal article; Lötjönen, T., Virkkula, V. & Valtonen, O., Luomukoetoiminnalla parempia satoja ja päästösäästöjä. Research brings better yields and decreases emissions in organic farming. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote*, 2022. 39: 148

◆ 45. Journal article; Lötjönen, T., Rikkakasvien hallinta uudistavassa viljelytavassa. *Luomulehti*, 2020. 5: 16-17. 46. Journal article; Heikkilä, M., Kestorikkakasvit kuriin ilman kemialla. *Maa-tilan Pellervo*, 2021. 12: 44-45.

◆ 47. Journal article; Robin, M-H., Lacroix, O., Aubertot, J.-N., Bohanec, M., and Cordeau, S., IPSIM-Cirsium, a qualitative expert-based model to predict infestations of *Cirsium arvense*. *Julius-Kühn-Archiv*, 2022. 468: 94–99.

◆ 48. Journal article; Robin, M-H., Lacroix, O., Aubertot, J.N., and Doizy, A., Un OAD pour gérer le chardon des champs. *Phytoma*, 2022. 751.

◆ 49. Journal article; Guguin, J., and Valantin-Morison, M., Les couverts végétaux, un levier dans la gestion des vivaces (chardon, laiteron, chiendent, rumex) en grandes cultures? ➤



Enquêtes auprès d'agriculteurs et d'autres experts. *Revue AE&S 12-1, Adventices et couverts végétaux*, 2022. Numéro ISSN 1775-4240.

◆ 50. Journal article; Valantin-Morison, M., Gu-guin, J., Merle, I., and Makowski, D., in preparation. Working title: How competition process induced by subsidiary crops could manage major creeping perennial weeds ?

◆ 51. Book section; Gerowitt, B., and Baraibar, B., *Advances in managing arable weed propagules*. In: Kudsk, P. (Ed.), 2022. 47-84.

◆ 52. Book section; Tørresen, K.S., *Jordbruket trenger alternativer til glyfosat*, Baumann, C. (ed.). *Grønn kunnskap – 39 smakebiter fra NIBIOs virksomhet i 2020*, NIBIO Bok 7(2) 2021, page 8. ISBN: 978-82-17-02750-8. Référence du formulaire : ANR-FORM-090601-01-01 20/23

◆ 53. Book section; Tørresen, K.S., *Agriculture needs alternatives to glyphosate*, Baumann, C. 2021 (ed.). *Green knowledge – 39 examples from NIBIO's activities in 2020*. NIBIO Book 7(2) 2021, page 8. ISBN: 978-82-17-02842-0.

◆ 54. Book section; Christensen, S., Dyrmann, M., Laursen, M.S., Jorgensen, R.N., and Rasmussen, J., *Sensing for weed detection, Sensing approaches for precision agriculture*, 2021. Cham: Springer International Publishing, 275–300.

◆ 55. Masterthesis; Hass, F., *Eindringwiderstand und Gefügemerkmale des Bodens unter dem Einfluss des Root-Cutters - ein neues Gerät zur mechanischen Bekämpfung von Wurzelunkräutern*, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, 2020.

◆ 56. Masterthesis; Hamacher, M., *Farmers perceptions of perennial arable weeds - results of a survey in Eastern Germany*, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, 2022.

◆ 57. Masterthesis; Skagestad, Ø., *Effect of early and late mechanical treatments in autumn on bud growth and control of *Sonchus arvensis* in spring cereals*. Norwegian University of Life Sciences, Faculty of Biosciences.

◆ 58. Masterthesis; Lacroix, O., *Qualitative modelling of perennial weed management *Elytrigia repens*, *Cirsium arvense* and *Sonchus arvensis**. Agrocampus Ouest, Rennes, France, 2020.

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES

◆ 59. Presentation, oral; Weigel, M., Brandsaeter, L.O., Berge, T.W., Salonen, J., Lötjönen, T., and Gerowitt, B., *Two years multi-site field experiments to control perennial weed species without herbicides*, 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science", Athens, Greece, 2022.

◆ 60. Presentation, oral; Weigel, M., Andert, S., and Gerowitt, B., *Monitoring patch size changes of the creeping perennial *Cirsium arvense* to evaluate the efficiency of control treatments*, 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science", Athens, Greece, 2022.

◆ 61. Presentation, oral; Ganji, E., and Andert, S., *The herbicidal potential of pelargonic acid to control *Cirsium arvense* in arable farming*, 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science", Athens, Greece, 2022.

◆ 62. Presentation, oral; Ganji, E., and Andert, S., *The potential of natural substances as bio based herbicides to control arable weed*, 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science", Athens, Greece, 2022.

◆ 63. Presentation, oral; Andert, S., Weigel, M., Ganji, E., and Gerowitt, B., *Visualizing growth of *Cirsium arvense* (L.) scop. for farmers*, 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 64. Presentation, oral; Ganji, E., Andert, S., and Gerowitt, B., *The herbicidal potential of pelargonic Acid to control *Cirsium arvense* (L.) scop. in relation to the timing of application and the application volume*, 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 65. Presentation, oral; Gerowitt, B., Andert, S., Brandsaeter, L.O., Rasmussen, J., Robin, M-H., Salonen, J., Tørresen, K.S., and Zhang ▶



H. The challenges of arable creeping perennial weeds in research, management and perception addressed in the joint project AC/DC weeds, 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 66. Presentation, oral; Hamacher, M., Andert, S., Zhang, H., and Gerowitt, B., Praxiserfahrungen zu Wurzelunkräutern im Ackerbau, 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 67. Presentation, oral; Weigel, M., and Gerowitt, B., Mechanical disturbance of *Cirsium arvense* - Results from a multi-year field study, 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 68. Presentation, oral; Zhang, H., Andert, S., Brandsæter, L.O., Rasmussen, J., Robin, M-H., Référence du formulaire : ANR-FORM-090601-01-01 21/23 Salonen, J., Tørresen, K.S., Valantin-Morison, M., and Gerowitt, B., Future management of arable perennials - an introduction to the project AC/DC-weeds, 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 69. Presentation, oral; Andert, S., Rohde, S., and Tackenberg, M., Betrieblicher Herbizid Einsatz zur Kontrolle von *Cirsium arvense* in Winterweizen, 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 70. Presentation, oral; Gerowitt, B., Weeds in a Changing Climate, Workshop of the Aspen Global Change, Institute (AGCI) on Food System Impacts of Pests & Pathogens in a Changing Climate, Aspen, CO, US, 2019.

◆ 71. Presentation, oral; Gerowitt, B., Pflanzenschutz mit weniger oder anderer Chemie? DAF Tagung, Ökologisierung der Landwirtschaft, online, 2020.

◆ 72. Presentation, oral; Ganji, E., Salonen, J., Gerowitt, B., and Tørresen, K.S, Sprouting potential of *Sonchus arvensis* under defoliation treatments in Northern Europe. 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science", Athens, Greece, 2022.

◆ 73. Presentation, oral; Skagestad, Ø., Tørresen, K.S., and Brandsæter, L.O., Effect of early and late mechanical treatments in autumn on bud growth and long-term control of *Sonchus arvensis* in spring cereals. 19th EWRS Symposium 2022 "Lighting the Future of Weed Science", Athens, Greece, 2022.

◆ 74. Presentation, oral; Robin, M-H., Lacroix, O., Aubertot, J.-N., Bohanec, M., and Cordeau, S., (2022). IPSIM-Cirsium, a qualitative expert-based model to predict infestations of *Cirsium arvense*, 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 75. Presentation, oral; Rasmussen, J., Implementing spot spraying against *Cirsium arvense* based on UAV imagery in commercial farming – a case study. European Weed Research Society Working Group Meeting on Site Specific Weed Management, 30.October 1.November, University of Southern Denmark Odense, Denmark, 2019.

◆ 76. Presentation, oral; Salonen, J., Uutta tietoa ja tekniikkaa kestorikkakasvien mekaaniseen torjuntaan. Maataloustieteen Päivät, Helsinki, 2022.

◆ 77. Presentation, oral; Lötjönen, T., Virkkula, V. & Valtonen, O., Luomukoetoiminnalla parempia satoja ja päästösäästöjä. Maataloustieteen Päivät, Helsinki, 2022.

◆ 78. Presentation, oral; Agrologista otetta kestorikkakasvien hallintaan. Luomupäivät, online, 2020.

POSTERS

◆ 79. Poster presentation; Tørresen, K.S., Ringselle, B., Brandsæter, L.O., and Salonen, J., Autumn mowing and pelargonic acid can suppress *Elymus repens* abundance especially when combined with increased crop competition. 30th German Conference on Weed Biology and Weed Control, online, 2022.

◆ 80. Poster presentation; Tørresen, K.S., Salonen, J., Brandsæter, L.O., Ringselle, B., Weigel, M., Ganji, E., and Gerowitt, B., Managing



Cirsium arvense, Sonchus arvensis and Elymus repens in northern European arable farming > – where are significant knowledge gaps?, 19th EWRS Symposium 2022 “Lighting the Future of Weed Science”, Athens, Greece, 2022.

◆ 81. Poster presentation; Robin, M-H., IP-SIM-Cirsium, a qualitative expert-based model to predict infestations of Cirsium arvense, 19th EWRS Symposium 2022 “Lighting the Future of Weed Science”, Athens, Greece, 2022.

◆ 82. Poster presentation; Salonen, J., Brandsæter, L.O., Gerowitt, B., Rasmussen, J., Robin, M H., Tørresen, K. and Valantin-Morison, M., Agro-ecological management of creeping perennial weeds (AC/DC-weeds). Maataloustieteen Päivät, Helsinki, 2020.

◆ 83. Poster presentation; Salonen, J. and Lötjönen, T., Agrologista otetta kestopikasvien torjuntaan. “Kasvinsuojelupäivä 2020”, Hämeenlinna, 2020.

◆ 84. Poster presentation; Guguin, J., and Valantin-Morison, M., Impact of subsidiary crops through competition on major creeping perennial weeds: a meta-analysis, 19th EWRS Symposium 2022 “Lighting the Future of Weed

Science”, Athens, Greece, 2022

AUTRES VALORISATIONS

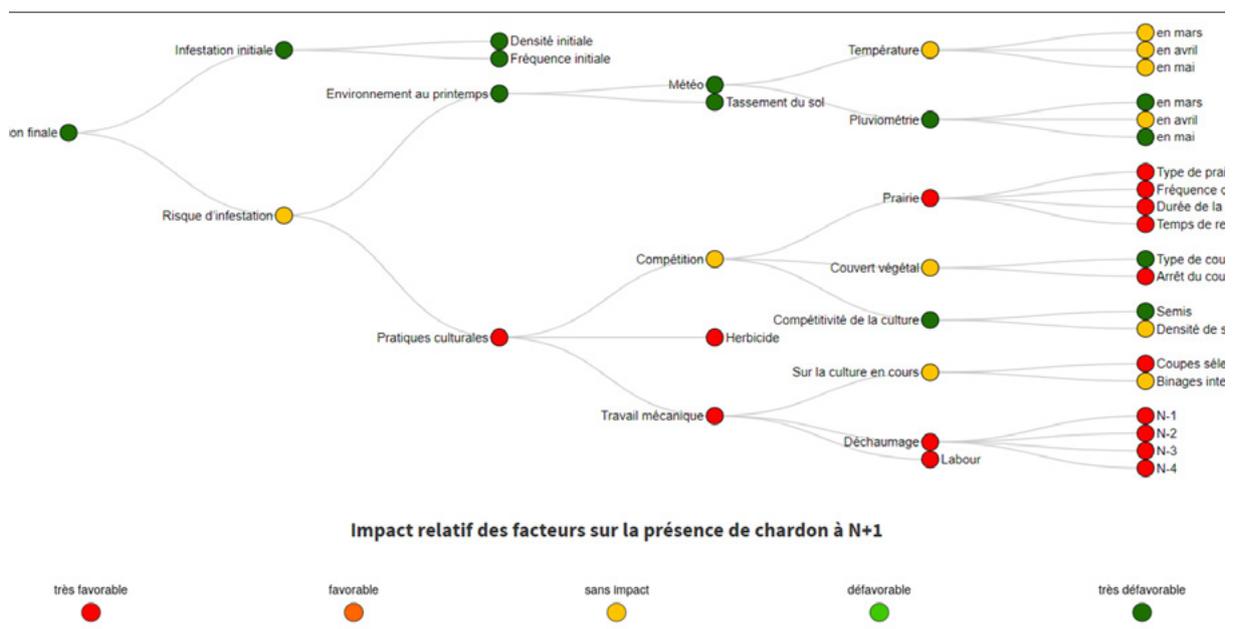
2 videos

◆ Animation de la croissance des racines Cirsium Arvense >>>[Voir](#)

◆ animation du cycle de vie Sonchus Arvensis >>>[Voir](#)

1 logiciel : [IPSIM- CIRSIUM](#)

◆ La plateforme de modélisation IPSIM-Cirsium peut être utilisée par les agriculteurs comme diagnostic pour simuler les dégâts de C. arvense et comme outil d’aide à la décision pour leurs pratiques agricoles. Le modèle peut être utilisé comme ressource de formation en protection agroécologique des cultures. Enfin, les chercheurs peuvent l’utiliser comme un outil de prédiction et une ressource pour l’échange d’informations. IPSIM-Cirsium est le premier modèle qualitatif développé pour une adventice vivace. |



Exemple d'une simulation d'une situation via l'outil IPSIM Cirsium avec mise en évidence des facteurs influençant l'infestation



CAPABLE

Maîtriser le chardon des champs (*Cirsium arvense*) et les rumex (*Rumex crispus*, *Rumex obtusifolius*) en grande culture biologique

> Projet de recherche et développement

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Enguerrand Burel

ITAB

enguerrand.burel@itab.asso.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 415 899,49 €

Montant de la subvention OFB : 112 306 €

[Appel CASDAR Innovation et partenariat \(2017\)](#)

PARTENAIRES

- ◇ AGROTRANSFERT,
- ◇ ARVALIS,
- ◇ BIOBOURGOGNE,
- ◇ Chambre d'agriculture des Pays de la Loire,
- ◇ Chambre d'agriculture du Tarn,
- ◇ Chambre d'agriculture du Tarn et Garonne,
- ◇ CREABio,
- ◇ EPLEFPA Chartres La Saussaye,
- ◇ TERRES INOVIA, LPA Haut Anjou,
- ◇ INRAE UMR 1048 SADAPT,
- ◇ Bios en Normandie,
- ◇ ITAB

En bref Le projet CAPABLE avait pour objectif d'identifier les leviers de gestion du chardon vivace et des rumex (parelle crépue et à feuilles obtuses). Pour répondre à cet objectif, divers travaux ont été menés, alliant la recherche de solutions auprès des praticiens, des essais sur chardon et rumex et le calage d'un outil d'aide à la décision sur la gestion du chardon. Grace aux résultats obtenus, plusieurs leviers de gestion ont été identifiés notamment des solutions innovantes qu'il sera nécessaire d'évaluer dans des travaux ultérieurs. Le projet a été aussi l'occasion de relever les difficultés méthodologiques inhérentes aux travaux dédiés aux vivaces.

Cirsium arvense

Rumex obtusifolius

Expérimentation système

Outil d'aide à la décision

Agriculture biologique

Rumex crispus



décision. **Les travaux réalisés se sont déroulés dans des conditions de l'agriculture biologique, ainsi les connaissances produites sont transférables à tout système visant une réduction ou une impasse sur l'utilisation d'herbicide.**

Le projet s'est déroulé en trois axes de travail complémentaires (*Figure 1*). Le premier axe tendait à **caractériser la perception des agriculteurs** vis à vis du risque lié à la présence du chardon et du rumex, mais aussi d'**identifier et caractériser les stratégies de gestion** considérées comme efficaces ou contre-productives par les praticiens. Dans l'axe 2, des pistes de recherche ont été identifiées grâce à ce travail, et ont pu alimenter les tests en conditions contrôlées qui visait à **mieux comprendre la biologie du rumex** en lien avec les pratiques agricoles susceptibles d'avoir une action positive ou négative sur sa présence dans les parcelles.

En complément de ces travaux, des **essais en plein champ** ont été mis en place pour tester des stratégies combinant plusieurs leviers d'action. Pour interpréter plus largement les résultats de ces essais, une analyse multicritère a été menée avec Systerre, ce qui a permis de compléter les résultats au regard de critères socio-économiques et environnementaux.

Différents **ateliers de co-conception** ont permis de synthétiser les résultats du projet et de les retranscrire dans une logique opérationnelle. Ces ateliers, mené sur les thématiques de la gestion du chardon ou du rumex ont abouti à des **prototypes de stratégies de gestion de ces vivaces** (*Figure 1 : action 1.3*)

En complément de ces travaux, **un outil d'aide à la décision Odera Vivaces**, développé par Agrotransfert,-Ressources-et-Territoires a été paramétré sur le chardon dans plusieurs régions françaises (*axe 3*). Néanmoins, faute d'un jeu de données suffisant, l'outil n'est validé que pour la région des hauts de France.

Le projet a permis plusieurs avancées sur la

gestion du rumex et du chardon.

En premier lieu, le projet a permis de formaliser les connaissances scientifiques et issus des savoirs empiriques des producteurs autour de la gestion du rumex et du chardon. Avoir travaillé sur deux adventices à la fois aura permis de bénéficier des réflexions de tous les partenaires du projet et d'avoir aussi mis en évidence par comparaison des **différences notables entre les deux vivaces, notamment en termes d'enjeux** : le chardon a tendance à être considéré de moins en moins prépondérant par les agriculteurs au fil du temps, au contraire du rumex. Par ailleurs, **il a été constaté par les partenaires expérimentateurs qu'il pourrait y avoir un antagonisme entre gestion du chardon et du rumex** : en effet il a parfois été observé que sur les essais chardon le rumex ait augmenté et inversement. Ce constat reste néanmoins à valider.

Les connaissances sur la biologie du rumex ont été améliorées grâce aux tests en conditions contrôlées qui ont permis de valider et d'objectiver les connaissances issues de la bibliographie et les constats agriculteurs. Sur ce dernier point, la mise en parallèle des différentes enquêtes qui ont été menées (traque à l'innovation) montre qu'il y a un besoin de creuser certaines **pistes de recherche sur des leviers de gestion innovant tel que le binage des céréales**. Sur les connaissances actuelles des leviers de gestion mobilisables, la plus-value du projet aura aussi été de **mettre en évidence des a priori des producteurs qui ne sont pas nécessairement véridiques, pouvant conduire à de mauvaises décisions pour leurs itinéraires techniques**.

Les résultats sur les essais systèmes tendent à montrer l'absence de stratégie ayant un effet radical sur les populations de vivaces. Néanmoins, l'évolution régressive du chardon dans les essais qui ont été menés est rassurante, montrant que **les stratégies co-construites dans le projet sont souvent efficaces.** ➤



C'est moins le cas pour le rumex, ce qui pourrait expliquer la différence de perception en termes d'enjeux de gestion par les producteurs lors des enquêtes menées en début de projet.➤

Du côté du transfert

Le projet a permis de **mettre en évidence des stratégies mobilisables pour la gestion du chardon et du rumex sans produit phytosanitaires**. Ces stratégies peuvent servir de base de réflexion pour la construction de stratégies régionalisées. Plus spécifiquement, dans les Hauts de France, **l'outil ODERA Vivaces est opérationnel** et permet aux agriculteurs et aux conseillers d'orienter la construction des systèmes en évaluant le risque de développement du chardon.

Des stratégies innovantes de gestion des vivaces ont aussi été identifiées lors de la traque aux innovations et lors des ateliers de co-conception ; il sera néanmoins nécessaire d'évaluer ces stratégies pour établir leur applicabilité à d'autres contextes de production.

Enfin, les essais en conditions contrôlées ont permis de **mieux cerner la biologie du rumex**, ce qui permettra de mieux adapter les pratiques en fonction du stade de développement de l'adventice.

Du côté de la recherche

En perspective, il semble nécessaire de **poursuivre les travaux sur le rumex et le chardon** avec plusieurs points de vigilance, pour aller au-delà des résultats du projet CAPABLE :

- ◆ **Proposer des essais système** (un certain pas de temps est obligatoire pour voir des effets) mais anticiper les risques sur les mises en place d'essais système (notamment que les partenaires soient eux-mêmes responsables des interventions ; un strict minimum de durée des essais 3 à 4 ans)
- ◆ **La prise en compte du reste de la flore** (risque d'antagonisme des pratiques)
- ◆ Une bonne connaissance de l'historique de développement des vivaces ou débiter le suivi sur l'implantation de vivaces sur une parcelle historiquement saine
- ◆ Poursuivre les travaux en lien avec **les capacités de régénération** des vivaces in situ
- ◆ Une **réflexion sur les indicateurs** de suivi des vivaces.

Par ailleurs, le calage de l'outil ODERA Vivaces dans de nouvelles régions a quant à lui montré des résultats prometteurs pour **orienter les pratiques**. Afin d'aboutir à un outil utilisable plus largement que dans les Hauts de France, il sera nécessaire à l'avenir d'aller au bout de la démarche en **validant l'outil avec des jeux de données indépendants**.



Livrables, valorisation et transfert

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

◆ Salembier C., Segrestin B., Weil B, Jeuffroy M.H., Cadoux S., Cros C., Favrelière E., Fontaine L., Gimaret M., Noilhan C., Petit A., Petit M.S., Porhiel J.Y, Sicard H, Reau R., Ronceux A., Meynard J.M. 2021. A theoretical framework for tracking farmers' innovations to support farming system design. *Agronomy for Sustainable Development*. Volume 41, article number 61

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION :

◆ Roques C., Dessienne C., Burel E., 2022. La gestion du rumex en AB à l'épreuve du champ. *Perspectives Agricoles* n° 500, Juin 2022.

◆ Vuillemin F., Dessienne C., Burel E., 2022. La gestion du chardon en AB à l'épreuve du champ. *Perspectives Agricoles* n° 500, Juin 2022.



—[Rumex obtusifolius @wikicommons](#)

AUTRES VALORISATIONS

◆ Burel E., Burtin C., Sicard H., Fontaine L. et Salembier C., 2022. Traque aux pratiques innovantes, recueils des récits d'agriculteurs. ITAB

◆ Dusserre C., 2019. Comprendre les conditions de développement de *Rumex crispus* via une approche fonctionnelle, en vue de sa gestion en agriculture biologique. Mémoire de fin d'études

◆ Vancleenputte G. 2019. Gestion des rumex (*R. obtusifolius* et *R. crispus*) en grandes cultures biologiques : enseignements d'expériences d'agriculteurs. Mémoire de fin d'études. |



—[Rumex obtusifolius @wikicommons](#)

CHABABRI

Identification et hiérarchisation des facteurs biotiques de risque « chancre bactérien » en verger d'abricotiers

> Projet de recherche et innovation

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Cindy Morris

INRAE

cindy.morris@inrae.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 93 540 €

Montant de la subvention OFB : 56 124€

[Appel CASDAR Semences et sélection variétale \(2017\)](#)

PARTENAIRES

- ◇ INRAE UR Pathologie Végétale, I UR GAFL, UERI de Gothenon,
- ◇ C.E.P. (Centre d'expérimentation de Pépinières)

En bref

En partant du principe que la plantation d'arbres sains devrait améliorer la durabilité des vergers, ce projet visait la lutte contre le chancre bactérien de l'abricot en s'assurant de l'état sanitaire des plantes en pépinières. Pour ceci nous avons mis au point des outils pour déterminer l'état sanitaire des plantes d'abricotier en pépinière vis-à-vis *Pseudomonas syringae*. En parallèle, nous avons déterminé l'étendu des réservoirs d'agents pathogènes dans les vergers auxquels les arbres sont confrontés dès leur plantation et le rôle des pratiques agronomiques dans la vulnérabilité au chancre. Ceci nous a permis de hiérarchiser des facteurs de risque. Les résultats ont illustré que, en face d'un agent phytopathogène aussi ubiquiste naturellement dans l'environnement, les phénomènes post-plantation sont déterminants dans la santé des vergers indépendamment de l'état sanitaire initial de l'arbre.

Prunus armeniaca

Réservoirs

Sélection sanitaire

Pseudomonas syringae

Pratiques culturales



Le chancre bactérien de l'abricotier est une maladie endémique, qui peut provoquer la mort d'arbres et/ou de sévères dépérissements dans des conditions pédoclimatiques favorables à la maladie. En 2010, par exemple, 50% des vergers d'abricotiers ont été touchés en Rhône-Alpes pour un coût estimé à 53 500€/ha. Elle est provoquée par plusieurs souches du complexe d'espèces *Pseudomonas syringae*.



—*Pseudomonas syringae* symptôme sur abricots -
@BAUDIN P. INRAE

Les souches qui sont à l'origine de cette maladie représentent une diversité assez large au sein des 13 phylogroupes (PG) et 23 clades actuellement décrits pour ce complexe d'espèce. Comme c'est le cas pour la lutte contre la plupart des bactéries phytopathogènes, les moyens de lutte directe contre cette maladie sont très réduits, seuls les produits cupriques peuvent être utilisés avec une efficacité variable et le risque d'apparition de souches résistantes au cuivre. Par ailleurs, malgré des différences de sensibilité variétale, il n'y a pas de résistance majeure à cette maladie. Dans ce contexte, **les pratiques culturales ont une importance capitale pour réduire l'impact de cette maladie.** Ces pratiques sont conçues sur la base d'une connaissance des risques de rencontre avec l'agent phytopathogène (c.à.d. la connaissance des réservoirs d'inoculum)

toute au long de la vie des arbres – depuis la pépinière jusqu'au verger. La plante produite en pépinière peut abriter la bactérie et ceci peut constituer un inoculum initial. En verger, l'arbre pourrait être exposé à divers réservoirs de *P. syringae* (litière, eau d'arrosage, précipitation, plantes de couvre sol). Si la plante est contaminée par *P. syringae*, sa vulnérabilité à la maladie dépend de la capacité de la bactérie à pénétrer au niveau du système vasculaire et à la force des mécanismes de défense qui découle de son potentiel génétique et son état physiologique. Avec des outils adéquats, il est possible d'assurer un bon état sanitaire initial de la plante. Cependant, avant le démarrage du projet, la fréquence des plantes contaminées par *P. syringae* issues de pépinières n'était pas connue ; les pépiniéristes eux même n'avaient pas de moyen pour l'évaluer. Ces connaissances ont été déployées pour évaluer l'importance de l'état sanitaire initial des plantes pour la vulnérabilité des abricotiers en verger et, par conséquence, l'importance relative des autres sources d'exposition à la bactérie. La hiérarchisation des réservoirs de l'inoculum par rapport à leur impact sur la vulnérabilité des plantes pourrait conduire à une hiérarchisation des moyens de prophylaxie.▶

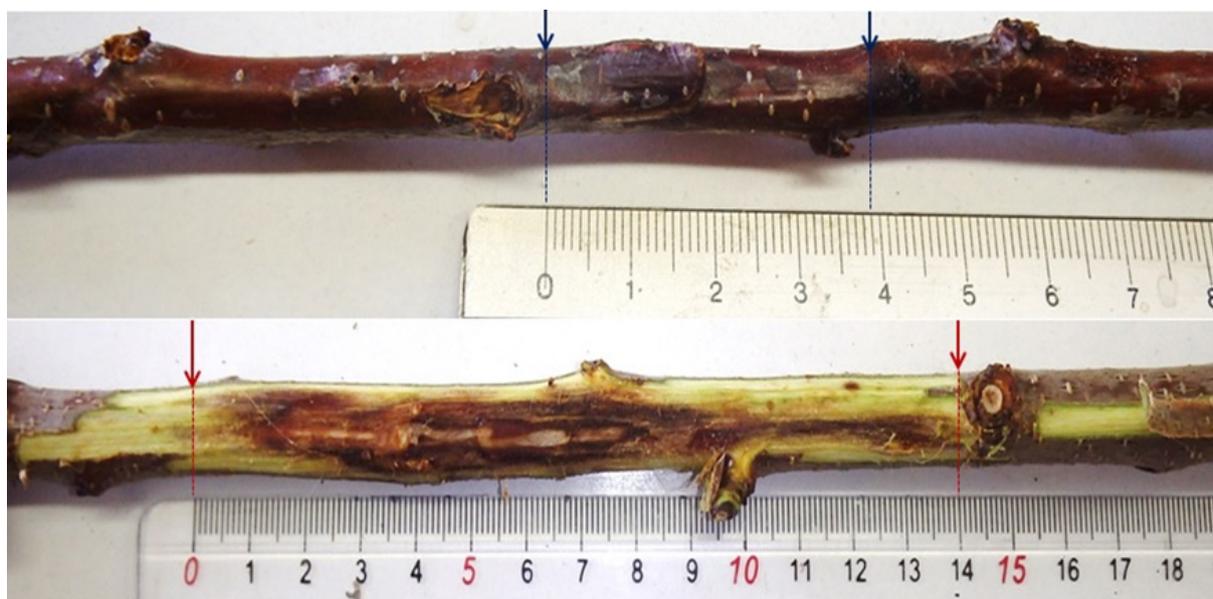


Le projet comportait 5 actions

Action 1 : Déterminer quelles souches de *P. syringae* sont effectivement pathogènes sur abricotier et leurs traits distinctifs. Selon un test de pouvoir pathogène mis au point dans le cadre du projet, le pouvoir pathogène de 30 souches de *P. syringae* en provenance d'abricotiers malades a été évalué. **Ces analyses ont révélé que les souches de quatre phylogroupes distincts de *P. syringae*** (phylogroupes 1, 2, 3 et 7) **peuvent provoquer des symptômes.** Mais toutes les souches d'un même phylogroupe n'ont **pas le même pouvoir pathogène** (évalué à travers l'étude du comportement d'une gamme d'hôte et/ou l'intensité de maladie induite). De plus, des traits phénotypiques tels que le pouvoir glaçogène ou la production de la phytotoxine syringomycine ne sont pas des indicateurs fiables du pouvoir pathogène sur abricot. Ces résultats ont été pris en compte dans le développement de l'outil de détection.

Action 2 : Déterminer l'état sanitaire des plants d'abricotier en pépinière. Cette détermination a été réalisée en début du projet à l'aide des isolations de tissus fournis par les pépiniéristes qui ont participé au projet. L'analyse de 85 scions (greffons et porte-greffes), 20 porte-greffes et 3 lots de 5 noyaux de pêcher (source des porte-greffes) a indiqué que **les scions d'abricots, aussi bien que les porte-greffes, sont fréquemment contaminés avec des souches du complexe *P. syringae*.** Il est fort probable que **les bactéries contaminent les plantes mères lors de leur culture en pépinière** (en provenance des divers réservoirs) et ne proviennent pas des semences utilisées pour établir des jeunes plantes.

Action 3 Mettre au point un test moléculaire de détection des souches de *P. syringae* potentiellement pathogènes sur plants d'abricotiers. Cette mise au point a pris en compte la ➤



*Exemple du test de pouvoir pathogène mis au point dans le cadre du projet. La tige en haut illustre la formation des chancres et la tige en bas illustre le brunissement superficiel sous l'écorce provoqué par l'inoculation avec des souches pathogènes de *P. syringae*.]*

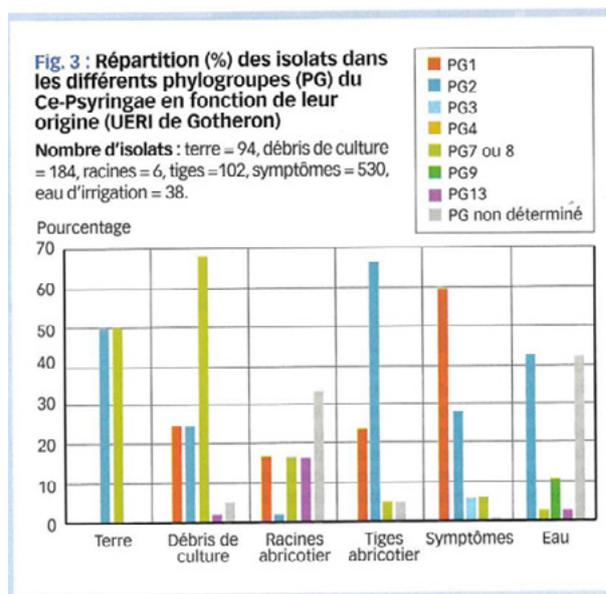


diversité génétique des souches de *P. syringae* avec un pouvoir pathogène potentiel sur abricot. Pour créer un test diagnostique facilement utilisable par des professionnels de la filière d'abricot, nous avons visé une technique moléculaire sans besoin d'équipement particulier tel que les thermocycleurs : le « loop mediated isothermal amplification » (LAMP). Grâce à la grande collection de souches de *P. syringae* gérée par l'équipe des responsables du projet et de nombreux outils et ressources à la disposition de la communauté scientifique, nous avons mis au point des amorces et identifiés des conditions d'amplification d'ADN pour le LAMP pour les phylogroupes PG01a, PG02 (sans différenciation entre les clades PG02b et PG02d qui diffèrent cependant par leur pouvoir pathogène potentiel), PG03 et PG07.

Action 4 : Evaluer l'importance de l'état sanitaire initial des arbres (au moment de leur plantation) sur le développement de la bactériose. La santé de 70 arbres a été suivie depuis leur plantation dans les vergers expérimentaux sur une durée de 4 ans : 42 arbres où *P. syringae* a été détecté au moment de la plantation et 28 arbres sans *P. syringae* détectable. **Le résultat inattendu était qu'il n'y avait pas d'effet la présence de bactéries pathogènes (*P. syringae*) sur le développement de la bactériose observée au verger.** Cette observation rend compte du fait que l'intensité du chancre bactérien peut être gérée à travers des pratiques agronomiques.

Action 5 : Identifier des pratiques agronomiques utiles pour la gestion de la bactériose. Un des leviers révélés par ce projet pour lutter efficacement contre la bactériose est le **greffage haut, et en particulier le système « Abric'Haut 1 »**. Il permet une **baisse de 25 % de l'IFT chimique tout en augmentant les rendements** et la perfor-

mance économique par rapport au système de référence. La combinaison de la **conduite des arbres en gobelets avec le greffage à 120 cm de hauteur** permet de **réduire les mortalités de charpentière de 85%** par rapport à la référence régionale greffée à 60 cm. Cette conduite des arbres permettra de limiter l'impact des maladies de dépérissement dans les années futures. Ce système ne demande pas trop d'investissements supplémentaires à la plantation, ni de rupture technique importante. **Un deuxième levier concerne le choix variétal.** Les variétés Anégat et Frisson sont les plus impactées par la bactériose et les variétés Bergeron, Bergeval et Shamade sont moins impactées. **Le troisième levier serait la gestion des réservoirs** à travers l'hygiène où ceci est possible. La bactérie est présente dans le sol, l'eau d'irrigation (des lacs de rétention d'eau en particulier), l'enherbement du sol des vergers, les débris de cultures précédents avant la plantation et la litière foliaire. ➤



Abondance relative des phylogroupes de Pseudomonas syringae dans les réservoirs liés aux vergers d'abricots. Dans la terre et les débris de culture, par exemple, les populations de ce groupe de bactérie peuvent être de l'ordre de 10⁴ à 10⁶ bactéries /g. (Figure 3 de Parisi et al, Phytoma. Oct. 2019, n° 727 :42-47)



Du côté du transfert

Afin de développer des outils pour les professionnels des pépinières qui pourraient assurer l'état sanitaire des plantes d'abricot vis-à-vis *Pseudomonas syringae*, l'équipe de CHABABRI a **mis au point des sondes moléculaires ciblant divers groupes de *P. syringae* pour des tests de PCR**. Indépendamment de la difficulté de transfert de ces sondes dans un contexte pratique (laboratoire privé ou public), pour la réalisation des analyses de « certification », **le projet a révélé la non pertinence d'analyses bactériennes pratiquées avant la commercialisation des plants dans le contexte de la certification**. Donc, les objets principaux de transfert pour les parties-prenantes du projet sont **les connaissances sur l'importance de la conduite des vergers** par rapport à la santé de l'abricot. Le système de conduite consiste à un ensemble de pratiques qui regroupe la hauteur de point de greffage, la taille, et la gestion des débris et le couvre-sol.

Du côté de la recherche

Dans les perspectives compatibles avec le plan Ecophyto II+, les résultats du projet CHABABRI renforcent le **besoin de connaissances sur l'importance des modes de conduite des vergers et du contexte pédoclimatique sur la vulnérabilité des plantes aux maladies**. En parallèle, les résultats illustrent comment un diagnostic sur la présence d'un agent phytopathogène chez une plante cultivée n'est pas particulièrement pertinent pour l'évaluation du risque parce que le risque est conditionné par des processus annexes. Cependant, à l'heure actuelle, le diagnostic est vu comme primordial dans la prise de décision de gestion. **Les résultats de ce projet illustrent que le « vivre avec » est tout à fait possible à travers la prophylaxie**. Ces informations devraient orienter les projets futurs de recherche. En parallèle, **les sondes pour la détection moléculaire** conçues dans le cadre du projet CHABABRI peuvent être utiles dans les programmes de sélection pour évaluer rapidement l'effet du génotype de la plante sur la dynamique des différentes lignées génétiques de *P. syringae* (sous inoculation artificielle ou au champ).



Livrables, valorisation et transfert

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES

◆ Journée technique pour les professionnels :
Journée P. syringae du 29 Oct. 2019, INRAe-Avignon,
32 participants

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

◆ Parisi L., Morgaint B., Blanco-Garcia J., Guilbaud C., Chandeysson C., Bourgeay J.F., Moronville A., Brun L., Brachet M.L., Morris C.E. 2019. *Bacteria from four phylogroups of the Pseudomonas syringae complex can cause bacterial canker of apricot*. Plant Pathology 698: 1249–1258.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION :

◆ Parisi L., Brun L., Berge O., Borschinger B., Lacroix C., Chandeysson C., Bourgeay J.-F., Guilbaud C., Gros C., Combe F., Morgaint B., Haim B., Chauvin-Buthaud B., Morris C.E. 2019. *Chancre de l'abricotier diversité bactérienne en verger*. Phytoma. Oct. 2019, n° 727 :42-47.

◆ Brun L., Bourbier F., Gros C. and Combe F. 2019. *Protection des abricotiers : un projet de haute volée*. Phytoma 720 : 29-34. |







Webinaire n°3 ●●●●

BIOCONTRÔLE ET QUALITÉ PAYSAGE- GÈRE

Synthèse



Le webinaire # 3 : Biocontrôle et qualité paysagère

Date : Jeudi 18 avril 2024 - 13h30 | [Voir le replay](#)

Animation Scientifique

Ingrid Arnault

Membre du CSO R&I

Ingénieure de recherche à l'université de Tours, Ingrid Arnault dirige une structure de valorisation de la recherche dédiée au Biocontrôle. Elle coordonne et participe à des projets de solutions agroécologiques portant sur les biopesticides naturels, les stimulateurs de défense des plantes et les auxiliaires des cultures.

Docteur en écologie microbienne, Marc Bardin travaille à l'unité de Pathologie végétale de l'INRAE d'Avignon.

Ses travaux portent sur la mise en œuvre de solutions de biocontrôle impliquant des agents microbiens antagonistes des agents pathogènes. Il s'intéresse plus particulièrement aux mécanismes moléculaires qui sous-tendent ces antagonismes et assurent leur efficacité. Ils s'inscrivent dans une approche intégrée du biocontrôle des maladies des plantes, et plus généralement dans le cadre de la transition agroécologique de l'agriculture dont un objectif majeur est de minimiser le recours aux pesticides.

Marc Bardin

Membre du CSO R&I



P R O G R A M M E

13h30 Accueil

13h35 Introduction du CSO R&I par Ingrid Arnault & Marc Bardin

13H40 Présentation 3 projets :

DEMETER « Bio-olfacticides : produire plus avec moins d'insecticides »

par Emmanuelle Joly (INRAE)

STREPTOCONTROL « Identification, mode d'action et synthèse des composés inducteurs des réponses immunitaires et antifongiques d'une souche bactérienne utilisée pour la protection des plantes »

par Bernard Dumas (CNRS)

ARPHY - GCPE – Paysage « Accompagnement par la Recherche du réseau DEPHY – Prise en compte des pressions de bioagresseurs et du paysage dans les systèmes de grande culture et polyculture élevage » par Benoît Ricci (INRAE)

14h35 « Biocontrôle : enjeux, applications et perspectives »

par Marie Turner co-directrice de Végénov.

L'invitée

Marie Turner

Co-directrice de Végénov

Spécialisée dans les interactions plantes-microorganismes, ses activités s'inscrivent dans le développement et la promotion d'une agriculture durable. A ce titre, Marie Turner co-dirige Vegenov et pilote le pôle de Qualité et Santé des Plantes de [Vegenov](#). Il s'agit d'un centre technique dont l'objectif est notamment d'évaluer et d'aider au développement de solutions innovantes pour nourrir et protéger les plantes contre des stress biotiques ou abiotiques, que ce soient des produits (de type biocontrôle ou biostimulant), des variétés ou des outils d'aide à la décision.

Dialogue moléculaire entre bactéries et racines des plantes, olfaction des insectes phytophages, prédation... tout un ensemble d'interactions dynamiques existe entre la plante cultivée et le monde qui l'entoure. Et si le décryptage de tous ces mécanismes et processus naturels pouvait permettre de concevoir des solutions s'appuyant sur leur potentiel insoupçonné, comme alternatives aux produits phytosanitaires de synthèse ? C'est ce qu'explorent les projets présentés dans ce webinaire, dont les résultats ouvrent des perspectives séduisantes pour la Recherche & Innovation du plan Ecophyto.





Quelques Définitions

Le **biocontrôle** fait référence à la mobilisation de « l'ensemble d'agents et produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures » (Article L.253-6 du code rural et de la pêche maritime). Voir le **Zoom** en page suivante sur les différentes catégories de produits de biocontrôle.

La **régulation naturelle des ravageurs** s'appuie sur l'action des « **auxiliaires des cultures** », **prédateurs ou parasites des bioagresseurs** des cultures, en la favorisant.



La plante cultivée fait partie d'un écosystème complexe peuplé de microorganismes et de macroorganismes en interactions interspécifiques. Selon la nature des organismes composant cet écosystème les interactions peuvent être soit néfastes pour la plante (microorganismes pathogènes, ravageurs), soit au contraire lui être bénéfiques. Ainsi, la composition de cet écosystème est déterminante sur la santé des plantes. La recherche s'applique à décrypter les processus naturels qui régissent ces interactions afin de déployer des solutions de lutte intégrée basées sur la gestion des équilibres dynamiques des populations d'agresseurs. C'est ce qu'illustre ce webinaire

qui explore d'une part des solutions de biocontrôle (projets [DEMETER](#) et [STREPTOCONTROL](#)), et d'autre part le levier de mobilisation optimisée des régulations naturelles des ravageurs via le contexte paysager des agrosystèmes (projet de thèse [ARPHY - GCPE - Paysage](#)). Ainsi, ce webinaire présente des avancées profitables à mener via des actions à différentes échelles : sur la plante directement, à proximité immédiate de la parcelle ou de la culture, et enfin à l'échelle du paysage, voire du territoire.



Agir directement sur la plante ou le sol

L'application de certains micro-organismes ou substances naturelles sur les cultures peut stimuler le système (immunitaire) de défense contre certaines maladies. La recherche est précieuse pour mieux comprendre leur mode d'action et les facteurs influençant leur efficacité afin d'améliorer et contrôler leur utilisation, et de fournir des préconisations claires aux producteurs. Parmi les produits de biocontrôle, une source majeure de matières actives est constituée des micro-organismes qui se développent au contact des plantes et qui participent à leur protection contre les organismes pathogènes.

Parmi eux, les streptomycètes sont des bactéries du sol qui se développent en particulier au niveau de la rhizosphère (zone à proximité immédiate des racines des plantes), et qui se caractérisent par leur capacité à produire une large diversité de métabolites spécialisés présentant des activités antimicrobiennes et stimulatrices des défenses végétales.

Pourtant à ce jour, « seules 7 souches de streptomycètes sont utilisées en biocontrôle ou biostimulant au niveau mondial, et un seul produit contenant une souche de strep-

tomyète a été homologué en biocontrôle en France » constate Bernard Dumas, chercheur au CNRS et porteur du projet

STREPTOCONTROL. Ce projet visait à comprendre l'activité biologique d'une nouvelle souche de streptomycètes sélectionnée, AgN23, dont la capacité à induire le système





immunitaire des plantes et à produire des activités inhibitrices de la croissance de champignons phytopathogènes a été particulièrement remarquée. D'où la pertinence de le considérer comme candidat potentiel à des fins de développement d'une nouvelle génération de produits de protection des plantes. Les travaux se sont focalisés sur une classe de métabolites synthétisée par AgN23, les Galbonolides, qui outre leur activité antifongique, jouent un rôle central dans l'activation des défenses

de la racine. Le projet a montré qu'AgN23 n'avait pas d'impact négatif collatéral sur la flore microbienne de la plante, mais qu'au contraire il influençait bénéfiquement la structuration du microbiote végétal et sa diversité biologique en colonisant la surface racinaire. Grâce à la mobilisation d'un ensemble d'approches complémentaires (génomiques, métabolomiques, méta-barcoding, génétiques moléculaires), le mode d'action de cette souche a été décrypté. Les résultats de ce projet ont permis le lan-

cement d'une étude visant au développement industriel d'AgN23, il s'agit à présent de trouver une formulation efficace garantissant la viabilité de la souche. D'autre part, l'expérience acquise ouvre des perspectives pour développer des travaux sur d'autres souches de streptomycètes.

ZOOM SUR

les 4 catégories d'agents de biocontrôle



Macro-organismes auxiliaires

Invertébré, insectes, acariens, nématodes

Prédateurs, parasitoïdes ou entomopathogènes

Non soumis à Autorisation de mise sur le marché (AMM)



Micro-organismes

Champignons, bactéries, virus

Parasitisme, compétition, antibiose, stimulation des défenses des plantes



Médiateurs Chimiques

Phéromones, kairomones ou allomones

Confusion sexuelle et piégeage

Produits phytosanitaires soumis à AMM
Règlement CE n°1107/2009



Substances naturelles

d'origine végétale, animale, minérale ou microbienne

Effet pesticide, stimulation des défenses des plantes, répulsion



Marie Turner, co-directrice et responsable du pôle qualité et santé des plantes de Vegenov, fait le constat d'un engouement politique récent porté sur les biosolutions, y compris le biocontrôle. Cela se traduit dans l'élaboration de la stratégie nationale de développement du biocontrôle, le lancement du Consortium Biocontrôle, la mise en œuvre du Grand défi biocontrôle et biostimulation. Toutefois, il existe encore une certaine réticence à intégrer ces produits de manière efficace dans les itinéraires techniques de production, quand bien même ceux-ci ont montré des résultats satisfaisants en conditions de laboratoire. « *Beaucoup de travaux sont menés aujourd'hui pour essayer de comprendre les facteurs pouvant influencer cette efficacité en conditions de production et de voir comment l'améliorer, car si on a montré que ces solutions pouvaient être efficaces en laboratoire c'est qu'elles ont du potentiel.* » explique-t-elle. Il convient de prendre en considération et de maîtriser des paramètres extérieurs à la plante : température, hygrométrie, interactions avec d'autres organismes vivants afin d'optimiser l'application de ces agents. En effet, contrairement à un produit conventionnel qui présente un mode d'action plus large avec un effet assez « lance-flamme », l'action d'un produit de biocontrôle est beaucoup plus subtile et dépendante de facteurs environnementaux. Ainsi les conditions d'application vont être déterminantes, et la mobilisation de plusieurs le-

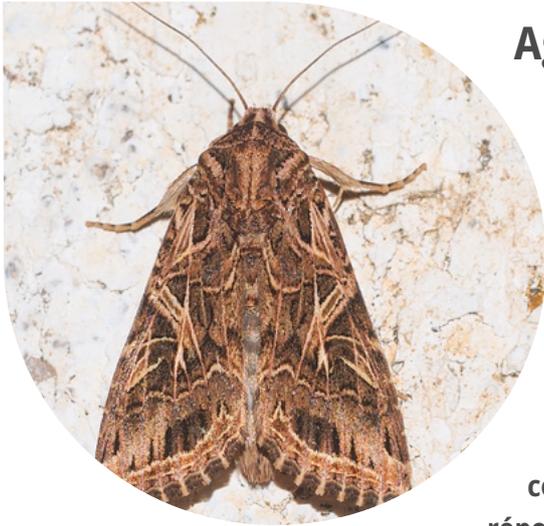
” **Beaucoup de travaux sont menés aujourd'hui pour essayer de comprendre les facteurs pouvant influencer l'efficacité des produits de biocontrôle en conditions de production et de voir comment l'améliorer.** ”

Marie Turner
Vegenov

viers en association va souvent être essentielle pour la réussite de la protection des cultures, comme l'illustrent les travaux du centre de ressources technologiques Vegenov, créé initialement par la filière légumière bretonne. Ainsi dans le cadre de la lutte contre la cladosporiose de la tomate, maladie causée par un champignon, qui crée des nécroses sur les feuilles et qui diminue la productivité des plants, une soixantaine de produits ont été testés, mais leur efficacité s'est révélée faible et variable. Or on s'est rendu compte qu'en optimisant leur mode d'application via une pulvérisation sous

le feuillage certains produits étaient nettement plus efficaces. Quatre autres nouveaux produits ont ensuite été identifiés comme particulièrement intéressants dont le limocide (insecticide-fongicide biologique), même si le produit diminue en efficacité après sporulation n'ayant pas d'effet sur le taux de germination des spores. Une autre piste à explorer est l'étude d'un antagoniste naturel (*Hansfordia pulvinata*) identifié dans les années 80 et qui aurait un fort potentiel de

régulation, une perspective intéressante est de rechercher comment influencer sa capacité à coloniser les serres de tomates. On retiendra que la mobilisation de solutions de biocontrôle nécessite de repenser les conditions d'utilisation de ces produits, ce qui peut être tout aussi bien un frein qu'une opportunité à leur utilisation.



Agir à proximité immédiate de la culture

Les médiateurs chimiques ou sémiochimiques sont des composés volatils présents dans l'environnement que les insectes détectent, grâce à leurs récepteurs olfactifs (OR) et qu'ils utilisent pour des activités vitales comme la localisation des sources de nourritures et de partenaires sexuels. L'identification de ces molécules est très intéressante pour les utiliser comme solutions de biocontrôle : il s'agit de perturber la réponse naturelle des insectes nuisibles aux odeurs, notamment de semer la confusion chez l'insecte pour le détourner de son objectif (se nourrir ou s'accoupler par exemple) ou de l'attirer dans des pièges, en les diffusant dans l'air à proximité immédiate des cultures.

Le projet [DEMETER](#) a développé une approche tout à fait innovante pour accélérer l'identification de nouveaux sémiochimiques actifs sur le comportement des insectes ravageurs : il mobilise le concept « d'écologie chimique inverse » qui consiste à partir de ces fameux récepteurs olfactifs, protéines à l'interface entre l'air environnant et le milieu intérieur de l'insecte, pour proposer par modélisation moléculaire des nouveaux ligands, appelés bio-olfactocides, qui vont perturber le fonctionnement naturel des récepteurs (compétiteurs, suractivateurs ou bloquants olfactifs). Cette méthode a été couplée à la mise en œuvre d'une approche d'Intelligence Artificielle, et en particulier d'apprentissage automatique.

Le projet avait pour objectif d'expérimenter la preuve de concept de ces approches sur un ravageur clé : la noctuelle du coton *Spodoptera littoralis*,

espèce invasive en Europe. Il a permis d'identifier le récepteur de la phéromone sexuelle de cette espèce, ainsi que deux récepteurs impliqués dans le comportement d'attraction olfactive des chenilles vers les plantes. Ces derniers ont permis d'élaborer des cribles virtuels *in silico* (par informatique) qui ont été ensuite testés expérimentalement avec succès, permettant ainsi la découverte

de nouveaux attractifs potentiels pour gérer cette espèce. Des tests à plus grande échelle sont maintenant nécessaires avant de concevoir l'applicabilité des nouveaux médiateurs chimiques identifiés.

« Le levier des médiateurs chimiques doit être considéré avec vigilance et dans un contexte d'association à d'autres leviers », souligne Emmanuelle Jacquin-Joly, directrice de recherche à

l'INRAE et responsable du projet DEMETER. « En effet, certains odorants de synthèse ne seront ef-

”
Certains odorants de synthèse ne seront efficaces qu'en association avec d'autres méthodes comme l'utilisation de plantes de service [...] ou la mobilisation d'auxiliaires.”

Emmanuelle Jacquin-Joly

INRAE



ficaces qu'en association avec d'autres méthodes comme l'utilisation de plantes de service qui peuvent aussi jouer un rôle par leurs odeurs sur le comportement des insectes ou la mobilisation d'auxiliaires qu'on peut par exemple attirer dans une parcelle par des odeurs. Il s'agit aussi de bien contrôler que les solutions ne provoquent pas d'effets collatéraux, sur les populations d'auxiliaires par exemple, précise-t-elle. » Les récepteurs olfactifs sont très divergents entre insectes, ce qui permet d'agir de manière sélective et de préserver les insectes bénéfiques.



À voir aussi

Appel à projets « [Combiner les leviers alternatifs](#) » d'Ecophyto Recherche et innovation



Agir à l'échelle du paysage et du territoire

Les bioagresseurs qui colonisent les cultures ne se cantonnent pas aux seules parcelles mais sont l'objet de dynamiques de propagation souvent dépendantes des agroécosystèmes à plus larges échelles : exploitation, paysage environnant, territoire. Aussi, certaines stratégies de réduction de l'usage des pesticides ne seront efficaces que si elles prennent en compte ces échelles larges.

La thèse [ARPHY - GCPE – Paysage](#) illustre cette vision. Son objectif était de rechercher à partir des données du réseau DEPHY-Ferme (filiale grande-culture et polyculture élevage) si la pression régionale de bioagresseurs et le contexte paysager jouaient chacun un rôle déterminant dans la capacité des exploitations à réduire leur dépendance aux pesticides. Les résultats ont permis de valider l'hypothèse tacite selon laquelle le niveau d'usage d'insecticides était

plus élevé en situations de forte pression régionale de bioagresseurs. Ils ont aussi confirmé le lien entre les caractéristiques du paysage environnant et le niveau d'usage des insecticides. L'analyse qui a mobilisé 557 fermes du réseau Dephy sur la période 2014-2019 a notamment montré que l'IFT insecticide était plus faible dans les paysages avec fortes proportions de haies. « Ces effets de paysage peuvent être interprétés comme un effet de régulation

biologique », explique Benoit Ricci, chercheur à l'INRAE. « Les haies peuvent fournir des ressources complémentaires à des auxiliaires en début de saison notamment, et leur servir de site de reproduction. Elles peuvent permettre de favoriser la présence d'espèces ennemis naturels et de soutenir des populations de taille suffisante pour fournir le service de régulation biologique. » détaille-t-il. En outre, la densité et connectivité de la trame de haies va faciliter



le déplacement de proche en proche des espèces sauvages à travers les zones agricoles.

Pour aller plus loin, des approches locales complémentaires seraient intéressantes à mener afin de mieux comprendre le rôle joué par les infrastructures agroécologiques dans les régulations biologiques. Il s'agirait de travailler en particulier sur les caractéristiques des haies permettant d'optimiser leur implantation et de faciliter leur gestion. Cela pourrait conduire à développer des outils pour conseiller les agriculteurs dans l'intégration de ces infrastructures agroécologiques au sein de leurs exploitations.

Ces résultats du projet ARPHY

” **Il y aurait un fort intérêt à combiner les réseaux de suivi des bioagresseurs avec le suivi des auxiliaires à l'aide de dispositifs de suivi multi-espèces.** ”

Benoit Ricci
INRAE

- GCPE – Paysage confortent l'importance d'une coordination à l'échelle territoriale dans la lutte intégrée contre les nuisibles comme l'intégration de réseaux de haies ou la concertation entre agriculteurs. Ils ont aussi mis en évidence la

pertinence des réseaux de suivi des bioagresseurs à grande échelle. « Il y aurait un fort intérêt à les combiner avec le suivi des auxiliaires à l'aide de dispositifs de suivi multi-espèces » souligne Benoit Ricci. Les perspectives de recherche sont encore nombreuses pour approfondir ces pistes...



À voir aussi

Appel à projets Eco-phyto II+ Recherche et innovation « [Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques](#) » (2018)



DEMETER

Bio-olfacticides: vers une solution innovante en biocontrôle des insectes ravageurs

> Projet de recherche et développement

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Emmanuelle Jacquin-Joly

INRAE

emmanuelle.joly@inrae.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 2 596 744€

Montant de la subvention OFB : 295 500€

[Appel ANR générique \(2016\)](#)

PARTENAIRES

- ◇ INRAE IEES
- ◇ Centre de Ressources Biologiques Xénope (Université de Rennes I),
- ◇ Institut de Chimie de Nice (Université de Nice Côte d'Azur-CNRS)

En bref

L'écologie chimique inverse computationnelle est une approche d'écologie chimique innovante qui consiste à partir des protéines olfactives elles-mêmes pour accélérer l'identification de nouveaux sémiocimiques actifs sur le comportement des insectes ravageurs, par crible virtuel in silico suivi de tests expérimentaux. Elle peut ainsi mener à des solutions de biocontrôle, en perturbant de grandes fonctions liées à l'olfaction comme la recherche de nourriture, d'un site de ponte ou d'un partenaire sexuel.

Noctuelles

Olfaction

Récepteurs olfactifs

Modélisation moléculaire

Machine learning

Médiateurs chimiques

Biocontrôle



Les noctuelles comprennent des bioagresseurs polyphages parmi les plus dévastateurs. Nombre de comportements impliqués dans les ravages causés aux cultures (reproduction, reconnaissance et choix de la plante hôte et des sites de ponte,...) sont étroitement liés aux capacités olfactives de ces insectes. Cette modalité sensorielle apparait ainsi comme une cible privilégiée pour développer des stratégies innovantes de biocontrôle.

Les acteurs clés impliqués dans la reconnaissance des signaux chimiques sont les récepteurs olfactifs (OR, protéines qui détectent les odorants). Ces récepteurs apparaissent comme des cibles pertinentes pour la mise au point de méthodes de lutte sélectives et sans danger, de type « bio-olfacticides » (agonistes, antagonistes ou bloquants olfactifs):

- 1) les **OR des insectes sont différents des ceux des vertébrés**, ce qui permet d'éviter des effets néfastes pour l'homme ou d'autres mammifères ;
- 2) ils sont également **très divergents entre insectes**, ce qui permet d'agir de manière sélective et de préserver les insectes bénéfiques ;
- 3) ils présentent une structure à 7 domaines

transmembranaires, semblable à celle des récepteurs couplés aux protéines G (GPCR), pour lesquels la pharmacologie a **développé un savoir-faire unique** pour perturber leur fonctionnement.

L'objectif de ce projet a été de mener une étude pilote sur un organisme modèle en agronomie, la noctuelle du coton *Spodoptera littoralis*, qui consiste à **identifier les récepteurs olfactifs impliqués dans des comportements clés comme l'attraction ou la répulsion par leur caractérisation fonctionnelle**, puis à prédire des agonistes ou antagonistes par modélisation moléculaire, et enfin les tester expérimentalement sur les OR et in fine sur le comportement des insectes. ➤





Ce projet multidisciplinaire a mobilisé une diversité d'approches : le séquençage haut-débit, la bioinformatique, la biologie moléculaire, l'édition du génome, l'électrophysiologie, l'apprentissage automatique ou machine learning, et l'étude du comportement.

Des méthodes de séquençage modernes combinant Illumina et PacBio, associées à de puissants outils bioinformatiques, nous ont permis de réaliser l'assemblage du premier génome complet de *S. littoralis* et d'établir par annotation manuelle experte le répertoire complet d'OR de cette espèce (~80 OR). Nous y avons également identifié les récepteurs gustatifs, tout aussi importants que les OR pour la prise de décision alimentaire par les insectes, **mettant en évidence des expansions très importantes (plus de 300 gènes !) qui seraient liées au régime polyphage des herbivores.**

Une analyse phylogénétique des OR combinée à des approches de RNAseq (séquençage de transcriptomes) sur différents tissus, stades développementaux (chenilles/papillons) et sexes (mâles/femelles) a permis la **sélection d'OR prometteurs en terme d'applications en protection des cultures car potentiellement importants dans des comportements clés** (récepteurs aux phéromones sexuelles, récepteurs aux odeurs de plantes). La **caractérisation fonctionnelle de ces OR cibles** (ie l'identification des odorants qu'ils reconnaissent) a été menée par des approches de génomique fonctionnelle que nous avons mises au point sur cet insecte: expression hétérologue chez un insecte hôte (la drosophile) ou in vitro (en cellules), et édition du génome par CRISPR/Cas9 pour inactiver un OR in vivo. Ainsi, **nous avons**

mené la première étude fonctionnelle d'envergure d'OR chez un insecte ravageur des cultures.

Par cette approche systématique, et guidés par les analyses RNAseq et phylogénétiques, nous avons **identifié les récepteurs à la phéromone sexuelle de cette espèce**, cibles particulièrement pertinentes de « phérocides ». D'un point de vue évolutif, nous avons démontré que **les récepteurs aux phéromones sexuelles des papillons de nuit sont apparus au moins deux fois au cours de l'évolution**, révolutionnant l'idée couramment admise que les récepteurs phéromonaux ont une origine évolutive unique.

Notre crible fonctionnel a également permis d'**identifier des récepteurs impliqués dans le comportement d'attraction olfactive des chenilles vers les plantes**, sur lesquels nous avons construits et appliqué des modèles de prédictions computationnelle d'agonistes et/ou d'antagonistes (modèles quantitatifs de relation structure à activité, ou QSAR). Nos cribles in silico de banques virtuelles de molécules ont proposé de nouveaux ligands, dont l'action sur les OR et le comportement des insectes a ensuite été vérifiée expérimentalement. C'est la première fois qu'une telle combinaison de chimie-informatique et d'expérimentation est menée sur un Lépidoptère, et les taux de succès (30 à 90%) se sont révélés très prometteurs, **démontrant concrètement l'efficacité de cette approche in silico pour identifier de nouveaux sémiocimiques actifs sur les insectes.** ➤



Du côté du transfert

Les expériences de ce projet ont été menées sur un nombre limité de récepteurs olfactifs, et en condition de laboratoire. Des tests à plus grande échelle sont nécessaires avant de concevoir l'applicabilité des nouveaux médiateurs chimiques identifiés.

Les modèles *in silico* ont un fort potentiel générique : ils pourraient être théoriquement appliqués à tout type de récepteurs olfactifs et d'espèces diverses. Il est cependant à noter que pour les OR à spectre étroit, les prédictions ne sont pas efficaces car les modèles ne sont pas alimentés avec suffisamment de données. Une approche basée sur la structure de l'OR prendrait dans ce cas tout son sens.

Enfin, on peut tout aussi bien imaginer exploiter les récepteurs gustatifs pour compléter la panoplie de bio-olfacticides par des « bio-gustatocides ».

Du côté de la recherche

Le projet DEMETER a permis d'ouvrir de nouvelles voies de recherches qui font l'objet de nouveaux projets en cours, dont les principaux sont :

- ◇ les projets CryOR (ANR-20-CE20-0003) et RevorIA (MITI CNRS), qui visent au développement d'une approche guidée par la structure même des OR de *Spodoptera* pour le design de nouveaux bio-olfacticides
- ◇ le projet investissement d'avenir PherosensOR (PPR-CPA, ANR-20-PCPA-0007), qui vise à la détection précoce des insectes ravageurs à l'aide de capteurs olfactifs utilisant les récepteurs phéromonaux identifiés dans DEMETER
- ◇ le projet AncestOR (ANR-22-CE13-0013), qui vise à reconstruire l'histoire évolutive des OR de *Spodoptera* caractérisés dans DEMETER

Livrables, valorisation et transfert

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES, AVEC ET SANS ACTES

Ce projet a mené à plus de 40 communications scientifiques dans des congrès internationaux (France, Italie, Hongrie, Autriche, Suède, Iran, Kenya, Chine, Inde, Australie, USA), dont une

trentaine en tant qu'invité (keynote, plenary, etc).

PRÉSENTATIONS À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- ◇ Jacquin-Joly E. (2017) *Les récepteurs olfactifs des insectes : cibles potentielles pour des stratégies innovantes de biocontrôle*, -- Association française de protection des plantes (AFPP), Montpellier, 24 octobre.
- ◇ Jacquin-Joly E *L'édition du génome peut-elle aider à combattre les insectes nuisibles? du knock-out au gene drive*. -- Colloque de l'Académie ➤



d'Agriculture : Les nouvelles biotechnologies pour l'agriculture et l'alimentation. Les innovations d'aujourd'hui, des réalités de demain. Paris, 22 nov.

◇ Jacquin-Joly E. (2018) *L'écologie chimique, une voie de biocontrôle*. Séance de l'académie d'agriculture, séminaire invité, Paris, 12 dec.

◇ Jacquin-Joly E. (2019) *L'odorat des insectes, vers de nouvelles solutions de biocontrôle*. -- Les entretiens écologiques, Entre pollutions et protection des cultures : ce que les maires veulent savoir (AMF), Paris, 9 avril.

◇ Jacquin-Joly E. (2017) *Innovative approaches for pest control based on olfactory receptor disruptors*. Journée du consortium Biocontrôle, Maison du végétal, Angers, 23 nov.

◇ Jacquin-Joly E. (2020) *Interactions plantes-insectes, mieux les comprendre pour adapter les stratégies de lutte*, chambre d'agriculture 82, Montauban, 10 décembre.

◇ Jacquin-Joly E. (2020) *Médiateurs chimiques en biocontrôle et perspectives offertes par la connaissance des mécanismes olfactifs*. Réseau INRAE EMBA (Ecological Management of Bioaggressors in Agroecosystems) 13 nov.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

◇ Li Z., Capoduro R., Zhang S., Sun D., Lucas P., Dabir-Moghaddam D., François M.C., Liu Y., Wang G., Jacquin-Joly E., Montagné N., Meslin M. (2023) *A tale of two copies: evolutionary trajectories of moth pheromone receptors*. **Proc Natl Acad Sci USA** 120 (20), e2221166120.

Publication ayant fait l'objet d'un [communiqué de presse INRAE](#) et d'un highlight dans « **Inno- ver avec INRAE** » - N° 27, Juin 2023

◇ Koutroumpa F., Monsempès C., Anton S., François, M.-C., Montagné N., Jacquin-Joly E. (2022) *Pheromone Receptor Knock-Out Affects Pheromone Detection and Brain Structure in a Moth*. *Biomolecules*, 12, 341.

◇ Meslin C., Mainet P., Montagné N., Robin S., Legeai F., Bretaudeau A., Johnston J.S., Koutroumpa F., Persyn E., Monsempès C., François

M.C., Jacquin-Joly E. (2022) *Spodoptera littoralis genome mining brings insights on the dynamic of expansion of gustatory receptors in polyphagous noctuidae*, **G3 Genes|Genomes|Genetics**, jkac131

◇ Caballero-Vidal G, Bouysset C, Gévar J, Mbouzi H, Nara C, Delaroché J, Golebiowski J, Montagné N, Fiorucci S, Jacquin-Joly E. (2021) *Reverse chemical ecology in a moth: machine learning on odorant receptors identifies new behaviorally active agonists*. **Cell. Mol. Life Sci.** 78: 6593–6603

◇ Koutroumpa F., Monsempès C., François M.C., Severac D., Montagné N, Meslin C. and Jacquin-Joly E. (2021) *Description of chemosensory genes in unexplored tissues of the moth Spodoptera littoralis*. **Front. Ecol. Evol.** 9: 678277.

◇ Caballero-Vidal G., Bouysset C., Grunig H., Fiorucci S., Montagné N., Golebiowski J., and Jacquin-Joly E. (2020) *Machine learning decodes chemical features to identify novel agonists of a moth odorant receptor*. **Sci. Reports** 10:1655.

◇ Bastin-Héline L., de Fouchier A., Cao S., Koutroumpa F., Caballero-Vidal G., Robakiewicz S., Monsempès C., François M.C., Ribeyre T., de Cian A., Walker W.B., Wang G., Jacquin-Joly E. & Montagné N. (2019) *A novel lineage of candidate pheromone receptors for sex communication in moths*. **eLife** 8:e49826

Publication ayant fait l'objet d'un [communiqué de presse INRAE](#)

◇ Licon CC, Bosc G, Sabri M, Mantel M, Fournel A, Bushdid C, Golebiowski J, Robardet C, Plantevit M, Kaytoue M, Bensafi M (2019) *Chemical features mining provides new descriptive structure-odor relationships*. **Plos Comput. Biol.** 15(4):e1006945

◇ de Fouchier A., Sun X., Caballero-Vidal G., Travaillard S., Jacquin-Joly E. & Montagné N. (2018) *Behavioral effect of plant volatiles binding to Spodoptera littoralis larval odorant receptors*. **Front. Behav. Neurosci.** 12: 264

◇ Bushdid C., de March C.A., Matsunami H., Golebiowski J. (2018) *Numerical Models and In* ➤



Vitro Assays to Study Odorant Receptors. Methods in Molec. Biol. 1820:77-93

◇ Bushdid C., de March C.A., Fiorucci S., Matsunami H., Golebiowski J. (2018) *Agonists of G protein-coupled odorant receptors are predicted from chemical features. The J. Phys. Chem. Letters* 9, 2235-2240

◇ de Fouchier A., Walker W.B., Montagné N., Steiner C., Binyameen M., Schlyter F., Cheretemps T., Maria A., François M.C., Monsempes C., Anderson P., Hansson B.S., Larsson M. C., Jacquin-Joly E. (2017) *Functional evolution of Lepidoptera olfactory receptors revealed by deorphanization of a moth repertoire. Nature Communications* 8: 15709 [lire](#)

Publication ayant fait l'objet d'un communiqué de presse INRAE

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

◇ Jacquin-Joly E. (2019) *L'odorat des insectes, vers de nouvelles solutions de biocontrôle des espèces invasives. Valeurs Vertes*, 158, 17-18.

◇ Jacquin-Joly E. and Lucas P. « *Les regards d'Emmanuelle Jacquin-Joly et de Philippe Lucas, Le machine learning et la modélisation 3D accélèrent la découverte de signaux chimiques pour le biocontrôle* ». Dans *Actes du colloque Ecophyto Recherche & Innovation 2021* Page 22.

◇ Jacquin-Joly, E., & Groot, A. T. (2018). *Pheromones, Insects*. In M. K. Skinner (Ed.). In: *Encyclopedia of Reproduction*. vol. 6, pp. 465–471. Academic Press: Elsevier.

◇ Malausa T., Jacquin-Joly E., Frérot B., Marion-Poll F., Thiery D., et al. (2018) *Les conquêtes de l'INRA pour le biocontrôle. France. INRA Sciences & Impact*, 32 p.

◇ Lucas P., Montagné N., Jacquin-Joly E. (2020) *Anatomie et fonctionnement du système chimiosensoriel des insectes*. Chapitre 16. In : **Biocontrôle. Éléments pour une protection agroécologique des cultures**. Fauvergue, X., Rusch, A., Barret, M., Bardin, M., Jacquin-Joly, E., Malausa, T., Lannou, C. (eds.). Savoir Faire

(Quae). Versailles, pp. 209-220.

◇ Anton S. Jacquin-Joly E. (2020). *Médiateurs chimiques et lutte contre les insectes*. Chapitre 17. In : **Biocontrôle. Éléments pour une protection agroécologique des cultures**. Fauvergue, X., Rusch, A., Barret, M., Bardin, M., Jacquin-Joly, E., Malausa, T., Lannou, C. (eds.). Savoir Faire (Quae). Versailles, pp. 221-228.

◇ Calatayud, P-A., Sauvion, N., Thiery D., Rebaudo F., Jacquin-Joly E. (2020) *"Plant-Insect Interactions."* In : **Oxford Bibliographies in Ecology**. Ed. David Gibson. New York: Oxford University Press.

◇ Montagné N., Wanner K., Jacquin-Joly E. (2020) *Olfactory genomics within the Lepidoptera*. Chapter 15, in: **Insect Pheromone, Biochemistry and Molecular Biology**. Eds: Blomquist G., Vogt R. Second Edition, Elseviers. ISBN: 9780128196298

◇ Anton S. Jacquin-Joly E. (2022). *Semiochemicals and Insect Control*. In: **Extended Biocontrol**. Fauvergue, X., Rusch, A., Barret, M., Bardin, M., Jacquin-Joly, E., Malausa, T., Lannou, C. (eds.). Springer-Quae edition pp 197–204. ISBN: 978-94-024-2150-7

◇ Lucas P., Montagné N., Jacquin-Joly E. (2022) *Anatomy and functioning of the insect chemosensory system*. In : **Extended Biocontrol**. Fauvergue, X., Rusch, A., Barret, M., Bardin, M., Jacquin-Joly, E., Malausa, T., Lannou, C. (eds.). Springer Dordrecht, 327 p. ISBN: 978-94-024-2150-7

AUTRES VALORISATIONS

Média

◇ RFI, 2019 « *Agriculture: le biocontrôle ou lutter contre les insectes sans pesticides* » [écouter](#)

◇ **Huffington post**, 2019 : « *les odeurs pour remplacer les pesticides* » [Lire](#)

◇ **Techniques de l'ingénieur**, 2019 [Lire](#)

◇ **Science et avenir**, 2019 et 2022 - n° mai 2019, P64 « *Vers un monde sans insectes* », article de Loïc Chauveau. -n° 903, mai 2022 « *Odorat des insectes : le comprendre permettra de sauver* » ➤



les cultures » article de Loïc Chauveau [Lire](#)

Salons >

◇ Utopiales 2019, « *Mignone allons voir si la rose...* », Nantes, France

◇ Salon International de l'Agriculture, 2019, 2020, stand « *insectes et odeurs* », Paris, France

◇ Salon international des techniques de productions végétales (SIVAL) 2024 « *Médiateurs chimiques et biocontrôle* ». Angers, France

Mediations pédagogiques

◇ intervention dans les écoles, 2019, écoles élémentaires, Trappes

◇ interventions en Universités nationales/internationales

◇ Jacquin-Joly E. (2018) *L'olfaction chez les insectes : des mécanismes moléculaires aux applications en agronomie et santé humaine*. 4 avril, Sorbonne Université, Paris

◇ Jacquin-Joly E. (2023) *Insects, odors, and pest control*. Upsalla University, Suède, 6 octobre.

Retransmission youtube

◇ [voir la vidéo](#)

Déclarations d'invention et Brevet

◇ DI-RV-14-0025: FUNCTIONAL EUGENOL AND

RECEPTOR COUPLE USED AS A TOOL FOR THE SCREENING OF OTHER INSECT RECEPTORS, THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF INSECT OLFACTORY ACTIVE MOLECULES IN SPODOPTERA SP. Jacquin-Joly E., De Fouchier A., Montagné N.

◇ DI-RV-15-0010: FUNCTIONAL MAIN PHEROMONE COMPONENT AND RECEPTOR COUPLE USED AS A TOOL FOR THE SCREENING OF OTHER INSECT RECEPTORS, THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF INSECT OLFACTORY ACTIVE MOLECULES IN SPODOPTERA SP. Jacquin-Joly E., De Fouchier A., Montagné N.

◇ Brevet : Jacquin-Joly E., de Fouchier A., Montagné N. (2018) "*Pheromonal receptor of Spodoptera littoralis and identification of natural ligand of said receptor and uses thereof*" INRA. n°16305329.1. Abandonné par l'INRAE en 2021 faute de partenariat industriel. |

STREPTO- CONTROL

Identification, mode d'action et synthèse des composés inducteurs des réponses immunitaires et antifongiques d'une souche bactérienne utilisée pour la protection des plantes

> Projet de recherche

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Bernard Dumas

Université de Toulouse
bernard.dumas@univ-tlse3.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 1 655 518€

Montant de la subvention OFB : 156 154€

[Appel ANR maturation \(2017\)](#)

PARTENAIRES

- ◇ Université Paul Sabatier Toulouse 3 (LRSV UMR 5546),
- ◇ I2BC UMR 9198 (CEA, CNRS, Université Paris Sud),
- ◇ DE SANGOSSE, Bonnel

En bref

La protection des plantes contre les maladies s'est accompagnée au XXème siècle de l'utilisation massive de produits issus de la chimie de synthèse posant des problèmes environnementaux ou de sécurité pour les consommateurs. Afin de remplacer ces produits, de nouvelles stratégies sont développées dont l'utilisation de composés d'origine naturelle (produits de biocontrôle). Une source majeure de matières actives est constituée des microorganismes qui se développent au contact des plantes et qui participent à leur protection contre les organismes pathogènes. Le projet STREPTOCONTROL a pour but de comprendre l'activité biologique et d'optimiser l'utilisation d'une bactérie du sol, appelée Streptomyces AgN23, afin de développer une nouvelle génération de produits de protection des plantes.

Plantes

Streptomyces

Bio-fongicides

Immunité

Biocontrôle



Les streptomycètes sont des bactéries du sol retrouvées dans de nombreux habitats naturels et en particulier au niveau de la rhizosphère, une zone à proximité immédiate des racines des plantes. Ces microorganismes sont caractérisés par leur capacité à produire une large diversité de métabolites spécialisés présentant des activités antimicrobiennes et stimulatrices des défenses végétales. Dans ce contexte, l'identification et la caractérisation de souches de streptomycètes bénéfiques pour les plantes pourraient avoir un impact majeur pour le développement de nouvelles solutions phytosanitaires respectueuses de l'environnement.

Malgré leurs propriétés bénéfiques, seulement quelques souches de streptomycètes sont utilisées dans l'agriculture au niveau mondial, suggérant qu'une meilleure connaissance de ces organismes et de leur comportement dans les milieux naturels permettrait de développer leur utilisation. Le projet STREPTOCONTROL a pour but de **comprendre l'activité biologique d'une nouvelle souche de Streptomyces sélectionnée, AgN23, capable d'induire le système immunitaire des plantes et de produire des activités inhibitrices de la croissance de champignons phytopathogènes.** La pulvérisation de spores ou de mycélium d'AgN23 à la surface de feuilles protège les plantes d'infections microbiennes. Cependant, le mode d'action et le comportement dans

le milieu naturel de cette souche ne sont pas connus.

◆ Le premier objectif du projet STREPTOCONTROL était d'identifier les métabolites spécialisés actifs de la souche en utilisant une combinaison d'approches génomiques, génétiques et biochimiques.

◆ Le deuxième objectif visait à identifier les gènes clés dans la production des métabolites d'intérêt par des études moléculaires et génétiques.

◆ Le troisième objectif visait à comprendre le comportement d'AgN23 dans des conditions environnementales contrôlées en présence de divers types d'espèces végétales et microbiennes. ➤

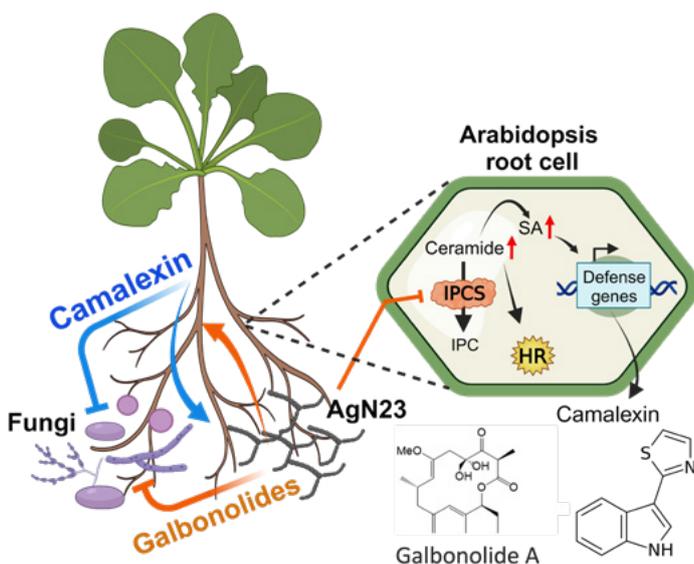


Figure 1 : Modèle de l'activité des galbanolides produits par les streptomycètes. Les galbanolides sont des molécules complexes produites par plusieurs espèces de streptomycètes du sol, au contact des racines végétales. Ces molécules bloquent la synthèse de composés de champignons et de plantes ce qui provoque une toxicité pour les champignons et une induction de défenses naturelles chez les plantes. Parmi ces défenses, il y a production de molécules antimicrobiennes comme la camalexine chez la plante modèle *Arabidopsis thaliana*. L'action concertée des galbanolides et de la camalexine permet le développement d'AgN23 dans la rhizosphère et la protection de la plante contre les organismes pathogènes.



Identification des métabolites produits par AgN23

Le premier résultat de notre projet a été d'obtenir une séquence génomique de haute qualité d'AgN23 ce qui nous a permis de **prédire les clusters de gènes impliqués dans la synthèse de métabolites spécialisés et les éléments régulateurs de ces gènes**. Nous avons aussi pu déterminer la position taxonomique d'AgN23 au sein du clade *S. violaceus-niger*. Ce clade renferme de nombreuses espèces de *Streptomyces* largement répandues dans des écosystèmes du sol, notamment la rhizosphère. Une approche biochimique (métabolomique) a été suivie afin d'identifier les métabolites issus de cultures in vitro d'AgN23. Cette approche a confirmé la plupart des prédictions de l'approche génomique. AgN23 produit plus d'une quarantaine de métabolites complexes, certains étant connus pour des activités antimicrobiennes. Nous avons également identifié plusieurs molécules identiques à des phytohormones comme l'auxine, une hormone végétale impliquée dans des processus de développement des plantes. La production de ces hormones par AgN23 pourrait indiquer un effet bénéfique de la bactérie sur le développement racinaire (Gayrard et al., 2023).

Caractérisation des métabolites responsables de l'activité biologique

A partir de ces résultats, nous avons choisi de focaliser nos travaux sur une classe particulière de molécules, les galbonolides. Ces métabolites ont une activité antifongique en ciblant un métabolisme particulier chez les champignons (les sphingolipides) entraînant une mort cellulaire. Ce même métabolisme est également présent chez les plantes, jouant cette fois un rôle important dans les défenses immunitaires. Des mutants d'AgN23 incapables de produire des galbonolides ont été obtenus. De façon remarquable, **ces mutants étaient significativement affectés dans leurs activités anti-**

fongique et stimulatrice des défenses de la plante. Nous avons également pu montrer que **ces mutants étaient moins efficaces pour la colonisation de la rhizosphère**. Des analyses complémentaires nous ont permis de dresser un modèle expliquant l'activité biologique d'AgN23 (*Figure 1*) centré sur le rôle des galbonolides qui en activant les défenses de la racine entraînent la production de métabolites végétaux antimicrobiens qui favorisent en retour le développement d'AgN23, probablement par un effet de compétition (Nicolle et al., 2024).

Comportement d'AgN23 dans des conditions environnementales contrôlées en présence de divers types d'espèces végétales et microbiennes.

Un questionnement important concernant l'utilisation des souches microbiennes de biocontrôle est leur capacité à se développer et se maintenir dans la rhizosphère et leur impact potentiel sur le microbiome de la plante. Pour étudier cette question nous avons construits des souches d'AgN23 exprimant un marqueur fluorescent permettant de suivre facilement la souche. Nous avons ainsi pu **observer un développement préférentiel d'AgN23 dans la rhizosphère des plantes comparé au sol sans plantes**. Afin d'étudier l'impact d'AgN23 sur la rhizosphère, le microbiome racinaire a été analysé par une approche de « barcoding » après plusieurs semaines de culture en présence d'AgN23. **Aucune modification majeure de la structuration du microbiome en présence d'AgN23 n'a été mis en évidence suggérant l'absence d'impact d'AgN23**.

L'ensemble de nos travaux montrent que **l'utilisation d'approches globales (génomique, métabolomiques, métabarcoding...) associées à des expériences de génétique moléculaires permettent de décrypter le mode d'action des souches de biocontrôle** et ainsi d'améliorer et de contrôler leur utilisation. ➤



Du côté du transfert

Mieux comprendre les mécanismes à l'origine de l'activité des souches microbiennes est essentiel pour leur développement en tant que produits de protection des plantes. Répandre des souches microbiennes sélectionnées dans l'environnement nécessite tout d'abord d'identifier les mécanismes responsables de leur activité biologique (production de métabolites par exemple) qui peuvent servir d'indicateurs afin de monitorer la présence de ces souches dans l'environnement et les produits agricoles. Il est également nécessaire de vérifier l'impact de ces souches sur l'environnement microbien naturelle des plantes et les interactions avec d'autres microorganismes, bénéfiques notamment. Les données obtenues par le projet STREPTOCONTROL serviront donc au développement ultérieur de la souche AgN23, mais l'expertise et les connaissances que nous avons obtenues permettent de progresser plus rapidement sur le développement de nouvelles souches de Streptomyces.

Du côté de la recherche

Nos travaux ont montré pour la première fois le rôle de métabolites de Streptomyces sur les défenses immunitaires des plantes et en quoi cette activité était bénéfique pour le développement de ces bactéries dans la rhizosphère. De plus, favoriser la présence des streptomycètes augmente la résistance des plantes aux maladies du sol, à la fois par la stimulation des défenses mais aussi grâce aux activités antimicrobiennes produites par la bactérie. L'expertise que nous avons acquise sur ces organismes nous a amené à développer des travaux sur d'autres souches de streptomycètes.

Livrables, valorisation et transfert

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES, AVEC ET SANS ACTES

◆ Gayrard, D., Vergnes, S., Rey, T., Dumas, B. (2018) *Study of a Streptomyces sp. derived signals*

and their plant perception mechanisms Natural Products and Biocontrol September 25-28 Perpignan oral

◆ Gayrard D., Rey T. Dumas B (2019) *Colonisation of Arabidopsis leaves by a Streptomyces sp. results in a protection against fungal diseases relying on plant immunity* XVIII IS-MPMI Congress 14-18 July 2019 Glasgow, Scotland, UK

◆ Amiel A, Benamar A, Fournier S, Puech Pagès V, Dumas B, André O (2020) *Characterization of A. thaliana responses to plant defence elicitors using untargeted metabolomics* European RFMF ➤



Metabomeeting January 22-24 2020 Toulouse

◇ Alba N., Hortala M., Gayrard D., Rey T., Dumas B., Lautru S. *Study of the interactions between plants and a Streptomyces strain with plant defence-eliciting properties*. Journées Jean Chevaugéon Bactéries, Aussois 2020

◇ Nicolle C, Hortala M, Gayrard D, Amiel A, Belmas E, Noel A, Lautru S, Rey T, Dumas B. *Molecular basis of plant defense stimulation by the soil borne Streptomyces strain AgN23: characterization of a novel necrotic elicitor*. **Oral presentation delivered at the 13th International Conference of the French Society of Plant Biology**. Perpignan, France, September 2022.

◇ Nicolle C, Hortala M, Gayrard D, Amiel A, Belmas E, Noel A, Lautru S, Rey T, Dumas B. *Molecular basis of plant defense stimulation by the soil borne Streptomyces strain AgN23: characterization of a novel necrotic elicitor*. **Oral presentation delivered at the 13th International Conference of the French Society of Plant Biology**. Montpellier, France, August 2022.

◇ Nicolle C, Hortala M, Gayrard D, Amiel A, Belmas E, Noel A, Lautru S, Rey T, Dumas B. *Molecular basis of plant defense stimulation by the soil borne Streptomyces strain AgN23: characterization of a novel necrotic elicitor*. **Poster presentation delivered at the 9th John Innes/Rudjer Boskovic Summer School on "Microbial Specialized Metabolites: Ecology, Evolution and Applications"**, Dubrovnik, Croatia.

◇ Dumas B *Identification and characterization of new microbial strains for plant protection and nutrition: The BioPlantProducts project*. MicrobiOccitanie 4-6 Juillet 2022 **3e rencontre des laboratoires de microbiologie de la région Occitanie**.

◇ Nicolle C, Gayrard D, Amiel A, Noel A, Long M, Lautru S, Rey T, Dumas B. *Identification of a Streptomyces necrotic elicitor involved in antifungal activity, plant defense stimulation and bacteria fitness in the rhizosphere*. **Oral presentation to be delivered at 12th International Congress**

of Plant Pathology (ICPP) PlantBioRes Satellite Symposium. Lyon, France, August 2023.

◇ Nicolle C, Gayrard D, Amiel A, Noel A, Long M, Lautru S, Rey T, Dumas B. *Identification of a Streptomyces necrotic elicitor involved in antifungal activity, plant defense stimulation and bacteria fitness in the rhizosphere*. **Poster presentation to be delivered at 12th International Congress of Plant Pathology (ICPP)**. Lyon, France, August 2023.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

◇ Vergnes S. et al., (2020) *Phyllosphere colonization by a soil Streptomyces sp. promotes plant defense responses against fungal infection* **Mol Plant Microbe Interact** 33:223-234

◇ Gayrard D et al. (2023) *Genome sequence of a Streptomyces strain revealed expansion and acquisition of gene repertoires potentially involved in adaptation to the root rhizosphere*. **Phytofrontiers** 3:535-547

◇ Nicolle C. et al. (2024) *Root associated Streptomyces produce galbonolides to modulate plant immunity and promote rhizosphere colonisation* **bioRxiv** 2024.01.20.576418; <https://doi.org/10.1101/2024.01.20.576418> (soumis pour publication)

AUTRES VALORISATIONS

◇ Dumas B Protection des plantes à l'aide des Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP) Conférence sur invitation Journée Biocontrôle SNHF, ENSAT Toulouse, 12 mars 2019

◇ Dumas B Rencontre Exploreur Université de Toulouse – Quai des Savoirs dans le cadre du cycle « du laboratoire à l'entreprise. Présentation du Laboratoire Commun « BioPlantProducts » 9 mars 2021 |

ARPHY

GCPE – PAYSAGE

Accompagnement par la Recherche du réseau DEPHY – Prise en compte des pressions de bioagresseurs et du paysage dans les systèmes de grande culture et polyculture élevage

> Thèse d'Emeric Courson

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Benoit RICCI
INRAE
benoit.ricci@inrae.fr

Emeric Courson
INRAE
emeric.courson@inrae.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 140 000€
Montant de la subvention OFB : 100 000€
[Appel National Ecophyto \(2018\)](#)

PARTENAIRES

◇ INRAE, UMR agroécologie, Dijon

En bref Ce projet a été conduit au travers de la thèse d'Emeric Courson dont l'objectif était de rechercher si la pression régionale de bioagresseurs et le contexte paysager jouaient chacun un rôle déterminant dans la capacité des exploitations à réduire leur dépendance aux pesticides. En analysant les données du réseau DEPHY-Ferme (en grande culture et polyculture-élevage entre 2014 et 2019), nous avons montré que la présence de haies et de parcelles de petite taille dans le paysage sont des facteurs clés pour appuyer la réduction de l'usage des insecticides. Nous avons également confirmé qu'une forte pression régionale de bioagresseurs contribue directement à un niveau élevé d'usage d'insecticides.

Bioagresseurs

Paysage

Pesticides

Polyculture élevage

DEPHY-Ferme

Grande culture

BSV

EIPHYT



L'identification de systèmes de cultures qui permettent de **réduire la dépendance aux produits phytosanitaires tout en préservant les performances économiques** des exploitations est un enjeu central qui nécessite de comprendre les conditions de situations de production, de contextes paysagers et de pressions de bioagresseurs dans lesquels ces différents systèmes sont performants. On peut notamment faire l'hypothèse que les pressions locales en bioagresseurs dépendent non seulement des pressions régionales mais aussi de **l'environnement paysager plus ou moins favorable aux régulations biologiques** et à la dissémination des organismes bioagresseurs. Plusieurs études ont porté sur l'identification des déterminants paysagers des effectifs de bioagresseurs et/ou d'auxiliaires dans les parcelles agricoles, mais les tendances générales sont difficiles à dégager, la présence, l'intensité et le sens des effets étant très variables d'une étude à l'autre. Par ailleurs, les effets du paysage peuvent aussi dépendre de pratiques locales, **la prise en compte conjointe d'une description suffisamment fine des pratiques locales et du contexte paysager est donc essentielle.**

L'objectif du projet ARPHY-GCPE-Paysage était de comprendre, à partir des **données du réseau DEPHY-Ferme** (filiale grande-culture et polyculture élevage), la manière dont **la pression en bioagresseurs et le contexte paysager peuvent conditionner la capacité des systèmes de culture à réduire leur usage de pesticides.** Ce projet consistait en la thèse d'Emeric Courson, conduite à INRAE au sein de l'UMR Agroécologie de Dijon, dirigée par Sandrine Petit et co-encadrée par Benoit Ricci.

Cette thèse a été traitée en trois chapitres, chacun ayant les objectifs suivants (Figure 1) :

- **Chapitre 1** : décrire, sur une étendue nationale, comment la pression régionale de diffé-

rents ravageurs (pucerons, limaces, ravageurs spécialistes du colza) est déterminée par les conditions climatiques et paysagères régionales ;

- **Chapitre 2** : analyser comment le niveau d'utilisation des insecticides dans les systèmes de grande culture et polyculture élevage du réseau DEPHY-Ferme est dépendant du type de système de culture, du paysage environnant et de la pression régionale de ravageurs ;

- **Chapitre 3** : conduire la même analyse qu'au Chapitre 2 mais en focalisant sur le colza, une culture très consommatrice en insecticides, de manière à affiner la prise en compte des pratiques agricoles autres que les traitements phytosanitaires. ➤

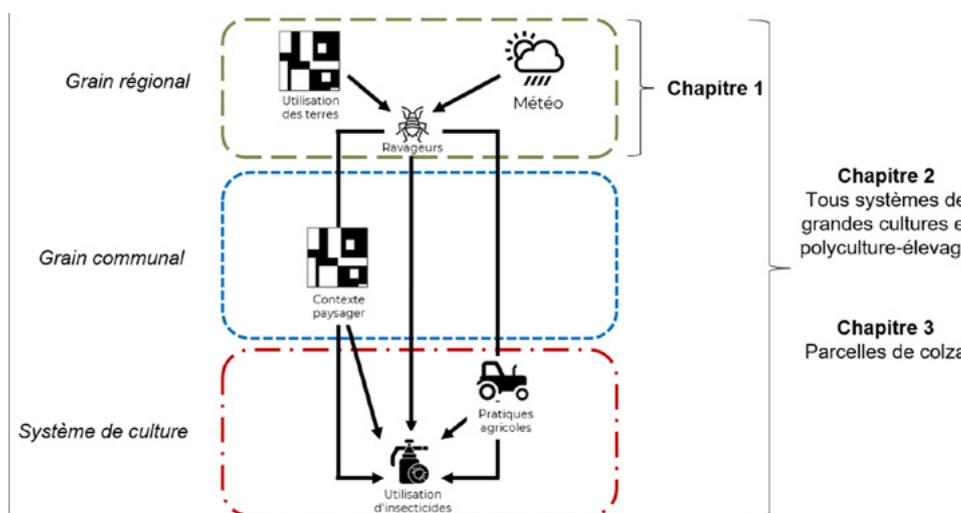


Figure 1 : Graphique conceptuel illustrant les relations étudiées et les échelles spatiales considérées dans chacune des trois parties de la thèse.



Le premier chapitre de la thèse visait à identifier les déterminants régionaux paysagers et environnementaux des pressions de bioagresseurs. Sur l'étendue du territoire français métropolitain, la **pression de plusieurs ravageurs (pucerons des céréales, ravageurs du colza et limaces) a été caractérisée dans 181 petites régions agricoles (PRAs), pour l'année 2018, en calculant pour chaque PRA la proportion d'occurrence de ces ravageurs à partir des données d'observations du réseau national d'épidémiologie EPIPHYT. Nous avons mis en évidence de fortes disparités inter-régionales et inter-ravageurs dans les proportions d'occurrence (Figure 2),** disparités qui s'expliquaient par des différences météorologiques entre régions mais aussi par les grandes caractéristiques agricoles et paysagères de chaque petite région agricole.

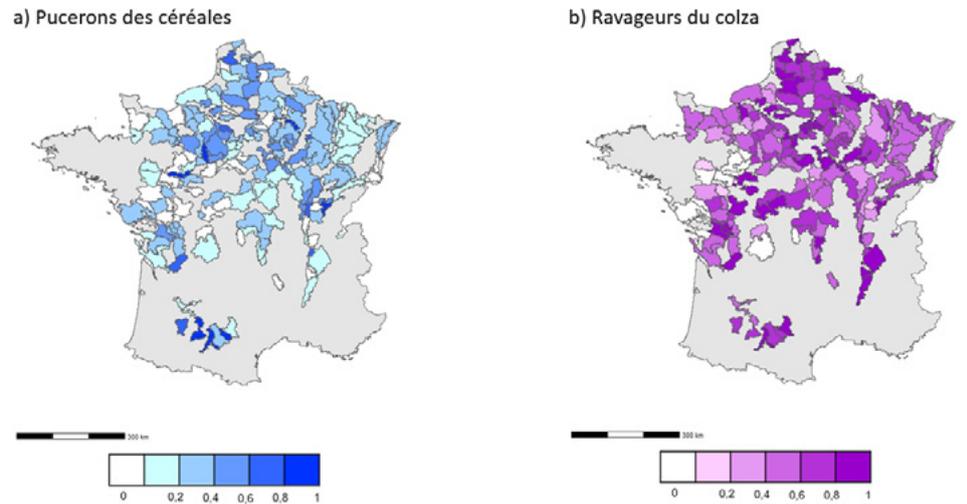


Figure 2. Carte des proportions d'occurrence 2018 pour a) les pucerons des céréales et b) les ravageurs du colza.

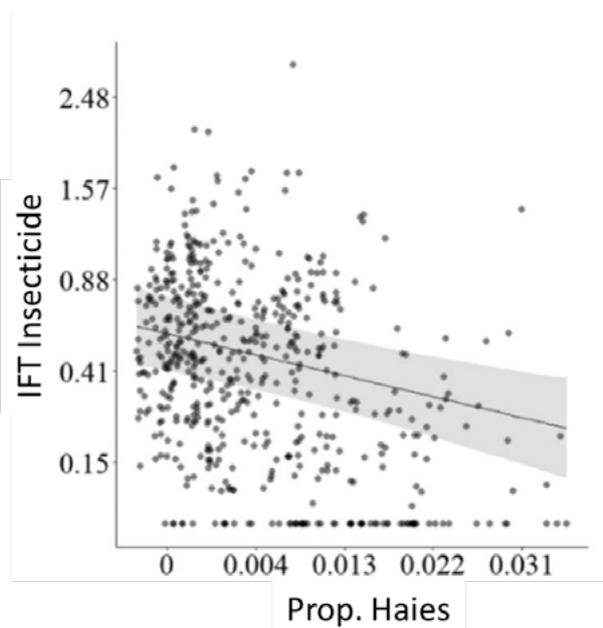


Figure 3. Effet de la proportion de haies dans le paysage sur le niveau d'usage d'insecticides.

Le second chapitre portait sur l'analyse des effets du contexte paysager et de la pression régionale de ravageurs sur l'utilisation d'insecticides. Au sein du réseau DEPHY-Ferme, 557 fermes ont été sélectionnés comme comparable en termes de type de systèmes de culture (blé d'hiver au moins une année sur trois, recours au labour, intensité moyenne de fertilisation), et leur niveau d'utilisation d'insecticides a été mis en regard des pressions régionales de ravageurs (données EPIPHYT) et du paysage environnant les fermes. Il est apparu que **le niveau d'usage d'insecticides était plus faible dans les paysages avec une forte proportion de haies (Figure 3).** Ce résultat était robuste car se maintenait lorsqu'on réduisait le jeu de données aux seules parcelles en blé ou aux seules parcelles en colza. **De manière plus limitée, le niveau d'usage d'insecticides était plus élevé en situations de forte pression régionale de bioagresseurs. ➤**



Le troisième chapitre se focalisait sur le colza, une culture très consommatrice en insecticides, de manière à affiner la prise en compte des pratiques agricoles autres que les traitements phytosanitaires. Dans cette analyse considérant 162 systèmes de cultures incluant du colza entre 2015 et 2020, **le niveau d'usage d'insecticides du colza était plus faible dans les systèmes de culture situés dans des paysages avec des parcelles de petite taille, beaucoup de haies mais peu de prairies**. Les systèmes de cultures sans labour avant le semis de céréales d'hiver suivant le colza, et/ou semant le colza tôt dans l'année utilisaient aussi moins d'insecticides dans le colza.

En bilan, cette thèse a permis de **confirmer l'existence de liens entre pression de bioagresseurs à large échelle, caractéristiques du paysage environnant les systèmes de culture et niveau d'usage d'insecticides dans ces systèmes de culture** :

◇ comme on s'y attend, **une forte pression régionale de bioagresseurs contribuait directement à un niveau élevé d'usage d'insecticides**, tous systèmes de culture confondus ; mais cette relation n'était pas retrouvée en considérant uniquement le colza ;

◇ **la présence de haies et de parcelles de petite taille dans le paysage** sont apparus

comme des facteurs clés pour appuyer la réduction de l'usage des insecticides ;

◇ en revanche, **les résultats concernant les prairies et les forêts étant plus contrastés** alors que ces éléments du paysage sont par ailleurs bien identifiés dans la littérature pour soutenir la biodiversité des milieux agricoles.

Comme pour toute étude statistique, ces résultats ne reposent que sur les données utilisées. Les analyses n'ont pas été conduites dans l'objectif de produire des modèles prédictifs mais l'intérêt de ce travail est d'avoir mobilisé de grands jeux de données permettant d'explorer une grande diversité de situations, gage de robustesse des relations identifiées.

Livrables, valorisation et transfert

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

◇ Courson, E., Petit, S., Poggi, S., Ricci, B., 2022. *Weather and landscape drivers of the regional level of pest occurrence in arable agriculture: A multi-pest analysis at the French national scale*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. [Lire](#)

◇ Courson E., Ricci B., Muneret L., Petit S. 2024. *Reducing pest pressure and insecticide use by* >





Du côté du transfert

PERSPECTIVES FUTURES

En termes de résultats, la thèse d'Eméric Courson a permis de confirmer l'existence de liens entre pression de bioagresseurs à large échelle, caractéristiques du paysage environnant les systèmes de culture et niveau d'usage d'insecticides dans ces systèmes de culture. Une des hypothèses sous-jacentes à ces résultats est la contribution des haies à la régulation biologique des bioagresseurs. Néanmoins, pour identifier des relations fortes entre habitats semi-naturels et régulations biologiques effectives dans les cultures, permettant de fournir des recommandations efficaces, il est nécessaire de prendre en compte plus finement la composition spécifique de ces habitats.

Du côté de la recherche

Ces questions rejoignent plus largement les questionnements actuels de la recherche sur la compréhension du rôle des infrastructures agroécologiques (haies, bandes fleuries, bandes enherbées) dans les régulations biologiques de bioagresseurs et sur le développement d'outils pour conseiller les agriculteurs pour l'implantation de ces infrastructures. Ces travaux requièrent des données plus fines que celles mobilisées dans cette thèse, à la fois sur les bioagresseurs et les ennemis naturels, et sur les assemblages d'espèces. Nécessairement, il sera plus difficile d'acquérir ces données sur des réseaux aussi larges que ceux utilisés ici et il s'agit donc d'approches complémentaires.

◆ *increasing hedgerows in the landscape.* Science of The Total Environment. [Lire](#)

AUTRES VALORISATIONS

◆ Courson, E. *Analyse multi-échelle des effets du contexte paysager et des pratiques agricoles sur la pression en ravageurs et sur l'utilisation d'insecticides en filière grande culture et polyculture élevage.* Thèse de doctorat soutenue le 28 mars 2023 à Dijon. [Lire le document intégral de la thèse.](#)

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES, AVEC ET SANS ACTES

◆ Benoit Ricci, Emeric Courson, Sandrine Petit (2022-11-14). *Influence du paysage et des abondances de bioagresseurs sur l'utilisation de*

produits phytosanitaires en grandes cultures. Presented at : Séminaire EMBA – Contrôle biologique par conservation, Avignon (FR), France (2022-11-14 - 2022-11-15), <https://hal.inrae.fr/hal-04008744>

◆ Emeric Courson, Benoit Ricci, Sandrine Petit (2021-10-11). *Contribution of landscape drivers to explain crop pest infestation levels at national scale.* Presented at : REP21 : Colloque Rencontres d'Ecologie des Paysages 2021, Rennes, France (2021-10-11 - 2021-10-13), <https://hal.inrae.fr/hal-03543752> |





Webinaire n°4 ●●●●

SÉLECTION ET RÉSISTANCE VARIÉTALE

synthèse



Le webinar # 4 : Sélection & Résistance variétale

Date : Jeudi 25 avril 2024 - 13h30 | [Voir le replay](#)

Au travers de ces projets nous aborderons la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires par la sélection et résistance variétale.

Avec l'exemple de la pomme de terre nous verrons que la sélection de cultivars qui agissent efficacement avec le microbiome du sol permet de diminuer l'apport d'intrants externes.

Avec l'exemple de la banane nous verrons comment la résistance variétale permet une résistance accrue face aux maladies. Certains de ces travaux sont menés à l'échelle européenne.

Animation Scientifique

Jean Guyot

Membre du CSO R&I

Ingénieur Agronome, spécialisé en phytopathologie, notamment de l'hévéa, Jean Guyot a réalisé presque toute sa carrière outremer (Afrique et DOM). Il réside à Montpellier depuis 3,5 ans après un séjour de 19 ans en Guyane, où il a rédigé sa thèse en phytopathologie avant de rejoindre le plan Ecophyto et les Réseaux d'Innovation et de Transfert Agricole, s'orientant progressivement vers une approche système de cultures destinée à limiter les intrants notamment phytosanitaires (il a porté deux projet Ecophyto en Guyane sur ananas et agrumes). Depuis juillet 2020, il est expert filière pour le réseau Dephy, filière cultures tropicales et ingénieur territorial Dephy légumes en Occitanie.



P R O G R A M M E

13h30 Accueil

13h35 Introduction du CSO R&I par Sébastien Lemière et Jean Guyot

13H45 Présentation 2 projets :

PotatoMETAbiome « Exploiter les interactions entre la pomme de terre et son microbiome pour développer des stratégies durables de sélection et de production »
par Eléonore Attard (Université de Pau)

DUREBAN « Assurer la Durabilité des Résistances à la cercosporiose noire de nouvelles variétés de Bananiers » par Frédéric Salmon (CIRAD)

14h35 Conclusion de la série de webinaire par Ludovic Bonnard et Pauline Souche Suchovski

Animation Scientifique

Sébastien Lemière

Membre du CSO R&I

Enseignant-Chercheur depuis 2004 à l'Université de Lille, au sein de l'équipe ER4 «Fonctionnement des écosystèmes terrestres anthropisés» du LGCgE (Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement). Ses travaux de recherches s'inscrivent dans le contexte des contaminations environnementales des sols (sites et sols pollués, activités agricoles...) et s'intéressent aux effets et à la biodisponibilité des polluants (éléments métalliques, phytosanitaires) pour les organismes exposés (invertébrés du sol principalement), en privilégiant des expositions réalistes.

Le choix de variétés « résistantes » est un moyen privilégié pour se prémunir contre les maladies et les agressions parasitaires sur les cultures. Vers quelles stratégies d'amélioration variétale s'orienter pour réduire le recours aux produits phytosanitaires sur le long terme ? Telle est la question abordée par ce webinaire au travers de deux projets traitant de stratégies durables de sélection, l'un chez la pomme de terre, l'autre chez la banane antillaise.





Levier préventif, la résistance génétique des variétés représente un pilier majeur de la protection intégrée des cultures. Le choix variétal est de fait le premier moyen de lutte pour maîtriser la nuisibilité des principales maladies. Toutefois, il est indispensable de s'assurer de la fiabilité de ce choix dans le temps, car les populations de bioagresseurs ont des capacités d'évolution génétique qui leur permettent parfois de contourner les résistances variétales. Ainsi, pour pouvoir sélectionner et développer de nouvelles variétés possédant des caractères

de résistance aux maladies sur le long terme, les stratégies d'amélioration variétale doivent prendre en considération un certain nombre de facteurs. La compréhension des mécanismes de résistance en fait partie comme l'illustre le projet [PotatoMETAbiome](#) qui cherche à identifier les cultivars de pomme de terre qui interagissent efficacement avec le microbiome, facteur clé de la santé de la plante. L'intégration d'une gestion des risques d'adaptation du pathogène est également essentielle. Le projet [DUREBAN](#) a permis ainsi de proposer des stratégies de déploiement de nouvelles variétés de

bananes pour une gestion durable de la cercosporiose noire, maladie fongique impactant fortement la filière antillaise d'exportation de bananes qui repose actuellement sur la culture d'une seule variété, la Cavendish.

Ces stratégies intègrent 3 phases majeures : l'identification des cultivars les plus résistants parmi la diversité existante, la sélection de nouveaux cultivars en prenant en compte la durabilité des résistances, et enfin le déploiement des nouvelles variétés dans les zones de culture.

Quelques Définitions

La **résistance variétale** se définit par la capacité d'une variété de plantes à limiter ou stopper la croissance et le développement d'un microorganisme nuisible déterminé et/ou la maladie qu'il cause. Cette caractéristique est due à l'activation de gènes de résistance propres à chaque variété.

La **sélection végétale**, aussi appelée amélioration variétale, consiste à développer de nouveaux cultivars ou variétés végétales à partir de la diversité existante, en croisant entre elles les plantes choisies pour leurs qualités respectives.



Identifier les cultivars existants les plus résistants aux maladies

Tout programme d'amélioration variétale débute par un inventaire des variétés existantes et de la connaissance de leurs caractéristiques. Dans le cadre de la lutte contre un pathogène donné, il s'agit de se baser sur l'exploitation de la variabilité génétique naturelle des plantes cultivées, et d'observer le plus ou moins bon comportement du matériel végétal en conditions de contamination.

Dans le cadre du projet [DUREBAN](#), dont l'objectif était de proposer à la filière antillaise bananière des solutions variétales pour réduire sa dépendance aux fongicides, des études ont été menées sur 62 variétés de bananiers en conditions contrôlées. Elles ont permis d'identifier des géniteurs d'intérêt, porteurs de résistances diverses à la cercosporiose noire, et de

paramétrer un modèle épidémiologique de simulation du développement de la cercosporiose noire à l'échelle des bananiers. « *Ces études ont ainsi permis de mieux orienter le programme d'amélioration variétale du bananier vers des stratégies de croisements basées sur la complémentarité des résistances les plus efficaces, et d'imaginer par conséquent des systèmes plus difficiles à contourner pour*

le champignon. » explique Frédéric Salmon, chercheur au CIRAD et porteur du projet DUREBAN.

Pour identifier les résistances les plus intéressantes à notre disposition, il peut être aussi très pertinent, voire fondamental, d'identifier les mécanismes de résistance des plantes face aux agents pathogènes. Le projet [PotatoMETA-](#)





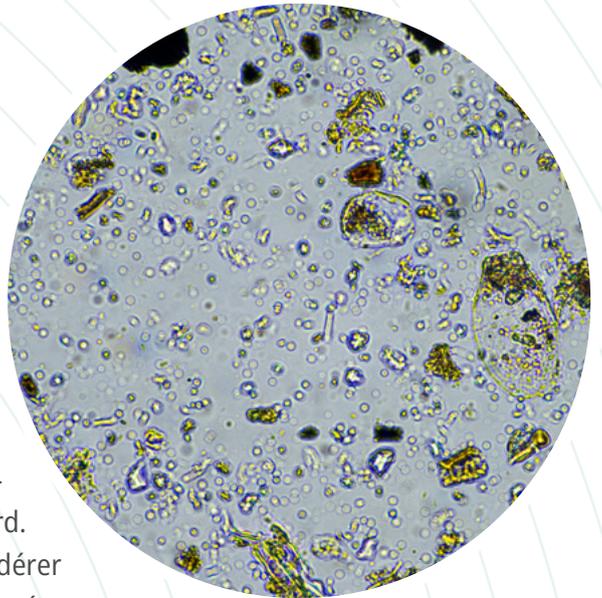
biome sur lequel ont collaboré 6 partenaires de 4 pays européens est parti du constat que les variétés conventionnelles de pomme de terre ont été sélectionnées pour être cultivées seules avec des apports élevés en intrants chimiques, sans prendre en compte les caractères pouvant améliorer la mobilisation de micro-organismes du sol bénéfiques pour la protection des plantes. Ainsi, « *de nombreuses variétés commercialisées ont un réseau racinaire relativement limité, ce qui impacte leur capacité à recruter des micro-organismes bénéfiques* » indique Eléonore Attard, ingénieure de recherche à l'Université de Pau « *Pourtant il est admis dans la littérature que les micro-organismes participent à l'amélioration de la santé et de la croissance des plantes.* » souligne-t-elle. En effet, le microbiome de la plante, constitué par la communauté des micro-organismes bactériens et fongiques associés, est capable de lui apporter des bénéfices en stimulant notamment ses défenses. Les communautés microbiennes peuvent aussi occuper l'espace vacant pour ne pas laisser de

place à des souches pathogènes. « *Le microbiome de la plante peut être considéré comme son second génome.* » affirme Eléonore Attard. Il s'agit donc de considérer la plante comme un « *métabolisme* » avec un répertoire génétique étendu aux micro-organismes du sol qui interagissent avec elle ; on parle de « *phénotype étendu* ». L'objectif général du projet était ainsi de comprendre comment la prise en compte du microbiome de la pomme de terre pouvait

” **Le microbiome de la plante peut être considéré comme son second génome.** ”

Eléonore Attard
Université de Pau

améliorer les stratégies de sélection, afin de générer des cultivars moins dépendants des intrants externes. Le pro-



jet a particulièrement ciblé les communautés bactériennes et fongiques de la rhizosphère (micro-organismes en contact direct avec les racines de la plante) et de l'endosphère (directement à l'intérieur des tissus de la plante). Les expériences ont montré que les 6 cultivars sélectionnés pour leur capacité à interagir avec le microbiome ont de meilleures performances végétales que le cultivar commercial de référence Désirée. Un autre résultat intéressant est qu'une inoculation réussie d'un champignon bénéfique dans une plante peut avoir l'avantage de perdurer sur plusieurs générations.

La sélection assistée par marqueur pour accélérer le progrès génétique

Jusqu'à une période relativement récente, la sélection variétale ne faisait appel qu'aux outils de la sélection « phénotypique » avec croisement, autofécondation et expérimentation au champ. Depuis les années 80, les progrès biotechnologiques ont révolutionné cette sélection qui peut désormais se baser directement sur la connaissance de l'information génétique des différentes variétés, en plus de l'évaluation de leurs propriétés au champ.

La **sélection assistée par marqueurs** est basée sur l'utilisation de marqueurs moléculaires, fragments d'ADN que l'on sait distinguer et qui sont intimement associés à un gène d'intérêt (résistance à une maladie, par exemple). La zone concernée du génome est alors appelée QTL (quantitative trait locus). Un simple suivi des marqueurs permet de repérer la présence ou l'absence du gène d'intérêt recherché dans les plants en cours de sélection. Cette technique permet ainsi de sélectionner précocement les plantes porteuses des gènes d'intérêt (avant même que le caractère considéré soit exprimé) et donc d'augmenter l'efficacité et la rapidité de la sélection.

Proposer de nouveaux cultivars résistants sur le long terme

Après avoir repéré les cultivars géniteurs potentiels, l'enjeu du processus de sélection est d'optimiser l'expression du potentiel variétal.

Il s'agit tout d'abord de s'assurer de la bonne transmission des caractères de résistance des géniteurs à leurs descendance. Pour ce faire, le projet DUREBAN s'est basé sur l'analyse d'un jeu de données acquises pendant 10 ans. L'analyse génétique de ces données a permis de conclure à la transmission attendue des caractères de résistance dans les descendance. D'autre part, une étude réalisée en condition contrôlée a permis de mettre en évidence des régions du génome qui contrôlent la résistance chez certaines variétés. « *L'identification*



des premiers QTLs ouvre la voie à l'application de méthodes de sélection assistée par marqueurs. » explique Frédéric Salmon. « Grâce au développement de ces marqueurs moléculaires, il sera désormais possible d'identifier précocement les variétés hybrides porteuses de ces résistances et ainsi d'accélérer le processus de sélection. » ajoute-t-il.

A cause des capacités d'adaptation de la population pathogène, il est nécessaire d'évaluer la durabilité des résistances introduites dans les nouvelles variétés. Dans le cadre du projet DUREBAN, ce suivi s'est déroulé sur plusieurs années sur 7 variétés plantées dans différents contextes au champ. Aucune aug-

mentation significative du niveau de maladie n'est à déplorer. « Enfin DUREBAN nous a permis d'identifier plusieurs composantes des résistances partielles portées par ces nouvelles variétés. » explique Frédérique Salmon. Ainsi, un ralentissement de la durée du cycle du champignon et un affaiblissement de la densité de sporulation sont observés chez les hybrides par rapport à la variété sensible Cavendish. Ces résultats permettent de considérer que les résistances sélectionnées sont stables jusqu'à présent.



2 Types de résistances

La résistance totale ou spécifique ou monogénique

Cette résistance est liée à un seul gène. Elle cible un agent pathogène spécifique, entraîne une réponse forte de la plante pour le neutraliser et provoque la disparition totale de la maladie. Cependant elle est peu durable dans le temps car les agents pathogènes évoluent rapidement pour la contourner en quelques années.

La résistance partielle ou quantitative ou polygénique

Cette résistance est liée à plusieurs gènes. Elle a un spectre d'action plus large, ciblant plusieurs types d'agents pathogènes et confère une résistance beaucoup plus durable dans le temps. Elle n'apporte pas une protection totale contre le bioagresseur, mais ralentit fortement la progression de celui-ci. Le pathogène apparaîtra ainsi nettement moins virulent que sur une variété sensible.



Déployer la culture des nouvelles variétés

Le potentiel génétique n'est cependant pas un rempart suffisant pour faire obstacle aux pathogènes. Une fois les nouvelles variétés sélectionnées, il s'agit d'une part de continuer à surveiller l'évolution potentielle du pathogène dont les capacités d'adaptation sont notoires, et d'autre part d'adopter les pratiques culturelles adéquates pour optimiser les résistances.

Le projet PotatoMETAbiome a montré ainsi qu'une conduite biologique de la santé des cultures augmentait les interactions entre le microbiome de la rhizosphère par rapport à une gestion chimique, renforçant ainsi les défenses naturelles des plantes. En outre, la diversification végétale est un levier important pour contribuer à la régulation naturelle des bioagresseurs. Augmenter la diversité intra-spécifique de la culture en utilisant plusieurs variétés dans une même parcelle fait partie de cette stratégie. Afin d'élaborer des stratégies de déploiement des hybrides résistants, le projet DUREBAN a développé un modèle de simulation spatialisé adapté à la cercosporiose noire du bananier tenant compte des caractéristiques géographiques et des pratiques agricoles. Il en est ressorti que la sévérité de la maladie est moins importante quand on simulait un mélange variétal intra-parcellaire plutôt qu'une mosaïque de parcelles monovariétales.

” **Il est maintenant nécessaire de travailler à des étapes de mise au point des itinéraires techniques.**”

Frédéric Salmon
CIRAD

Un autre facteur essentiel à prendre en compte pour garantir le succès du déploiement de nouvelles variétés est le niveau d'acceptabilité du changement par les producteurs, les industriels, les distributeurs et les consommateurs. Ainsi dans le cadre du projet DUREBAN, un verrou lié à la qualité des fruits a été identifié : les nouvelles variétés ne rentrent pas dans les standards de commercialisation. « *Il est maintenant nécessaire de travailler à des étapes de mise au point des itinéraires techniques au champ et post récolte pour essayer de minimiser les défauts des variétés*

hybrides » affirme Frédéric Salmon. « Les bananes hybrides sont plus grandes que les Cavendish et demandent donc une gestion au champ différente et donc un besoin d'adaptation des producteurs et du management des parcelles » explique-t-il. « *Le passage en mélange doit être réfléchi : on peut par exemple proposer de cultiver des triples rangs dédiés à telle variété hybride, en alternance avec d'autres triples rangs dédiés à*

une variété sensible ou une autre variété résistante, ce qui permet de simplifier la gestion pour le producteur. » ajoute-t-il. Ces obstacles techniques pourront être surmontés grâce à une collaboration étroite entre agriculteurs, chercheurs, industriels et acteurs publics.



À voir aussi

[Appel à projets Ecophyto Recherche et innovation "Pour et sur l'engagement des parties prenantes dans les filières et les territoires pour appuyer et valoriser la réduction de l'usage et des impacts des produits phytosanitaires"](#)

P O T A T O M E T A B I O M E

Harnessing the potato-microbiome interactions for development of sustainable breeding and production strategies

> Projet de recherche et développement

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Éléonore Attard

Université de Pau
eleonore.attard@univ-pau.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 1 730 00 €

Montant de la subvention OFB : 101 510 €

[Appel EraNet Suscrop](#)

PARTENAIRES

- ◇ Helmholtz Zentrum München (Germany),
- ◇ University of Limerick-Biological Sciences (Ireland),
- ◇ Université de Pau et des Pays de l'Adour (France),
- ◇ Warsaw University of Life Sciences (Poland),
- ◇ Polish Academy of Sciences-Institute of Agrophysics (Poland),
- ◇ Max Planck Institute of Molecular Plant Physiology (Germany)

En bref

Les stratégies de sélection variétales actuelles reposent souvent sur des apports élevés en intrants où les plantes sont considérées comme les seuls acteurs, sans tenir compte des propriétés leur permettant de recruter dans le sol des microorganismes bénéfiques. Le concept de ce projet est que les plantes interagissent naturellement avec ces microbes bénéfiques, les rendant moins dépendantes des intrants synthétiques. Par exemple, les variétés de plantes avec une biomasse racinaire et une exsudation de carbone accrues devraient être capables de recruter plus efficacement le microbiote bénéfique du sol que les variétés conventionnelles, sélectionnées pour travailler seules et avec une forte disponibilité en nutriments. PotatoMETAbiome vise donc à identifier des cultivars de pomme de terre qui interagissent efficacement avec le microbiome du sol, générant ainsi des cultivars moins dépendants des intrants externes tout en maintenant un rendement élevé, aussi bien dans des conditions de non-stress que de stress biotiques et abiotiques. <https://www.potatometabiome.eu/>

Holobionte

Endosphère

Potato variety

Microbe plant interactions

Rhizosphère



Les pratiques agricoles durables visent à réduire l'empreinte environnementale de l'agriculture en réduisant l'utilisation d'intrants chimiques et en stimulant le recours à des pratiques biologiques. Le succès de cette transition repose en partie sur l'utilisation de plantes capables d'exploiter les fonctions bénéfiques des microbiomes du sol. Cependant, les processus de sélection actuels ne sélectionnent pas de cultivars de plantes pour leurs interactions optimales avec les microbes du sol. A l'inverse les programmes de sélection variétale sont conduits en présence de forts apports d'engrais et pesticides rendant superflus les services écosystémiques rendus par les microorganismes du sol.

Le concept du projet PotatoMETabiome repose sur le principe selon lequel les plantes interagissent naturellement avec les microbes bénéfiques du sol, les rendant moins dépendantes des intrants synthétiques.

Nous avons choisi de travailler sur la pomme de terre en tant que modèle de culture non céréalière ayant la plus grande production mondiale. L'objectif principal du projet est donc de comprendre comment la prise en compte du microbiome de la pomme de terre peut améliorer les stratégies de sélection végétale. Dans ce projet impliquant de nombreux partenaires européens, nous avons particulièrement ciblé les communautés bactériennes et fongiques de la rhizosphère et de l'endosphère. Dans la rhizosphère, les microorganismes peuvent être directement influencés par les exsudats racinaires et ainsi recrutés par la plante. Pour les microorganismes de l'endosphère, dits endophytes, ils ont été retrouvés dans chaque tissu de plante hôte étudié, où ils peuvent assurer plusieurs fonctions, depuis la protection contre des ravageurs et agents pathogènes, jusqu'à la modulation des phytohormones et la tolérance

au stress. Ainsi, en raison de leur localisation à l'intérieur des plantes, moins soumis aux changements environnementaux, les endophytes peuvent représenter des sources potentielles de biofertilisants et de biopesticides pouvant en plus être transmis au fil des générations.

Nous avons mené des essais sur le terrain pour déterminer comment 7 cultivars de pommes de terre interagissaient avec les microorganismes selon 2 gestions agricoles différentes, l'une avec application d'engrais et de pesticides et l'autre avec des traitements biologiques impliquant l'introduction de souches microbiennes. Grâce à des essais en serre, nous avons évalué quel était l'impact des conditions de croissance sur les changements de diversité microbienne. Pour cela, nous avons étudié le microbiome endosphérique de 11 cultivars ayant poussé dans 2 sols différents et in vitro (milieu gélosé, sans sol). ➤





La gestion biologique, plutôt que la gestion chimique, favorise l'interaction entre les plantes et leur microbiome.

Parmi plusieurs centaines de cultivars disponibles dans la banque de l'institut Bonin en Pologne, nous en avons sélectionné 6 pour les caractéristiques des racines, la qualité et la quantité de l'exsudation des racines et la diversité de la rhizosphère bactérienne et fongique. En guise de référence nous avons inclus le cultivar commercial nommé Désirée.

Pour cette expérience au champ, le traitement biologique consistait en l'**application d'un mélange de bactéries favorisant la croissance des plantes** (*Bacillus amyloliquefaciens* et *Bacillus pumilus*) et de protozoaires (*Cercomonas lenta* et *Rosculus terrestris*). Le traitement chimique consistait en l'**apport de fertilisants, de fongicides et herbicides**, principalement propamocarb (625 g/l) et pro-sulfocarb (800 g/l). Nous avons ensuite **mesuré différents paramètres liés à la croissance de la plante et à la diversité des communautés microbiennes** grâce à un séquençage Miseq des amplicons 6S et ITS. Nous avons **créé des modèles de co-occurrence pour afficher les interactions entre les bactéries et les champignons** selon les différentes pratiques de gestion. Pour explorer les interactions entre les microbiomes des plantes et de la rhizosphère, une modélisation par équation structurelle par morceaux a été utilisée. Nous avons tout d'abord pu démontrer que **la plupart des cultivars sélectionnés pour leur capacité à interagir avec le microbiome ont de meilleures performances végétales que**

le cultivar commercial Désirée. Deuxièmement, nous avons révélé que **les 2 traitements biologique ou chimique régulaient fortement le microbiome de la rhizosphère**. Plus précisément, la gestion biologique a augmenté les interactions entre le microbiome de la rhizosphère par rapport à la gestion chimique. La gestion chimique a, quant à elle, éliminé l'effet du microbiome de la rhizosphère sur le développement des plantes, découplant ainsi les microbiomes de la rhizosphère de la croissance des plantes.

” **La gestion chimique a, quant à elle, éliminé l'effet du microbiome de la rhizosphère sur le développement des plantes**”

Éléonore Attard
Université de Pau

Impact des conditions de croissance et des cultivars de pomme de terre sur la diversité des endophytes microbiens

Pour cette partie du projet nous avons étudié 11 cultivars dont Désirée et les 6 cultivars plantés dans l'expérience précédente. Ici, les expériences ont été réalisées en serre afin de pouvoir **comparer le microbiome endophytique de plantes cultivées dans les mêmes conditions mais dans deux sols**

différents A et B. Nous avons également inclus, l'analyse de plantules ayant poussé exclusivement *in vitro* c'est à dire, en milieu gélosé et donc sans l'impact de microorganismes du sol. Nous avons ensuite séquencé les amplicons 16S et ITS dans les plantes âgées de 5 semaines.

Notre étude a révélé que la **diversité des bactéries endophytes était significativement influencée par le type de sol A ou B**. Cependant même si le type de sol a un effet plus fort sur le microbiome des racines de pomme de terre, la **comparaison entre cultivars suggère une sélection végétale**, et particu-



lièrement pour les champignons endophytes. Ces différents patterns entre bactéries et ➤ champignons endophytes peuvent être liés à la meilleure capacité des champignons à sporuler qui peut leur permettre de se maintenir dans la plante quels que soient les changements dus aux stades de développement de la plante. En outre, si les champignons se transmettent mieux d'une génération à l'autre, il sera moins facile pour d'autres champignons présents dans le sol de s'installer dans la plante, augmentant ainsi l'effet cultivar. Pour les bactéries

en revanche, le recrutement dans le sol semble plus important. En termes de stratégies de sélection ou de biocontrôle, cela implique d'une part qu'une **inoculation réussie d'un champignon bénéfique dans une plante pourrait avoir l'avantage de durer sur plusieurs générations** et d'autre part que **les agents de biocontrôle bactériens devraient être fournis de préférence aux premiers stades de la plante, lorsque les bactéries sont recrutées dans les sols.** ➤

Du côté du transfert

En termes de stratégies de sélection ou de biocontrôle, nos résultats suggéreraient i) qu'une inoculation réussie d'un champignon bénéfique dans une plante pourrait avoir l'avantage de durer sur plusieurs générations et ii) que les agents de biocontrôle bactériens devraient être fournis de préférence aux premiers stades de la plante, lorsque les bactéries sont recrutées dans les sols.

Par ailleurs, nous avons montré que des cultivars actuellement peu/pas commercialisés pouvaient présenter de meilleures performances qu'un cultivar commercial grâce à leur capacité à interagir efficacement avec le microbiome. Afin de trouver de nouvelles variétés plus performantes dans un contexte de changement climatique, il pourrait donc être pertinent de reconsidérer ces cultivars afin de les étudier, avec leur microbiome, dans des conditions de stress notamment hydrique.

Du côté de la recherche

Au fil du projet, nous avons étudié principalement de jeunes plantes mais une 3e partie en cours d'analyse a concerné le cycle complet d'une culture de pomme de terre. Nous espérons donc prochainement pouvoir répondre à plusieurs questions sur notamment la dynamique des communautés microbiennes : les bactéries recrutées aux stades précoces se maintiennent-elles au cours de la culture et dans quelle mesure sont-elles transférées aux tubercules ?

Enfin, en comparant la diversité microbienne dans le sol avec la rhizosphère et l'endosphère et grâce à des outils statistiques adaptés nous pourrions quantifier la part de bactéries recrutées par la plante depuis les communautés présentes dans le sol.



Livrables, valorisation et transfert

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES, AVEC ET SANS ACTES

3 Posters

- ◇ 18th International Symposium on Microbial Ecology 14-19 August 2022, Lausanne, Switzerland
- ◇ XVI IOBC-WPRS meeting on biocontrol 6-9 June 2023 in Wageningen, The Netherlands Congress
- ◇ 11e congrès de l'Association Francophone d'Écologie Microbienne du 17 au 20 octobre 2023 à Carqueiranne

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- ◇ Tianci Zhao, Xiu Jia, Xipeng Liu, Jyotsna Nepal, Eléonore Attard, Rémy Guyoneaud, Krzysztof Treder, Anna Pawłowska, Dorota Michałowska, Gabriele Berg, Franz Stocker, Tomislav Cernava, J. Theo M. Elzenga, Joana Falcão Salles *Biological management, rather than chemical 1 management, promotes the interaction between plants and their microbiome* doi: <https://doi.org/10.1101/2024.02.12.579901>
- ◇ Jyotsna Nepal, Rémy Guyoneaud, Tianci Zhao, Stefanie Vink, Xiu Jia, Krzysztof Treder, Dorota Michałowska, Benoit Renaud Martins, Michael Schloter, Viviane Radl, Joana Falcao Salles, Eléonore Attard. *Impact of growth substrate and potato cultivars on the diversity of microbial endophytic communities* -To be submitted in 2 weeks. |



DURÉBAN

Assurer la Durabilité des Résistances à la cercosporiose noire de nouvelles variétés de Bananiers

> Projet de recherche et développement

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Frédéric Salmon

CIRAD

frederic.salmon@cirad.fr

FINANCEMENTS

Coût total du projet : 492 899 €

Montant de la subvention OFB : 117 845 €

[Appel à Projet MAA - CASDAR Semences et Sélection Végétale - 2018](#)

PARTENAIRES

- ◇ CIRAD
- ◇ IT2 : Institut Technique Tropical

En bref

La filière antillaise de bananes doit faire face à la gestion de la cercosporiose noire, maladie foliaire à fort impact sur la production. Le déploiement de variétés résistantes permettrait de s'affranchir de l'usage de fongicides. Cependant, le champignon causal a des capacités d'adaptation importantes lui permettant de contourner la résistance variétale. Dans ce contexte, le projet DuRéBan a permis d'identifier des sources de résistances intéressantes, d'analyser leur transmission par croisement, de tester leur durabilité au champ, et de proposer des stratégies de déploiement des nouvelles variétés pour une gestion durable de la maladie.

Banane dessert

Amélioration génétique

Durabilité des résistances

Pseudocercospora fijiensis

Stratégies de déploiement



Dominée par la monoculture monovariétale de la Cavendish, la filière antillaise de bananes dessert export a drastiquement réduit ces 15 dernières années la quantité de produits phytosanitaires utilisés grâce à la mise en œuvre de pratiques agroécologiques. La filière reste cependant très fragilisée par la généralisation à l'ensemble des zones de production de la cercosporiose noire (ou maladie des raies noires) causée par le champignon *Pseudocercospora fijiensis*, avec des conséquences très lourdes en termes de productivité (baisse du rendement, fragilité des fruits) et de coûts de production (mobilisation de main d'œuvre, usage de fongicides). Face aux risques liés à l'usage de fongicides, comme le développement de résistances chez le pathogène ou l'impact sur l'environnement et la santé, le projet DuRéBan propose une approche alternative innovante basée sur la sélection et le déploiement de variétés résistantes à la maladie obtenues par croisement entre géniteurs porteurs de résistances complémentaires.

L'objectif finalisé de DuRéBan était d'aider à l'intégration de ces variétés dans les plantations pour une gestion durable de la maladie, permettant à terme de s'affranchir de l'emploi de fongicides.

Pour cela, les objectifs principaux de DuRéBan ont été d'apporter des éléments de réponses aux 4 questions liées à la gestion de la durabilité des résistances à la cercosporiose noire :

◇ Quelles sont les **résistances disponibles** chez les géniteurs et quelles sont les plus intéressantes ?

◇ Comment faciliter le **transfert des résistances** des géniteurs à leurs descendances ?

◇ Quelle est la **durabilité des résistances** ?

◇ Comment **déployer les nouvelles variétés** dans un bassin de production ?

Le projet aborde ainsi plusieurs verrous scientifiques, notamment la compréhension des mécanismes de résistance des bananiers, la sélection de variétés pour une résistance durable, la gestion des risques d'adaptation du champignon et l'efficacité de différentes stratégies d'utilisation de variétés résistantes. >



*Feuille de bananier Cavendish attaquée par *P. fijiensis**



DuRéBan a permis d'**identifier avec succès des géniteurs d'intérêt porteurs de résistances différentes à la cercosporiose noire**, en exploitant la variabilité génétique naturelle. Cela a permis de **paramétrer un modèle épidémiologique de simulation du développement de la cercosporiose noire** à l'échelle de bananiers et d'identifier les résistances les plus efficaces. Ainsi, le **programme d'amélioration variétale du bananier peut maintenant être mieux orienté vers des stratégies de croisements** basées sur la complémentarité des résistances les plus efficaces, ce qui devrait être plus difficilement contourné par le champignon.

DuRéBan a apporté des **éléments de réponses sur la transmission de ces résistances dans les descendance avec une héritabilité calculée relativement élevée**, significative d'une forte probabilité pour que

ce caractère de résistance soit transmis à une descendance. La mise en évidence des régions du génome contrôlant la résistance chez certaines variétés, permettra d'**appliquer des méthodes de sélection assistée par marqueurs et d'identifier précocement les variétés hybrides porteuses de ces résistances**.

Une érosion de la résistance de certains génotypes suite à une adaptation des populations pathogènes a été mis en évidence. Le support de cette adaptation est polygénique. La durabilité des résistances introduites dans les nouvelles variétés a ainsi été évalué dans DuRéBan. Une augmentation du niveau de maladie aux champs sur ces variétés n'a pas été observé

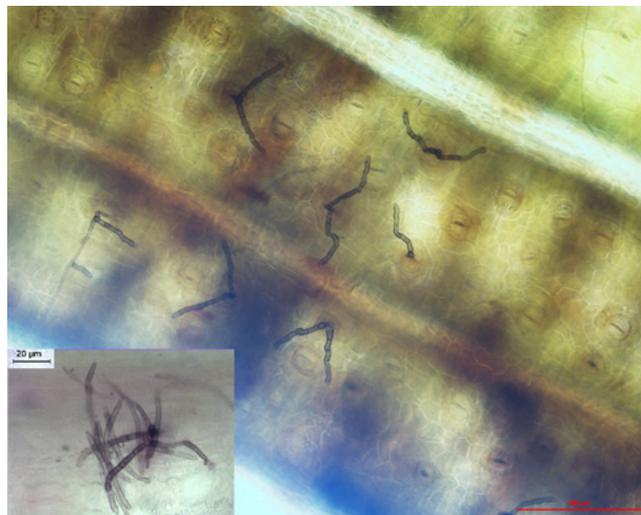
pendant plusieurs années. Ainsi les **résistances sélectionnées apparaissent stables à ce jour**.

Enfin, l'élaboration et l'évaluation de stratégies de déploiement des hybrides résistants a constitué une autre avancée majeure de DuRéBan. En effet, l'approche expérimentale n'étant pas possible, ce projet a permis de développer un premier modèle informatique de simulation spatialisé et adaptée à la cercosporiose noire des bananiers pour **proposer des premières réflexions aux producteurs quant au choix des stratégies spatiales de déploiement des**

nouvelles variétés pour maximiser leur efficacité.

L'originalité de DuRéBan réside principalement dans l'utilisation de la résistance génétique pour combattre la cercosporiose noire dans ce contexte où les systèmes de production de bananes destinées à l'export reposent exclusive-

ment sur **l'utilisation d'une seule variété de bananier, la Cavendish, variété sensible à la cercosporiose noire dont la lutte est basée sur des mesures prophylactiques** pratiquées par les producteurs basés sur l'effeuillage hebdomadaire des parties nécrosées et l'utilisation de fongicides. Ce projet permet d'anticiper le déploiement de nouvelles variétés résistantes dans les Antilles Françaises pour proposer des solutions de réduction des usages des produits phytosanitaires dans les bananeraies. Toutefois, les résultats doivent être considérés à la lumière de certaines limites, notamment **la nécessité de continuer à surveiller l'évolution du pathogène dont les capacités** ➤



Conidiophores et conidies de P. fijiensis sortant de stomates



d'adaptation sont notoires.

DuRéBan représente une avancée significative vers la réalisation des objectifs d'Ecophyto, en **démontrant le potentiel de l'amélioration génétique et de la gestion des résistances à la cercosporiose noire dans la culture du bananier aux Antilles**. Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour la recherche de solutions durables pour une transition agro-écologique de la production de bananes.

Livrables, valorisation et transfert

JOURNÉES TECHNIQUES ET COLLOQUES SCIENTIFIQUES :

◇ Dumartinet T., Ravel S., Bonnot F., Roussel V., Lubin N., Chilin-Charles Y., Trouspance Y., Aguayo J., Abadie C., Carlier J. 2019. *Epidemiologie et surveillance in the French West Indies of genotypes involved in the adaptation to varietal resistances* ➤

DURÉBAN - PERSPECTIVES FUTURES

Du côté du transfert

Les nouvelles variétés testées dans ce projet confirment leurs très bonnes performances en termes de résistance à la cercosporiose noire. Leur culture ne nécessite pas de fongicides au champ.

Cependant, malgré leur résistance, le déploiement de ces variétés résistantes est freiné par des verrous liés à la qualité des fruits qui ne rentre pas dans les standards de commercialisation des bananes dessert destinées au marché export. L'adoption par les agriculteurs et l'adaptation des pratiques culturales doivent être surmontés avec une collaboration continue entre chercheurs, industriels et acteurs publics.

Du côté de la recherche

DuRéBan offre des perspectives de recherche explorant les mécanismes de résistance des bananiers à la cercosporiose noire, identifiant des géniteurs résistants, étudiant la génétique de la résistance et les interactions plante-pathogène. Les travaux sur la dynamique et l'architecture adaptative des populations du champignon en réponse à des résistances de bananiers utilisés comme géniteurs dans le programme d'amélioration génétique, vont continuer dans le cadre d'une thèse co-financée par la CIRAD et le projet ANR COMBINE.

La modélisation de la maladie et les stratégies de déploiement des résistances soulèvent des questions sur l'évolution des pathogènes, orientant les recherches vers une gestion toujours plus durable des résistances. Ces avancées pourraient aboutir à des stratégies intégrées de lutte contre les maladies des plantes, combinant amélioration génétique, agronomie et écologie.



in the fungus *Pseudocercospora fijiensis* causing the black leaf streak disease of banana. **Azilomar, USA**, 11-15/03/2019.

◇ Abadie C., Decouture B., Vincent C., Bonnot F., Corrales E., Rivalta R., Guzman J., Chaves-Mendez N., Rimbaud L. 2023. *Modelling approach to design innovative spatial strategies to control black leaf streak disease. Wallace Conference "Transforming food system in LAC"*, Turrialba, Cost-Rica 31/05-2/06/2023.

◇ Salmon F., Bakry F., Efile J.-C., Ricci S., Toniutti L., Horry J.-P. 2023. In : *Proceedings of the XII International Symposium on Banana: Celebrating Banana Organic Production*. Ocimati W. (ed.), Lescot T. (ed.), Lehrer K. (ed.). ISHS. Louvain : ISHS, 201-208. (Acta Horticulturae, 1367) ISBN 978-94-6261-366-9 International Horticultural Congress (IHC 2022): **International Symposium on Banana: Celebrating Banana Organic Production**. 31, Angers, France, 14 Août 2022/20 Août 2022. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1367.23>

◇ Carlier J., Abadie C., de Lapeyre de Bellaire L. 2023. *Limiting fungicide use in the management of banana leaf spot diseases. Invited conference at the 12th international congress of plant pathology*, Lyon, France 20-25 august 2023.

Jolivet C., Ravel S., Fabre S., Pages C., Roussel V., Abadie C., Salmon F. (1), Carlier J. 2023. *Population dynamics and adaptive architecture of the fungus Pseudocercospora fijiensis in response to Resistance in banana. Poster at the 12th international congress of plant pathology*, Lyon, France 20-25 august 2023

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

◇ Dumartinet T., Abadie C., Bonnot F., Carreel F., Roussel V., Habas R., Martinez T., Luis Perez-Vicente L., Carlier J. 2020. *Pattern of local adaptation to quantitative host resistance in a major pathogen of a perennial crop. Evolutionary Application* 13 (4), p824-836; <https://doi.org/10.1111/eva.12904>

◇ Dumartinet T., Ravel S., Roussel V., Pérez Vicente L., Aguayo J., Abadie C., Carlier J. 2022. *Complex adaptive architecture of quantitative resistance erosion in a plant fungal pathogen. Molecular Ecology*. <https://doi.org/10.1111/mec.16297>

◇ Carreel F., Martin G., Ravel S., Roussel V., Pages C., Habas R., Cantagrel T., Guiougou C., Delos J.M., Hervouet C., Mournet P., D'Hont A., Yahiaoui N., Salmon F. 2024. *Identification of resistance QTLs to Black Leaf Streak disease (due to Pseudocercospora fijiensis) in diploid bananas (Musa acuminata) Horticulturae (Soumis)*

AUTRES VALORISATIONS

◇ **Mémoire de Thèse** : Thomas Dumartinet, 2021, *Etude de l'adaptation aux résistances variétales chez le champignon Pseudocercospora fijiensis, agent causal de la maladie des raies noires du bananier*, soutenue le 26/02/2021, à Montpellier co-financement Cirad-ANSES

◇ **Rapport de stage** de Mme Clarisse Vincent ayant reçu le prix du meilleur mémoire de la fondation Xavier Bernard : <https://fondation-xavier-bernard.org/2021/09/24/remise-des-prix-xavier-bernard/>

◇ **Stage de fin d'études** Vincent Clarisse, 2020. *Définir des stratégies efficaces de déploiement variétal pour le contrôle de la cercosporiose noire en Martinique et en Guadeloupe*. Montpellier SupAgro.

◇ **Master I - Biologie des plantes** Cantagrel Théo, 2020. *Recherche de QTLs de résistance à la cercosporiose noire du bananier : Etude de la ségrégation de deux descendances diploïdes*. - Université des Sciences de Montpellier

◇ **Master I - Statistique pour les Sciences de la Vie** German Gomez, 2020. *Specificity in quantitative host-pathogen interactions between banana and the fungal pathogen Pseudocercospora fijiensis*. - Université des Sciences de Montpellier

◇ **Stage de césure** Paysan Maureen, 2021. *Etude de la ségrégation des caractères de résistance à la cercosporiose noire des bananiers* ➤



dans une descendance de la population Madu x Galéo. Montpellier SupAgro

◇ **Licence 3 - Biologie des Plantes pour l'agro-environnement** Laura Bertrand, 2022. *Caractérisation de la résistance à la cercosporiose noire de bananiers par analyse d'images.* - Université des Sciences de Montpellier

◇ **Stage de césure** Margot Aresi, 2022. *Contribution aux études de résistances à la cercosporiose noire sur des populations issues du programme d'amélioration variétale du bananier en Guadeloupe.* Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse

MÉTHODOLOGIE PRODUITE

◇ **Développement d'une interface pour l'analyse des images de feuilles de bananiers** avec symptômes de cercosporiose pour quantifier la dynamique d'apparition et de croissance des lésions - macro LeAFtool associé au logiciel IPSDK Explorer

◇ **Un modèle épidémiologique de simulation de la cercosporiose noire** à l'échelle d'un bananier paramétré pour les variétés résistantes

◇ **Une base de données de phénotypage** regroupant plus de 10 années de travail de phénotypage du caractère de sensibilité à la cercosporiose noire au champ, soit plus de 4800 hybrides différents phénotypés

◇ **Une collection de souches adaptées à des résistances** permettant de tester la durabilité potentiel de géniteurs et d'hybrides

◇ **Un modèle épidémiologique de simulation** spatialisé et adapté à la cercosporiose noire des bananiers

◇ **Développement de marqueurs moléculaires** (type KASPar) pour une sélection assistée par marqueurs pour les 4 principaux QTLs identifiés chez un géniteur partiellement résistant à la cercosporiose noire. |





[Animation Ecophyto RI](#)



[EcophytoPIC](#)



animation-ecophyto@inrae.fr



GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ÉCOPHYTO 
RÉDUIRE ET AMÉLIORER
L'UTILISATION DES PHYTOS

