



Carrefours de l'innovation  
agronomique

**ÉCOPHYTO**  
RECHERCHE & INNOVATION

 Livret

# "Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques"

Restitution finale des projets - Jeudi 20 juin 2024  
Ministère de l'agriculture et de la Souveraineté alimentaire - Paris

#### Comité d'organisation :

Sonia LEQUIN, Caroline BOTTOU, Marianne GODON, Romain FRESU 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+, Aurélie GAUGUERY (INRAE), des Carrefours de l'Innovation Agronomique, Max HUGUET & Nicolas CAMUS d'Agreenium, Laurent DELIÈRE (INRAE), Caroline GIBERT (SOLAGRO), André MIRALLES (INRAE) pour le CSO R&I

#### Mise en page :

Caroline BOTTOU (INRAE)

Crédits Photos : Sommaire Pixabay, Freepik Pexel, Adobe Stock (Sauf mention contraire dans le document)

#### Plus d'infos et contact :

[animation-ecophyto@inrae.fr](mailto:animation-ecophyto@inrae.fr)

[aurelie.gauguery@inrae.fr](mailto:aurelie.gauguery@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 Ecophyto II+

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

Et Merci aux Experts extérieurs qui ont accepté notre invitation.

# Sommaire

## À PROPOS P.4

Présentation de l'axe  
Recherche et innovation  
Ecophyto II+ P.4

Présentation des Carre-  
fours de l'Innovation Agro-  
nomique P.5



## LE COLLOQUE P.6

L'appel à projets p.6

Les intervenants p.8

Le programme p.10



## LES PROJETS (par ordre d'apparition)

RIPP-VITI p.12

SPIRIT p.20

TRAVERSÉES p.28

INTERLUDE p.36

CERATIS CORSE p.44

BANAMOSAÏC p.50

MEDEE p.56

PREPARE p.62





# L'axe Recherche et Innovation du plan Ecophyto II+

## Le plan Ecophyto II+

Le plan Écophyto II+ 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 II+), 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/ MTECT<sup>1</sup>, la DGER/MASA<sup>2</sup>, la DGS/MTSS<sup>3</sup> et la DGRI/MESR<sup>4</sup>.

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 déclouisonnement disciplinaire afin de porter une vision globale des enjeux et des solutions pour atteindre les objectifs du plan Ecophyto II+.

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 Carrefours de l'Innovation Agronomique CIAG

Toutes les actus  
& inscriptions



Initiés en 2007, les Carrefours de l'Innovation Agronomique explorent et mettent en lumière les résultats de la recherche conduite par INRAE et ses partenaires dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement.

Ces travaux sont au cœur des défis mondiaux et sociétaux de notre siècle : production et performance économique, santé, changement climatique, raréfaction des ressources non renouvelables, préservation de la biodiversité, des ressources naturelles et de l'environnement, qualité de vie et des emplois ...

Au fil des ans, les Carrefours de l'Innovation Agronomique sont devenus des lieux reconnus de diffusion des projets et des résultats récents de recherche et de recherche-développement au service de l'Innovation et de la formation. Permettant d'enrichir et de partager les réflexions entre chercheurs et acteurs du développement, mais aussi avec les étudiants et les enseignants, ils accompagnent les mutations socio-économiques et les transitions à l'œuvre dans les filières et les territoires. Les Carrefours s'adressent de façon prioritaire à tous les professionnels de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement et sont une source de connaissances synthétisées disponibles pour l'enseignement agronomique et agricole. Depuis octobre 2021, les CIAG sont mis en oeuvre en collaboration avec les établissements d'enseignement, membres de l'alliance Agree-nium.

La revue Innovations Agronomiques rend accessible sous forme téléchargeable gratuite les textes issus de ces colloques. Environ 1300 articles constituent désormais une base de référence pour l'innovation et l'action. Vous pouvez aussi consulter la collection HAL dédiée à la revue : <https://hal.inrae.fr/ARINRAE-INNOVAGRO>

Christian Huyghe  
Directeur Scientifique Agriculture  
INRAE



**Carrefours de l'innovation  
agronomique**



## L'appel à projets " **Leviers territoriaux** pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques "

Lancé en 2018 dans le cadre de la programmation de l'axe 2 « Améliorer les connaissances et les outils pour demain et encourager la recherche et l'innovation » du plan Écophyto II+ par la DRI du ministère en charge de l'environnement, la DGER du ministère en charge de l'agriculture, la DGS du ministère en charge de la santé et la DGRI du ministère en charge de la recherche, cet appel à projets de recherche et innovation est financé par l'**Office Français de la Biodiversité (OFB)** à partir des crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses, pour des projets d'une **durée maximale de 36 mois** et dont le montant de l'**aide demandée est inférieur à 300 k€**. La dotation financière prévisionnelle de cet appel était initialement de 2 M €.

La disponibilité d'une palette enrichie d'alternatives non-chimique ne suffit pas seule à porter la transition. Certains leviers, pour être efficaces, ne peuvent se déployer qu'à des échelles plus larges que la parcelle ou l'exploitation. Par exemple, la gestion des ravageurs peut imposer une action à une échelle supra-parcellaire et avec une dimension temporelle qui peut elle aussi être importante. Agir à de telles échelles d'espace et de temps fait rentrer de nouveaux concepts :

→ **-un enjeu de massification.** A l'échelle d'un territoire il faut que suffisamment de producteurs appliquent une même action, avec des effets de seuil sur ce nombre, pour qu'elle soit efficace ou permette de respecter une norme,

→ **- un enjeu de coordination.** Non seulement un grand nombre de personnes peut devoir agir, mais l'efficacité peut dépendre de leur capacité à se coordonner. Cela peut nécessiter de surcroît de mettre dans la boucle d'autres types d'acteurs que les producteurs, de mettre en place des lieux de concertation et de pouvoir arbitrer ou outiller l'entente entre les agriculteurs pour atteindre les objectifs fixés à la mobilisation du levier (gestion collective des réservoirs de ravageurs, mise en place d'une mesure prophylactique).



# Chiffres clés

**8**

projets lauréats

**23 %**

 Lettres d'intentions  
retenues

**44 %**

 Taux moyens  
de sélection de  
dossiers

**4,3M €**

montant total des projets

**2,3M €**

Montant de la subvention



Organisme bailleur

[En savoir +](#)


**Cet appel vise à susciter des recherches** permettant d'identifier et de proposer, avec ceux qui auront à les mobiliser, des leviers à l'échelle des territoires pour limiter en amont les besoins de recourir aux produits phytopharmaceutiques et pour réduire en aval les expositions des populations humaines et des écosystèmes à ces substances et les impacts non intentionnels. L'enjeu de cet appel est de dépasser l'acquisition de connaissances analytiques sur les processus pour les intégrer dans une vision plus systémique et (pré)-opérationnelle qui soit la plus proche possible de l'action.

**Les projets lauréats** répondent particulièrement à des besoins de connaissances sur la régulation de la pression des bioagresseurs à l'échelle des paysages, le développement d'outils de modélisation, le développement de scénario d'organisation à l'échelle territoriale, l'identification et l'évaluation de leviers individuels et collectifs pour accompagner le changement à l'échelle du territoire, l'analyse spatio-temporelle coûts / bénéfices de l'adoption de solutions adaptées à la réduction des usages et des impacts des produits phytopharmaceutiques pour un territoire ou un bassin de production et l'application des démarches participatives (jeux sérieux, ateliers de concertation) pour la production et la mise en discussion des résultats.



Par ordre d'apparition.



## Introduction CSO R&I

**Philippe Cousinié**

*DGER, Réso'them, CSO R&I*

Ingénieur agronome, Philippe Cousinié est expert transdisciplinaire hexagone 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 » (MASA/DGER). Il a également des expériences en recherche (CIRAD), en développement (CIVAM) et en formation agricole (France et international).



## Invité

**Gilles Martel**

*Gamae*

Il développe ses recherches sur les contributions directes et indirectes de l'élevage sur la biodiversité au sein de l'UMR BAGAP (Biodiversité Agroécologie et Aménagement du Paysage). Il analyse les pratiques de gestion des prairies ainsi que les interactions entre atelier d'élevage

et ateliers de culture qui façonnent les paysages agricoles. Animateur du RMT Structurer et Produire l'Innovation dans les systèmes avec Cultures et Elevage ensemble (SPICEE) il collabore avec les organismes de conseil, développement et formation pour proposer des outils d'accompagnement. Il est notamment investi dans la création de jeux sérieux ce qui se traduit par son implication dans la plateforme GAMAE de l'INRAE. Cette plateforme est dédiée à l'analyse des jeux sérieux et de leurs effets.

<https://www.gamae.fr>



## Invitée

**Cécile  
Détang  
Dessendre**

*INRAE*

Directrice scientifique adjointe agriculture à INRAE, elle dirige le metaprogramme de l'institut METABIO, centré sur les enjeux du changement d'échelle de l'agriculture biologique. Elle a aussi en charge le suivi du programme Tetrae, programme co-financé entre INRAE et 8 Régions françaises, qui

vise à stimuler une recherche finalisée et ancrée sur des partenariats pour répondre aux grands enjeux agricoles, alimentaires et environnementaux propres à chacune des régions. Ses recherches les plus récentes portent sur la politique agricole commune, ses objectifs, ses réformes et ses impacts.





## > Comment agir à l'échelle paysagère ou territoriale pour favoriser la résilience des agro-écosystèmes ?

Pendant cette journée seront restitués les résultats de huit projets qui ont étudié, pendant 3 ans, les processus, biologiques et écologiques, institutionnels, technico-économiques, sociaux et organisationnels ou relevant des méthodes culturelles dont l'efficacité peut être dépendante du taux d'adoption à l'échelle d'un territoire.

Le périmètre des projets s'étend sur quatre grandes filières (fruits, légumes, vigne, grandes cultures) réparties sur 10 territoires d'études dans toute la France. Cette diversité de contextes et de connaissances produites représente une possibilité accrue de généralité des résultats. Au travers de présentations, de témoignages, de discussions et de temps d'échanges... Cette journée vise à mettre en lumière les avancées, les perspectives et les freins à la mise en place de synergies collectives afin de réduire l'impact des produits phytopharmaceutiques sur la santé et les écosystèmes.

## Programme

### MATIN

09h30 Accueil

*Caroline Bottou, chargée d'animation Ecophyto R&I, Aurélie Gaugury, responsable des CIAG (INRAE)*

Présentation du programme

*Sonia Lequin, responsable de l'équipe animation Ecophyto R&I (INRAE)*

Contexte et enjeu pour Ecophyto

*Sonia Lequin, Philippe Cousinié (DGER, CSO R&I) & MASA, MTECT, MESR, MTSS.*

10h00 **Stratégies collectives pour le déploiement et l'adoption de leviers : 4 projets**

**RIPP-VITI** : Réduire les Impacts des Produits Phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale

*Par Marc Voltz (INRAE)*

**SPIRIT** : Solutions collectives Partagées pour limiter l'impact des Résidus phytopharmaceutiques sur les milieux aquatiques à l'échelle du Territoire

*Par Véronique Gouy Boussada (INRAE)*

**TRAVERSÉES** : Trajectoires de transition vertueuses pour la Réduction des usages des pesticides associant les leviers Ecologiques, Economiques, Sociaux et institutionnels à l'échelle du territoire

*Par Corinne Robert (INRAE)*

**INTERLUDE** : Innovations territoriales pour la Réduction des produits phytopharmaceutiques en production Légumière durable

*Par Mireille Navarrete & Marion Casagrande (INRAE)*

11h30 **Analyse transversale** des 4 jeux sérieux issus des projets ci-dessus : Causerie, la Traversée du barrois, la Clé du sol et Capipp; suivie d'une **table ronde**

*animée par Gilles Martel (INRAE, plateforme GAMAE) avec Marion Casagrande, Véronique Gouy Boussada, Mireille Navarrete, Corinne Robert & Marc Voltz*

12h10 Pause déjeuner & exposition des jeux sérieux



# APRÈS-MIDI

## 13h30 **Gestion collective des bioagresseurs 4 projets**

**CERATIS CORSE** : Gestion Territoriale de la Ceratite en Corse par la Technique de l'Insecte Stérile  
*Par Ghais Zriki (CTIFL)*

**BANAMOSAÏC** : Gestion territoriale collective des bioagresseurs des bananiers en Martinique  
*Par Philippe Tixier (CIRAD)*

**MEDEE** : Vers des Mosaïques agricoles économes en pesticides : de la modélisation à la concertation territoriale pour le déploiement des cépages Résistants  
*Par Frédéric Fabre (INRAE)*

**PREPARE** : Comprendre et prédire les effets des paysages de pratiques sur la régulation biologique  
*Par Claire Lavigne (INRAE)*

15h Retour d'expérience sur les ateliers de co-construction issus des projets  
*animée par Philippe Cousinié, (DGER, CSO R&I)*

15h35 Pause Café

15h55 **Discussion/tour de table**  
analyse et pistes de réflexion pour lever les verrous et aller plus loin  
*Responsables scientifiques des projets*

16h30 **Synthèse de la journée**  
et mise en perspective en lien avec Ecophyto 2030  
*Par Cécile Detang-Dessendre, Directrice Scientifique Adjointe agriculture (INRAE) & Représentant ministériel*



Réduire les Impacts des Produits  
Phytoprotecteurs en viticulture méridionale  
à l'échelle territoriale

## Responsable scientifique



**Marc Voltz**  
INRAE - UMR LISAH  
marc.voltz@inrae.fr

Marc Voltz est ingénieur agronome, directeur de recherche à INRAE et a été jusqu'en 2022 professeur consultant à l'Institut Agro de Montpellier. Il a fondé l'unité mixte de recherches LISAH à Montpellier et un observatoire agrohydrologique à long terme OMERE, qu'il a tous deux dirigés de 2002 à 2010.

## Partenaires

- ◆ INRAE (UMRs Ecosys, EMMAH, Innovation, ITAP, LISAH)
- ◆ Institut Agro (UMR AbSys)
- ◆ Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV)
- ◆ Etablissement public territorial du bassin ORB et Libron

## Financements

**Coût total du projet : 699 399 €**

**Montant de la subvention OFB : 293 113 €**

## Le projet en bref

Le projet RIPP-Viti a visé l'élaboration de stratégies durables de réduction des usages et impacts des produits phytosanitaires à l'échelle d'un territoire viticole méditerranéen. Il a combiné une approche participative par jeu sérieux et l'application d'outils de modélisation pour la conception et l'évaluation agronomique et environnementale de telles stratégies. Les stratégies élaborées ont montré la possibilité d'une diminution d'IFT de 39% à l'échelle de l'ensemble d'un territoire viticole tout en conservant voire améliorant les durabilités sociales et économiques de ses exploitations.

Approche participative

Exposition

Viticulture

Modélisation spatialisée

Bassin versant



## Contexte et principaux objectifs

Le plan Ecophyto ambitionne une baisse de 50 % de l'utilisation des produits phytosanitaires (PP) en France. Le secteur viticole est concerné, car malgré les différentes incitations à réduire l'usage des PP, il reste très consommateur en PP, avec un IFT moyen de 15,3 en 2016 et de 12,4 en 2019 à l'échelle nationale. La possibilité opérationnelle de réduction des usages est montrée par le réseau des fermes Dephy. La synthèse récente des données de ce réseau pour les fermes viticoles (C.A.N. Dephy, 2023) montre en effet qu'entre l'état initial des fermes et la moyenne des campagnes 2018 à 2020, une baisse moyenne de 24 % de l'IFT (hors biocontrôle) est observée sans qu'il y ait d'impact négatif sur la maîtrise des bioagresseurs. Ces résultats encourageants sont toutefois obtenus à l'échelle d'un réseau d'exploitations volontaires. Ils ne peuvent donc pas directement présager d'évolutions potentielles pour l'ensemble des exploitations d'un territoire, dont la diversité des modes de production viticole peut différer de celles des exploitations DEPHY. De surcroît, les résultats des fermes DEPHY ne concernent que la réduction d'usage des PP et n'établissent pas de lien avec une réduction des impacts environnementaux et sanitaires des usages. Les enjeux scientifiques sont donc de développer i) des approches d'élaboration de stratégies de réduction des impacts sur l'ensemble d'un territoire et ii) des méthodes d'objectivation du lien entre réduction d'usage et réduction d'impact sur les différents compartiments environnementaux à cette échelle.

Dans ce contexte, le projet RIPP-Viti a visé **l'élaboration et l'évaluation de stratégies de réduction des usages des PP à l'échelle d'un territoire viticole méditerranéen**. L'hypothèse majeure du projet est qu'il est possible d'atteindre des objectifs significatifs de réduction d'impact des PP à l'échelle de tout un territoire en élaborant des stratégies de réduction adaptées aux contraintes parcellaires, d'exploitations et de filières présentes sur le territoire.

## Principaux résultats en lien avec le plan Ecophyto

**Des stratégies co-conçues d'évolution des pratiques viticoles permettant une réduction d'usage à l'échelle d'un territoire.**

Les stratégies ont été conçues par jeu sérieux dans le cadre d'une approche participative menée avec des viticulteurs et des "experts" de la filière viticole. Ces stratégies explorent les leviers mobilisables localement, de manière individuelle et collective, en fonction de la diversité de contraintes d'un territoire viticole (contraintes paysagères : -sols, proximité d'habitations... ; structures d'exploita-



*Gestion de l'inter-rang sans herbicide avec enherbement et labour du rang avec un outil intercep. L'enherbement fournit plusieurs services en relation avec le sol (conservation, restitution de matière organique) et doit être raisonné en fonction des contraintes hydro-azotées pouvant affecter la production de la vigne. (avril 2020 ; crédit photo A.Metay Institut Agro)*

tion ; objectifs de production viticole). Le territoire test a été celui du bassin du Rieutort (45km<sup>2</sup> au nord-ouest de Béziers) qui inclue différents milieux et terroirs (plaine, coteaux, Appellation d'origine contrôlée (AOP) Languedoc, Saint-Chinian et Faugères) et dont les exploitations présentent une gamme de modes de production (IGP (Indication géographique protégée), AOP en caves coopéra-



tives ou particulières, HVE (Haute valeur environnementale), Bio). Les stratégies co-conçues sont ainsi diversifiées à l'échelle du bassin. Leur mise en place conduirait à des améliorations nettes des impacts potentiels avec une baisse très forte de l'utilisation des molécules CMR (-90 % en moyenne) et des baisses marquées des IFT (-39 % en moyenne pour les produits hors biocontrôle). Les stratégies co-conçues ont été jugées réalistes, conditionnellement toutefois pour certaines à des subventions ou prix de vente plus élevés. L'avantage de la méthode suivie est d'avoir co-construit une diversité de combinaisons de leviers de réduction des usages des produits phytosanitaires, ces leviers étant a priori possibles pour la majorité des exploitations viticoles du Languedoc-Roussillon.

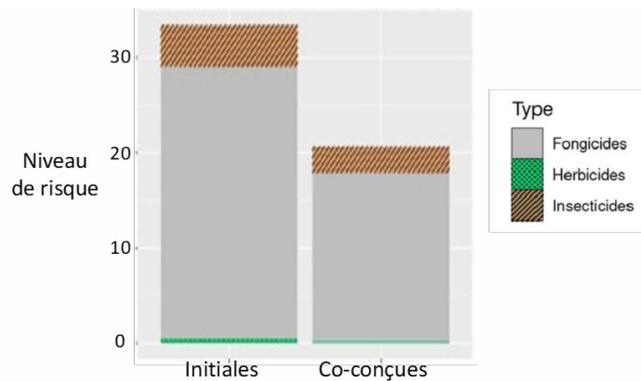
### Une évaluation approfondie des impacts environnementaux des stratégies co-conçues.

L'évaluation a été menée par modélisation mécaniste et par comparaison aux impacts estimés des stratégies initiales existantes sur le terrain d'étude. Le résultat des évaluations montre des changements globalement significatifs et positifs d'impact environnemental mais variables selon la nature des impacts considérés :

♦ Pour les ressources aquatiques, les risques de pollution et d'impact sont diminués d'environ 35 %, mais les risques de contamination restent au-dessus des normes environnementales de référence.

♦ Pour les organismes du sol, les risques d'impacts biologiques ne diminuent pas avec les stratégies co-conçues, en raison des substitutions de molécules opérées, mais le risque d'impact est modéré tant pour les stratégies initiales que co-conçues.

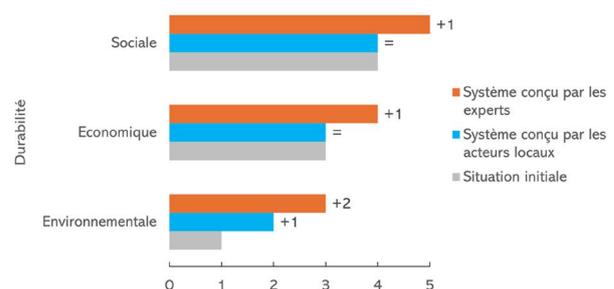
♦ Pour l'exposition humaine par dérive aérienne, les stratégies proposées limitent le risque d'exposition, mais l'évaluation réalisée ne permet pas d'apprécier si la réduction du risque est suffisante.



*Risques cumulés estimés d'impact des types de substances phytosanitaires sur les organismes aquatiques pour les stratégies initiales et co-conçues à l'échelle du bassin viticole étudié.*

### Une évaluation de la durabilité des stratégies co-conçues.

Elle a été menée selon l'approche multicritère DEXiPM adaptée aux exploitations viticoles (Gary et al., 2015). Elle montre une cohérence avec les résultats de l'évaluation par modélisation mécaniste une amélioration systématique de la durabilité environnementale. Elle montre également que la réduction des usages de PP ne diminue pas les durabilités sociales et économiques des exploitations et peut même les améliorer légèrement pour certaines des stratégies co-conçues.



*Note de durabilité économique, environnementale et sociale pour les stratégies de réduction d'usage des produits phytosanitaires conçus par les acteurs locaux, les experts en comparaison avec la situation initiale d'une exploitation viticole en coopérative 100 % IGP.*



**La mise au point de nouveaux outils opérationnels et de recherche** pour la réflexion et l'évaluation de stratégies de réduction des usages et des impacts des PP : i) un jeu sérieux pour la réflexion et la conception de stratégies de réduction des impacts des PP en territoire viticole, ii) une nouvelle version du modèle mécaniste MIPP pour simuler le devenir des pesticides à l'échelle d'un paysage viticole, iii) un modèle de bilan hydrique et azoté de vignes enherbées.

## Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

### Transfert

→ Les stratégies co-conçues par approche participative indiquent des possibilités d'évolutions très positives au plan des usages de PP des systèmes de production viticoles à l'échelle d'un territoire. Leur mise en œuvre suppose la mise en place d'une dynamique locale appuyée par de l'animation collective, de l'accompagnement technique et des aides financières.

→ Les stratégies de réduction d'usage co-conçues, bien que positives, ne seront probablement pas suffisantes pour permettre le respect des normes environnementales en cours. Des leviers de réduction complémentaires sont à envisager.

→ Des stratégies de réduction d'usage plus ambitieuses sont proposées par les viticulteurs sur les parcelles proches des habitations.

→ L'analyse environnementale menée permet d'anticiper les impacts environnementaux potentiels des substances, qui parfois ne sont pas observable à ce jour car liés à des effets cumulatifs dans le temps.

### Recherche

→ A l'issue du projet, de nouveaux partenariats ou collaborations ont été initiés avec :

→ la CRA Occitanie et FREDON pour la généralisation du jeu sérieux à la diversité des territoires viticoles (en recherche de financement).

→ les UMR LISAH, ECOSYS et ITAP étendu à l'OFB et collaborations UE pour appliquer le modèle MIPP à l'analyse du rôle des infrastructures agro-écologiques (haies, fossés) pour limiter l'exposition d'organismes et de milieux à l'échelle du paysage (projet OFB GREET) et à la conception d'un scénario viticole pour l'évaluation de risques (projet UE PARC).

→ les acteurs agricoles du territoire d'étude sur l'usage et la réduction des fongicides en viticulture à l'échelle territoriale (thèse d'Emma Crouzet UMR Innovation, UMR LAE - financement INRAE département ACT et projet PPR Be-Creative).



## Livrables, valorisation et transfert réalisés

### Journées techniques et colloques scientifiques

Les communications suivantes ont été réalisées à la 15<sup>ème</sup> Journée Scientifique Vigne et Vin de l'Institut Agro à Montpellier qui rassemble chaque année les professionnels de la filière viticole régionale et française. Les retombées spécifiques ont été un article dans la revue « Vitisphère » ainsi que des marques d'intérêts pour l'utilisation du jeu sérieux développé durant le projet.

♦ M. Voltz, C. Dagès, L. Hossard, A. Metay, C. Bedos, et al.. Ripp-Viti: un projet ECOPHYTO pour réfléchir à la réduction d'usage et d'impact des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. 15<sup>ème</sup> Journée Scientifique Vigne et Vin, Institut Agro, Montpellier, 2024.

♦ L. Hossard, C. Schneider, M. Voltz. Des stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides co-conçues à l'aide d'un jeu sérieux. 15. Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, Institut Agro Montpellier; Mars 2024, Montpellier, France.

♦ C. Dagès, M. Voltz, D. Crevoisier, C. Bedos, N. Beudez, et al.. Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. 15<sup>ème</sup> Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, Institut Agro, Montpellier, 2024.

♦ C. Bedos, D. Crevoisier, C. Dagès, J.P. Douzals, M. Voltz, et al.. Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles. Journée scientifique vigne et vin. 15<sup>ème</sup> édition, Mars 2024, Montpellier, France.

♦ R. Métral, C. Schneider, R. De Lange, A. Metay. DEXiPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles Journée scientifique vigne et vin. 15<sup>ème</sup> édition, 7 Mars 2024, Montpellier, France.

♦ Voltz M., Delpuech X. Les enseignements et livrables du projet Ecophyto RIPP-Viti. Journée scientifique vigne et vin. 15<sup>ème</sup> édition, 7 Mars 2024,

Montpellier, France.

♦ Une Restitution à la Journée technique du réseau Captages d'Eauccitanie est prévue fin 2024

### Conférences scientifiques et techniques, avec et sans actes

♦ Djouhri M., Loubet B., Bedos C., Dagès C., Douzals J. P., Voltz M. (2022). A comprehensive model for simulating aerial pesticide spray drift at the field scale, and its application in vineyard. Presented at : York Conference "Behaviour of Pesticides in Air, Soil and Water", York, Royaume-Uni, 31st August-1st September 2022 (Prix de la meilleure communication).

♦ Voltz M., Dagès C., Hossard, L. Metay, A. Bedos, C. Fernandez-Mena, H. Grimbuhler, S. 2022. Building sustainable cropping and landscape management strategies to limit pesticide pollution risks in Mediterranean vineyards: The Ripp-Viti project. European Scientific Conference - Towards Pesticide Free Agriculture. 2-3 juin 2022, Dijon, France.

♦ Voltz M., Dagès C., Hossard, L. Metay, A. Bedos, C. Fernandez-Mena, H. Grimbuhler, S. 2022. Building sustainable cropping and landscape management strategies to limit pesticide pollution risks in Mediterranean vineyards: The Ripp-Viti project. 24<sup>th</sup> International Fresenius AGRO Conference "Behaviour of Pesticides in Air, Soil and Water", 8-9 juin 2022, Mainz, Allemagne.

♦ Voltz, M., Dagès, C., Hossard, L., Metay, A., Bedos, C., Delpuech, X., Douzals, J.P. 2024. Ripp-Viti: un projet ECOPHYTO pour réfléchir à la réduction d'usage et d'impact des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. 52<sup>ème</sup> Congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides à Lyon, 22-24 mai 2024

♦ Dagès, C., Voltz, M., Crevoisier, D., Bedos, C., Beudez, N., Lafolie, F., Personne, Coulouma, G., Djouhri, M., Douzals, J.-P., Fabre, J.-C., Faucher, M., Jean-Louis, C., Lagacherie, P., Loubet, B., Prévot, L., Thoni, A., Vinatier, F. 2024. Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. 52<sup>ème</sup> Congrès du Groupe



Français de recherche sur les Pesticides à Lyon, 22-24 mai 2024.

♦ Dagès, C., Bedos, C., Crevoisier, D., Lafolie, F., Personne, E., Beudez, N., Faucher, M., Fabre, J.-C., M., Jean-Louis, C., Thoni, A., Vinatier, F., Voltz, M., 2024. Plot-scale modeling of pesticide fate in soil, water and air, taking into account intra-field heterogeneity in vineyard plots. XVII Symposium on Pesticide Chemistry, Piacenza, 4-6 septembre 2024.

♦ Voltz, M., Dagès, C., Hossard, L., Metay, A., Bedos, C., Delpuech, X., Douzals, J.P. 2024. A participative and holistic approach to build sustainable vineyard management strategies and assess their environmental impacts. XVII Symposium on Pesticide Chemistry, Piacenza, 4-6 septembre 2024.

### Présentation à des instances professionnelles ou de décision

Présentations des avancements du projet Ripp-Viti aux comités de pilotage du projet Ripp-Viti en 2020 et 2021 et 2023, comprenant des parties prenantes de la filière viticole et de gestionnaires de l'eau (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, IFV, CRA Occitanie, EPTB Orb&Libron, FREDON Captages d'Eau Occitanie.)

### Publications scientifiques parues

♦ Hossard, L., Schneider, C., Voltz, M. (2022). A role-playing game to stimulate thinking about vineyard management practices to limit pesticide use and impacts. *J. Cleaner Prod.*, 380 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134913>

♦ Djourhi, M., Loubet, B., Bedos, C., Dagès, C., Douzals, J.P., Voltz, M. (2023). ADDI-SprayDrift: A comprehensive model for simulating aerial pesticide spray drift at field scale. *Biosystems Engineering*, 231, 57-77. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.05.008>.

♦ Dages, C., Voltz, M., Bailly, J.-S., Crevoisier, D., Dollinger, J., Margoum, C. (2023). PITCH: a model simulating the transfer and retention of pesticides in infiltrating ditch and channel networks for ma-

nagement design purposes. *STOTEN*, 891, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164602>



### Articles de valorisation/vulgarisation

Toutes les conférences données à la journée scientifique Vigne et vin du 7 mars 2024 à Montpellier ont donné lieu à des articles à destination de la profession viticole. Ils sont disponibles sur la plateforme Hal (voir lien web donné à la fin de chaque référence citée ci-dessous)

♦ Voltz, M., Dagès, C., Hossard, L., Metay, A., Bedos, C., Delpuech, X, Douzals, J.P. Ripp-Viti: un projet ÉCOPHYTO pour réfléchir à la réduction d'usage et d'impact des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. JSVJ Montpellier, 7 mars 2024. (<https://hal.inrae.fr/hal-04504840>)

♦ L. Hossard, C. Schneider, Marc Voltz. Des stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides co-conçues à l'aide d'un jeu sérieux. 15. Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, Institut Agro Montpellier; INRAE; Université de Montpellier, Mars 2024, Montpellier, France. pp.27-31. <https://hal.inrae.fr/hal-04494804>

♦ Delpuech, X, Voltz, M, Laure Hossard, Dagès, C. Metay, A. et al.. Fiches techniques du projet Ripp-Viti Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. JSVJ Montpellier, 7 mars 2024. (<https://hal.inrae.fr/hal-04491653>).

♦ C. Dagès, M. Voltz, D. Crevoisier, C. Bedos, N. Beudez, F. Lafolie, E. Personne, G. Coulouma, M. Djourhi, J.-P. Douzals, J.-C. Fabre, M. Faucher, C. Jean-Louis, B. Loubet, P. Lagacherie, L. Prévot, A. Thoni, F. Vinatier. Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. 15ème Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, 2024 (<https://hal.inrae.fr/hal-04505443>)

♦ C. Bedos, D. Crevoisier, C. Dagès, J.P. Douzals, M Voltz, et al.. Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles. Journée scientifique vigne et vin. 15ème



édition, Mar 2024, Montpellier, France. <https://hal.inrae.fr/hal-04509768>

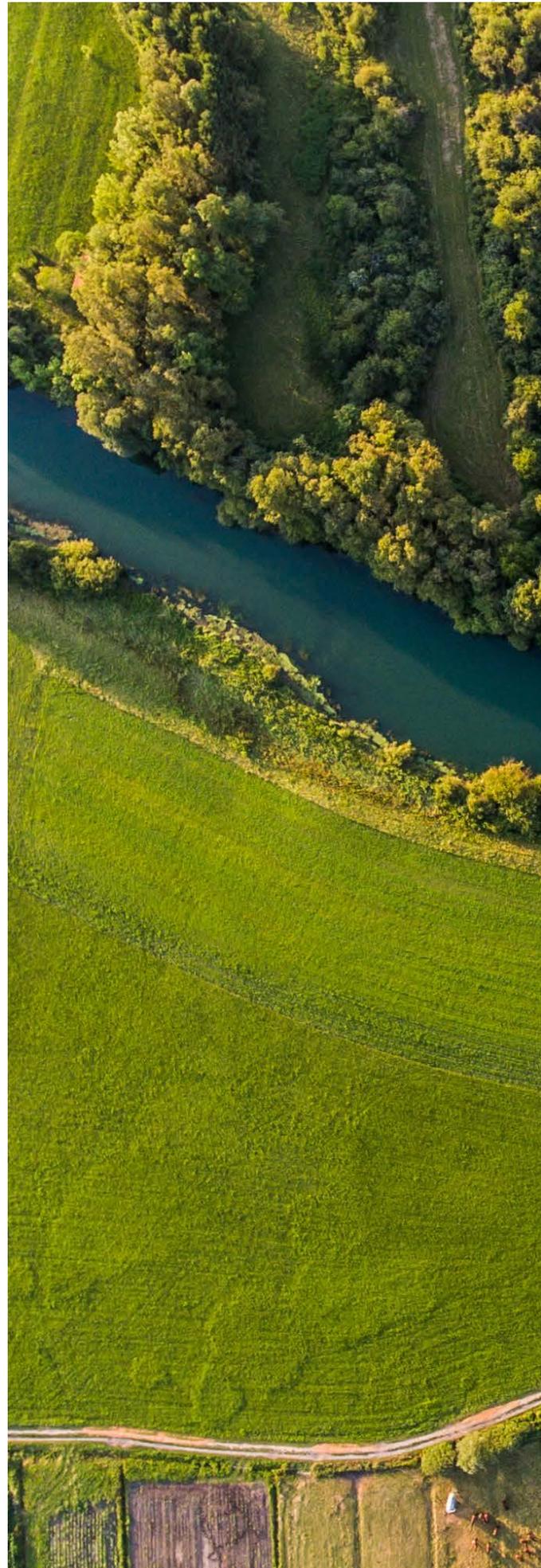
♦ R. Métral, C. Schneider, R. De Lange, A. Metay. DEXiPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles Journée scientifique vigne et vin. 15ème édition, 7 Mars 2024, Montpellier, France. (<https://hal.inrae.fr/hal-04510189>)

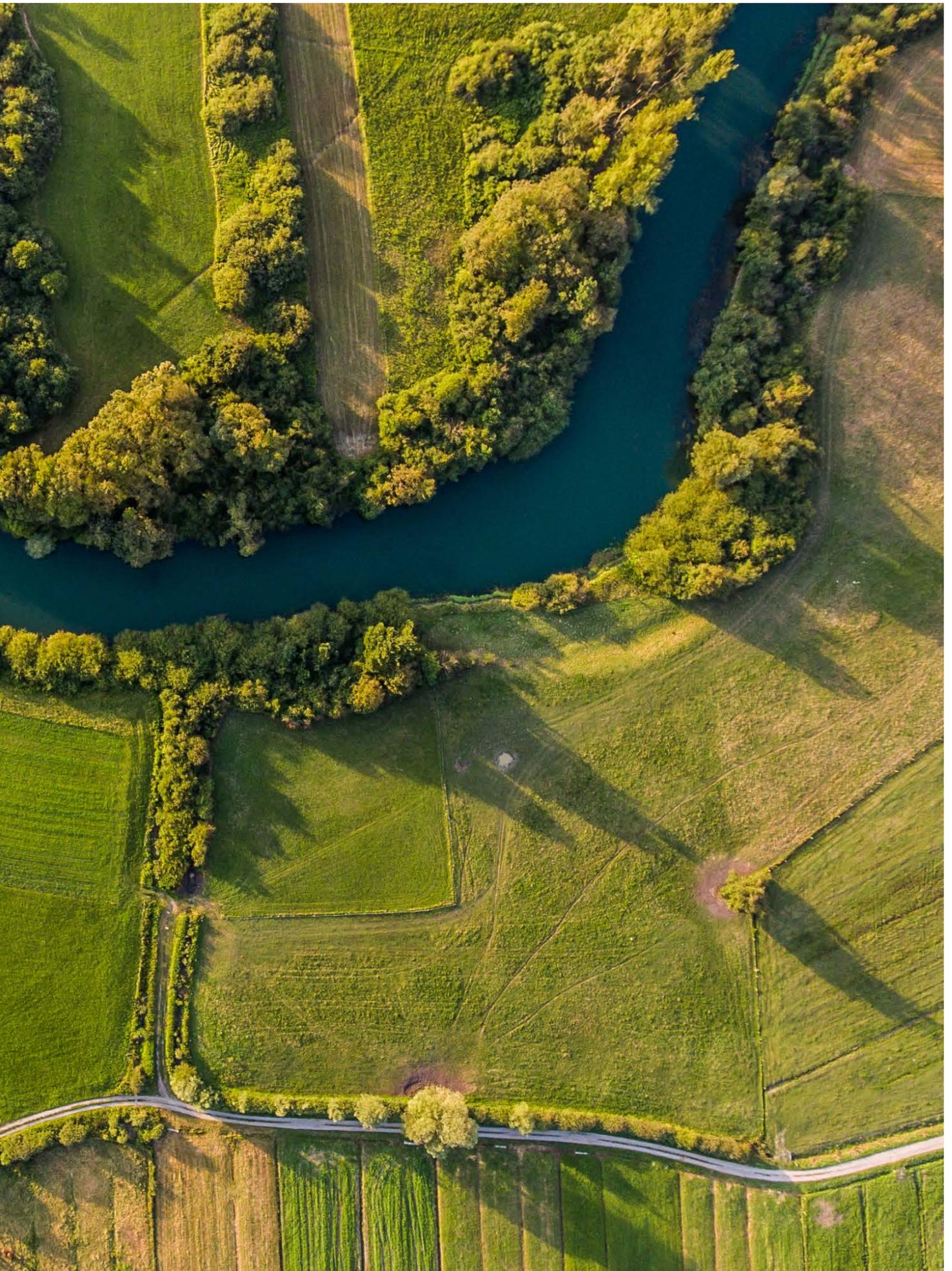
### Autres valorisations

Un ensemble de fiches pratiques synthétisant les résultats du projet Ripp-Viti afin de faciliter l'appropriation des résultats du projet par les professionnels (viticulteurs, conseillers techniques, animateurs de collectif...)(à consulter sur <https://vignevin.github.io/ripp/>)

♦ Article paru 12 mars 2024 dans la revue Vitisphère : "Ils améliorent leur stratégie phyto en jouant à un jeu" (article écrit par une journaliste ayant assisté à la restitution lors de la Journée Scientifique Vigne et Vin de l'institut Agro à Montpellier).

♦ Article « Vers des vignobles plus verts » présentant le projet Ripp-viti dans le dossier de presse INRAE 2020 « Vers des systèmes alimentaires sains et durables : quand la recherche accompagne la transition » à consulter à [https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DP-SYSTEME%20ALIMENTAIRE\\_VF\\_1.pdf](https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/DP-SYSTEME%20ALIMENTAIRE_VF_1.pdf)







Solutions collectives Partagées  
pour limiter l'impact des Résidus  
phytopharmaceutiques sur les milieux  
aquatiques à l'échelle du Territoire

## Responsable scientifique



### Véronique Gouy Boussada

INRAE - Riverly Villeurbanne  
veronique.gouy@inrae.fr

Ingénieure de l'Agriculture et de  
l'Environnement, HDR, à INRAE-RiverLy,  
travaillant à la meilleure compréhension  
du devenir environnementale des produits  
phytosanitaires et à la limitation de leurs  
impacts sur la qualité de l'eau et les  
écosystèmes aquatiques à l'échelle des  
bassins versants agricoles.

## Partenaires

- ◆ INRAE RiverLy, Villeurbanne ;
- ◆ INRAE HYCAR, UMR G-Eau, UMR Tétis,
- ◆ IFV,
- ◆ Aquil'Brie,
- ◆ Lycée de Bel Air

## Financements

**Coût total du projet :** 621 272 €

**Montant de la subvention OFB :** 299 893 €

## Le projet en bref

Le projet SPIRIT adresse la problématique de l'agriculture et de la qualité de l'eau. Construit autour d'une approche interdisciplinaire et participative centrée sur le bassin versant amont et son paysage, il explore, par le biais d'un jeu sérieux adossé à un outil simplifié de modélisation spatialisée, l'effet de différentes configurations de systèmes de cultures et d'éléments paysagers sur le potentiel de contamination des cours d'eau, et interroge la place des actions collectives à cette échelle. Paramétré sur deux territoires archétypes en viticulture et polyculture-élevage, le jeu est mobilisable pour faciliter la concertation multi-acteurs sur des territoires similaires. Il a également été favorablement accueilli par des enseignants et utilisé comme support de formations en lycée agricole, IUT et master 2.

 *Le jeu CAUSERIE*

Qualité de l'eau

Jeu sérieux

Organisation paysagère

Action collective

Produits phytosanitaires

Systèmes de culture

Scénarios de gestion au bassin versant

## Contexte et principaux objectifs

La contamination des cours d'eau par les produits phytopharmaceutiques est liée à la fois aux usages et au potentiel de transfert, de dilution, de rétention et de dégradation des molécules le long du continuum terre-aquatique. Pour limiter cette contamination, il est donc important d'agir aux différents niveaux emboîtés de la parcelle, de l'exploitation et du bassin versant. Or, on note une certaine difficulté à mettre en place des actions collectives à l'échelle du bassin versant ce qui ne garantit pas toujours une efficacité globale optimale au niveau de la protection du cours d'eau.

### Le projet vise à :

→ Produire des connaissances et des outils pour faciliter la co-construction de solutions correctives à l'échelle du bassin versant s'appuyant sur les deux leviers complémentaires du système de culture et des éléments paysagers (*Figure 1*),

→ Questionner la place de l'action collective à cette échelle et identifier des leviers pouvant la favoriser en vue d'optimiser les actions pour limiter la contamination au bassin versant,

→ Développer des méthodes et indicateurs pouvant favoriser des démarches plus intégrées et partagées à l'échelle d'un territoire pour une meilleure gestion de la qualité de l'eau.

### Trois volets complémentaires ont été déployés centrés sur le paysage (*figure 2*) :

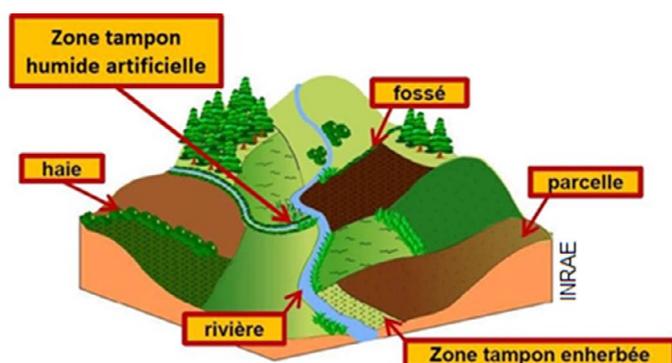
Un volet socio-anthropologique sous forme d'entretiens semi-directifs individuels auprès d'acteurs clés du territoire (exploitants agricoles, coopératives, collectivités locales, associations environnementales, organismes de formation, ...), pour mieux cerner le contexte.

Un volet sous forme d'ateliers participatifs mobilisant le même type d'acteurs pour faire remonter

collectivement une représentation partagée du territoire, des processus et des enjeux associés à la problématique agriculture-paysage-qualité de l'eau, et produire un jeu sérieux permettant d'explorer la possibilité d'action collective pour minimiser les impacts,

Un volet de modélisation spatialisée pouvant être mobilisée de manière interactive en cours de jeu pour visualiser l'effet des décisions des joueurs sur les transferts des produits phytosanitaires et la contamination du cours d'eau.

La démarche complète a été mise en œuvre sur deux sites à enjeu correspondant à des situations socio-agri-environnementales contrastées : le bassin de la Morcille en viticulture du Beaujolais et le bassin de la Gimond en polyculture élevage dans les Monts du Lyonnais (co-financement Région AURA). Un troisième site, le bassin versant du ru d'Ancoeur en grandes cultures en Brie, a servi quant à lui de support à l'élaboration d'une approche de déploiement à grande échelle de ZTHA multifonctionnelles (qualité de l'eau et biodiversité) par la sensibilisation des acteurs aux enjeux environnementaux (co-financement Life ARTISAN).



*Figure 1 : Paysage pris en considération dans le jeu CAUSERIE.*

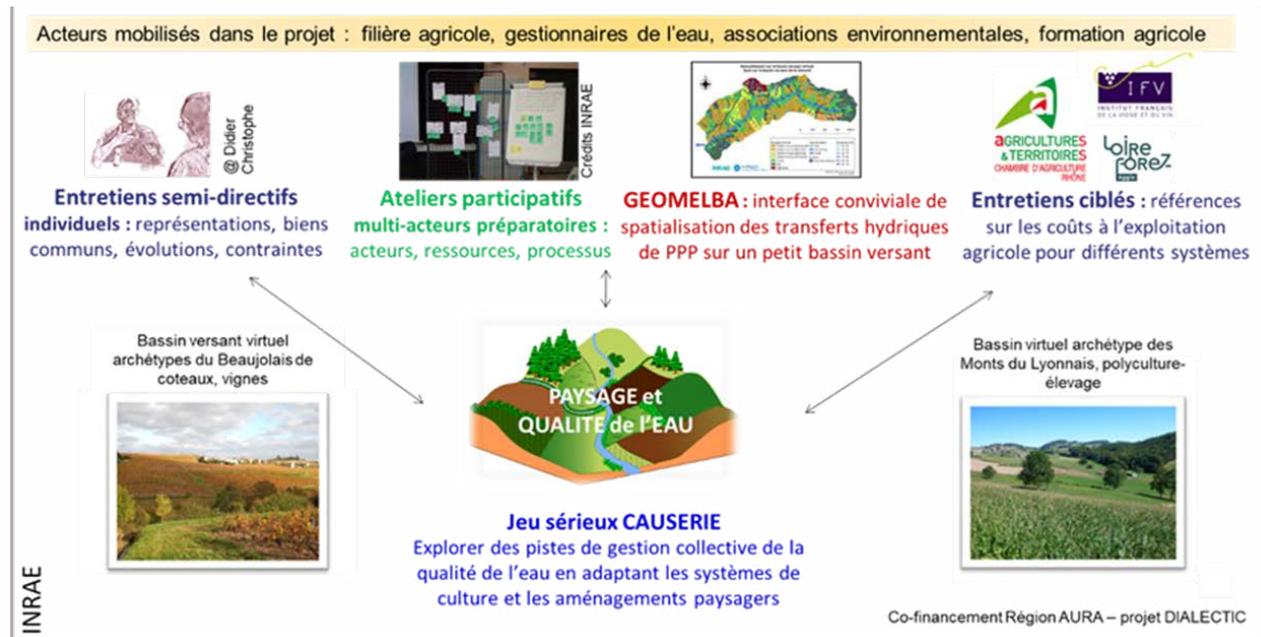


Figure 2 : Démarche mise en œuvre pour l'élaboration du jeu CAUSERIE.

## Principaux résultats en lien avec le plan Ecophyto

Sur les sites du Beaujolais et des Monts-du-Lyonnais, la démarche interdisciplinaire a permis de déboucher sur un outil hybride CAUSERIE croisant un jeu sérieux et un modèle hydrophysique spatialisé simplifié de bassin versant, **GEOMELA-SPIRIT**, mobilisable en séance pour **explorer l'effet potentiel global des choix des joueurs sur la contamination**.

Ce logiciel permet de simuler trois grands types de systèmes de culture plus ou moins utilisateurs de produits phytosanitaires, divers choix d'assolement et de rotations pour les cultures annuelles / de restructuration et d'enherbement pour la vigne, et diverses positions des éléments paysagers.

Au-delà de ce qui est joué, CAUSERIE a vocation à **faciliter le dialogue entre les différents acteurs du territoire** (agriculteurs, conseil, filière, syndicat de rivière, collectivités locales, associations) et l'émergence de leviers d'actions collectives pour limiter la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires. Il est actuellement pa-

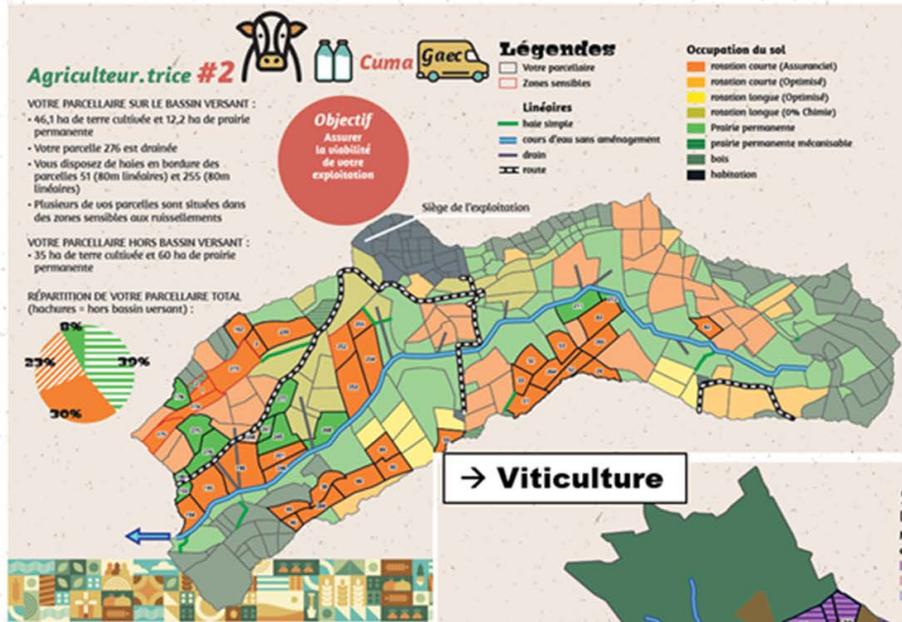
ramétré pour le Nord Beaujolais et les Monts du Lyonnais (figure 3).

Des scénarios prospectifs, issus du débriefing de séances de jeu et d'enquêtes auprès d'acteurs clés du territoire, ont été élaborés et modélisés avec GEOMELBA-SPIRIT puis comparés à l'aune de différents indicateurs soit issus des résultats du modèle (potentiel de transfert des phytosanitaires au bassin versant, efficacité des zones tampons), soit issus d'une méthode d'ACV de l'IFV (bilan carbone net : émissions et stockages dans le sol et les éléments paysagers). **La présentation des résultats auprès d'acteurs du territoire a servi de support à un débat et à l'émergence de leviers** susceptibles de faciliter les actions collectives (accompagnement, groupes d'échanges, visites de parcelles, capitalisation et dissémination des innovations ...).

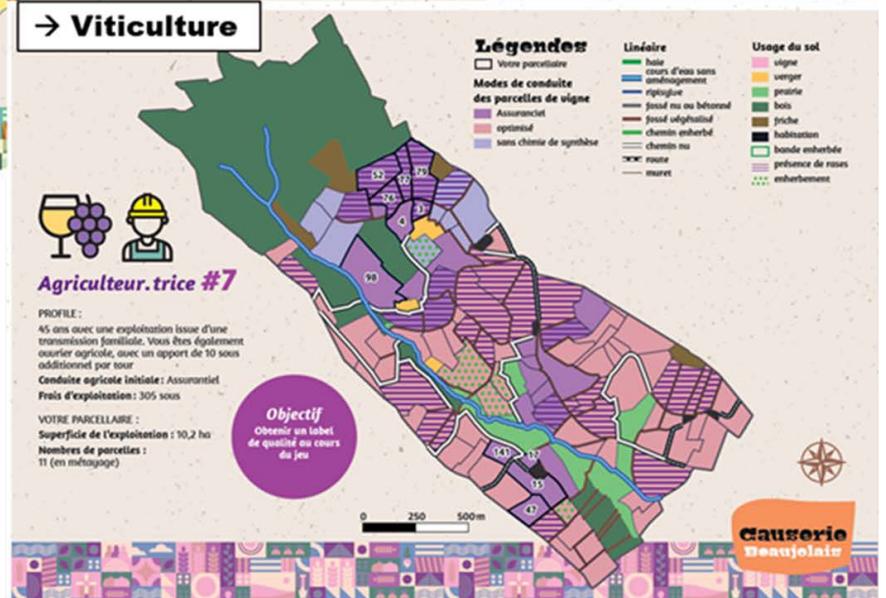
Sur le site de la Brie, la modélisation statistique spatialisée a débouché sur une méthodologie qui permet d'évaluer l'intérêt, en termes de connectivités paysagères et de biodiversité associée, de différents choix de localisations de ZTHA dédiées à la préservation de la qualité de l'eau.



## → Polyculture-élevage



## → Viticulture



### Recommandations :

CAUSERIE et GEOMELBA-SPIRIT ont été paramétrés sur des sites spécifiques (viticulture et polyculture-élevage au sein de bassins versants sur socle). Il convient donc de les utiliser dans des contextes similaires ou proches.

La mise en place des méthodes participatives proposées implique un **engagement institutionnel des partenaires locaux** pour faciliter l'implication des usagers et notamment des agriculteurs.

Il est recommandé d'avoir recours à une formation ou à un professionnel pour faciliter l'appropriation et l'animation du jeu.

### Limites ou généralisations éventuelles des résultats :

Bien que les développements sur l'outil GEOMELBA-SPIRIT aient été réalisés de sorte à faciliter des modifications ultérieures en termes de types d'éléments paysagers et d'occupation du sol, assurer un réel travail de transposition sur d'autres sites que

*Figure 3 : Bassins versants virtuels inspirés des deux sites d'étude. Parcellaire attribué à un des joueurs agriculteurs (parcelles numérotées) et éléments paysagers existants en début de jeu.*

ceux étudiés dans le projet SPIRIT implique des développements et des tests dans des contextes plus diversifiés de sols, cultures, relief, organisations paysagères.

La méthode d'évaluation de l'influence des connectivités paysagères sur les flux d'espèces sur le site de la Brie a mis en évidence la faisabilité et l'intérêt d'une telle analyse pour aider au choix de localisation de zones tampons humides artificielles favorisant leur multifonctionnalité. Elle montre cependant un manque crucial de données d'observation disponibles pour étendre l'analyse à des espèces clés vis-à-vis de l'agriculture (auxiliaires) ou à des territoires ne disposant pas de ces données à une résolution spatiale suffisante.



## Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

### Transfert

Le jeu sérieux CAUSERIE offre des perspectives de transfert vers :

→ les acteurs de la gestion de l'eau et de l'aménagement des territoires en appui à la concertation pour mieux concilier agriculture et qualité de l'eau à l'échelle d'un bassin versant,

→ les responsables de formation (lycée agricole, université) pour la mise en situation des élèves autour des enjeux de l'agriculture, de la qualité de l'eau et de l'aménagement des paysages.

→ Dans le cadre d'un projet de l'appel à projets Carnot EE- 2021, un manuel technique de transposition de GEOMELBA-SPIRIT, paramétré pour les sites en polyculture-élevage et viticulture, à des sites similaires est en cours de finalisation. Une offre de formation à l'animation du jeu CAUSERIE est proposée par LISODE, partenaire du projet.

### Recherche

Un travail méthodologique de transposition de GEOMELBA-SPIRIT à d'autres contextes (notamment grandes cultures) est en cours en lien avec Eau de Paris.

Dans les perspectives futures, il serait intéressant d'évaluer la possibilité d'enrichir cet outil avec des indicateurs d'impacts des choix des joueurs sur la continuité écologique du paysage et la biodiversité (notamment auxiliaires et/ou ravageurs).

Le recours à un pool d'indicateurs incluant qualité de l'eau et biodiversité - comme dans le cas des ZTHA (Zones tampons humides artificielles) dans la Brie - peut permettre d'éclairer la décision du gestionnaire face à des enjeux multiples. Il ressort cependant que, sur le terrain, le verrou du foncier joue un rôle déterminant sur les choix finaux et devrait donc être mieux appréhendé.



**En haut :** Séance de jeu CAUSERIE sur le site du Beaujolais @INRAE

**À droite :** couverture de la boîte du jeu CAUSERIE



## Livrables, valorisation et transfert réalisés

Le jeu CAUSERIE est disponible en ligne et les supports physiques ont été imprimés sous forme de 5 boîtes de jeu mobilisables pour des démonstrations. Une plaquette du LISODE est disponible pour des formations à l'animation du jeu.

### Journées techniques

♦ Gouy Boussada V., Barreteau O. Le Jeu sérieux : expérimentation d'un outil de dialogue pour identifier des leviers d'actions à l'échelle d'un bassin versant. Actes de la Journée technique d'information et d'échanges « Agir à l'échelle du bassin versant sur les eaux de ruissellement pour préserver la qualité des milieux aquatiques » de l'ARRA, le 2 décembre 2021 à Cournon-d'Auvergne (63), pp. 29-33.

### Conférences scientifiques et techniques, avec et sans actes

#### Avec actes :

♦ Gouy Boussada V., Barreteau O., Seguin L., Abrami G., Armani G., et al. Un jeu sérieux adossé à un modèle spatialisé de bassin versant : expérimentation d'un outil de dialogue entre acteurs opérationnels pour limiter la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires. 50e congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides, May 2022, Namur, Belgique. 8 p. hal-03807312

♦ Grillot J., Rabotin M., Gouy Boussada V., Carluer N., Lauvernet C. GEOMELBA-SPIRIT - outil pédagogique pour la visualisation des transferts de produits phytosanitaires à la surface d'un bassin versant. 50e congrès du Groupe Français de Recherches sur les Pesticides, May 2022, Namur, Belgique. 3 p. hal-03807319

♦ Armani G., Seguin L., Barreteau O., Carluer N., Rabotin M., Abrami G., Lauvernet C. et Gouy Boussada V. Approche interdisciplinaire des freins et leviers à l'action collective à l'échelle de paysages

agricoles pour limiter la contamination des rivières par les produits phytosanitaires. 51° congrès du Groupe Français de recherches sur les Pesticides, May 2023, Paris, France, 7 p. hal-04347476

♦ Tournebize J., Chaumont C. Performance of artificial wetland to reduce pesticide fluxes: feedback from 10 years of monitoring coupling mesocosms and field results. Proceedings of the Conférence WETPOL, 10-14 sept 2023, Bruges, Belgique.



#### Sans actes :

♦ Seguin L. et Armani G. Solution basées sur la nature : faux semblant ou véritable atout pour une transformation des systèmes de production agricoles ? 2èmes Journées d'étude du Groupe SHS-Pesticides, Paris, 18-19 mars 2021.

♦ Barreteau O., SPIRIT Vers des Solutions collectives Partagées pour limiter l'impact des Résidus phytopharmaceutiques sur les milieux aquatiques à l'échelle du Territoire. Séminaire de l'axe Observation Sociale des Territoires Fluviaux de la ZABR, Lyon, décembre 2021.

♦ Seguin L., Barreteau O., Abrami G., Gouy V., Carluer N., Armani G. Construire l'action collective à l'échelle des bassins versants pour réduire l'impact des produits phytosanitaires sur la qualité de l'eau : enseignements d'une démarche participative Congrès IS Rivers Lyon du 4 au 8 juillet 2022.

♦ Armani G., Seguin L., Analyser la certification HVE et rendre discutable la notion de transition écologique avec les acteurs d'un territoire viticole. Rencontres des sociologues et politistes INRAE - Transition(s) : agriculture, alimentation, environnement. Janvier 2021.

♦ Gouy Boussada V. Evaluation de scénarios d'évolution de systèmes de culture et d'aménagements paysagers en vue d'améliorer la qualité des cours d'eau à l'échelle du bassin versant : retour d'expérience des projets SPIRIT-DIALECTIC. Séminaire du réseau INRAE «Systèmes Agricoles et Eau». Montpellier, 29 septembre 2023.

♦ Barreteau O., Abrami G., Seguin L., Malingrey S., Adoir E., Luzi H., Leteurtre E., Armani G., Carluer N., Grillot G., Lauvernet C., Rabotin M., Gouy V.



CAUSERIE : un jeu sérieux adossé à un SIG pour explorer des solutions collectives pour concilier agriculture et qualité de l'eau dans les têtes de bassins versants. Séminaire Payote, 19-20 octobre 2023.

### Présentation à des instances professionnelles ou de décision

♦ Séminaire de bilan du projet SPIRIT auprès des acteurs du Beaujolais : réflexion prospective sur des scénarios d'évolution à l'échelle du bassin versant et des leviers territoriaux pour concilier viticulture et qualité de l'eau. Saint Jean d'Ardières, 6 décembre 2023. Compte rendu et article de presse.

### Publications scientifiques

♦ Préau C., Tournebize J., Lenormand M., Alleaume S., Gouy Bousada V., Luque S., 2022. Habitat connectivity in agricultural landscapes improving multi-functionality of constructed wetlands as nature-based solutions. *Ecological Engineering* 182 (2022) 106725, <https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2022.106725>

♦ Barreteau O., Abrami G., Adoir E., Armani G., Grillot J., Leteurtre E., Luzi H., Malingrey S., Rabotin M., Seguin L., Carlier C., Lauvernet L and Gouy Bousada V, 2023.. CAUSERIE: a GIS-supported serious game to collective grounded solutions for crop and water protection in head catchments. In Nicolas Becu. *Proceedings of the 54th Conference of the International Simulation and Gaming As-*

*sociation: Simulation and Gaming for Social and Environmental Transitions*, 979-10-415-2760-1. halshs-04209935, pp. 215-225.

♦ Armani G., Gouy Bousada V. Facteurs d'émergence de dynamiques individuelles et collectives en faveur de pratiques plus respectueuses de l'environnement à l'échelle d'un territoire dans un contexte économique peu favorable. Soumis à la *Revue Vertigo*.

### Articles de valorisation/vulgarisation

Adoir E. et al., 2024. Concilier qualité de l'eau et viticulture en Beaujolais : nouveaux outils d'animation et évaluation de scénarios d'évolution du vignoble. Article soumis à la revue *La Tassée de la Chambre d'agriculture du Rhône*.

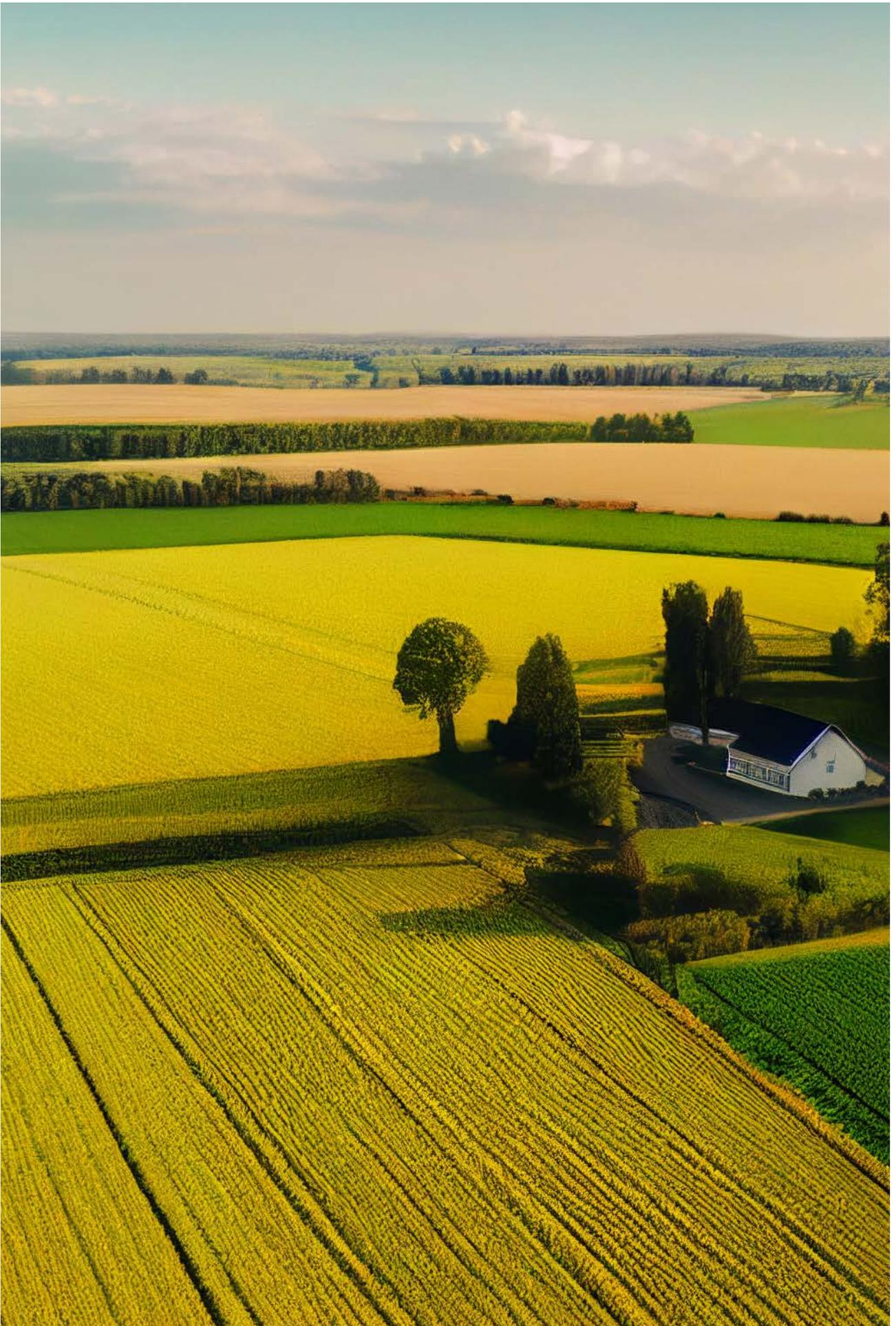
### Autres valorisations

Articles de presse dans *L'Information Agricole du Rhône*.

Mise en œuvre du jeu sérieux auprès de jeunes en formation BTS viticulture-œnologie des lycées de Rouffach et de Belleville-sur-Saône (2023) et auprès de jeunes en formation en IUT Génie Biologique, option Agronomie de l'université Lyon 1, et en Master Sciences de l'eau de l'université Lyon 2, respectivement les 19 et 22 mars 2024.

Le jeu sérieux CAUSERIE est disponible en ligne

 *Le jeu CAUSERIE*





ÉCOPHYTO  
RECHERCHE & INNOVATION

# TR A V E R S É E S

TRAjectoires de transition VERTueuses pour la Réduction des usages des pesticides aSSociant les leviers Ecologiques, Economiques, Sociaux et institutionnels à l'échelle du territoire

## Responsable scientifique



### Corinne Robert

INRAE AgroParis Tech ÉCOSYS,  
corinne.robert@inrae.fr

Corinne Robert est chercheuse à l'INRAE. Elle étudie les régulations écologiques dans les systèmes agricoles. Elle développe des projets transdisciplinaires qui visent à concevoir des trajectoires de transition agroécologique des territoires. Elle enseigne sur des questions de transitions au CERES (ENS) et elle porte un nouveau Master en Sciences de la durabilité à PSL.

## Partenaires

- ◆ INRAE UMR 1402 ÉCOSYS ;
- ◆ INRAE UMR 759 LEPSE ;
- ◆ INRAE UMR Économie publique ;
- ◆ INRAE UMR SADAPT ;
- ◆ INRAE UMR 518 MIA.

## Financements

**Coût total du projet :** 602 777 €

**Montant de la subvention OFB :** 290 280 €

## Le projet en bref

L'objectif de TRAVERSÉES est d'identifier des trajectoires de réduction d'utilisation des pesticides en réponse à divers leviers territoriaux. Pour cela, nous avons entrepris (1) une analyse systémique des facteurs écologiques, économiques, sociaux et individuels de changement des pratiques phytosanitaires des territoires, qui a nourri (2) le développement d'un modèle du socio-écosystème simulant des trajectoires de pratiques dans les territoires, qui a lui-même servi d'outil d'animation pour (3) un travail de prospective avec différents acteurs du territoire du Barrois. Des méthodes variées (enquête, entretiens, ateliers, revue, modélisation) et un partenariat transdisciplinaire (disciplines variées, agriculteurs, conseillers) ont nourri ce projet.

Multi-acteurs

Modélisation agent-centrée

Trajectoire

Modélisation participative

Socio-écosystèmes

Jeu sérieux

Infrastructures agroécologiques

Biodiversité

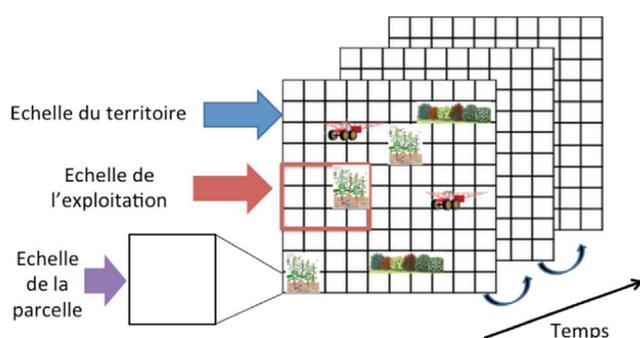
## Contexte et principaux objectifs

La réduction des pesticides dans les territoires requiert de considérer conjointement les composantes écologiques, économiques et sociales. Le territoire agricole est en effet un système socio-écologique dans lequel ces composantes sont étroitement liées et interagissent de façon complexe. La modélisation intégrant les dynamiques de ces différentes composantes permet de simuler des trajectoires de changement des territoires. Cependant, peu de réalisations de ce type de modélisation ont été réalisées jusqu'à présent. Le projet TRAVERSÉS s'est inscrit dans une démarche de modélisation du socio-écosystème couplant dynamiques écologiques et sociales à l'échelle du territoire.

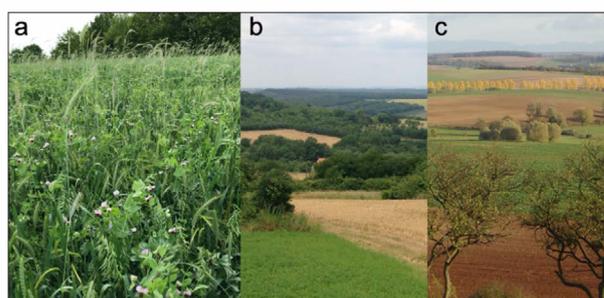
Le projet visait d'une part à améliorer une compréhension systémique des facteurs de changement des pratiques phytosanitaires et d'autre part à caractériser comment des leviers écologiques, économiques, sociaux et institutionnels, actionnés à l'échelle du territoire, permettent d'enclencher une dynamique de changement des comportements associé à une trajectoire de réduction des traitements. Pour y répondre, le projet portait alors un objectif méthodologique de développement d'un modèle de simulation des socio-écosystèmes capable de simuler l'effet de combinaisons de leviers sur les dynamiques écologiques et sociales des territoires et finalement sur les trajectoires de pratiques. Nous avons considéré les échelles spatiales de la parcelle au paysage (Fig. 1 et 2). Nous souhaitons caractériser les trajectoires par des in-

dicateurs variés tels que la baisse des épidémies, les profits des exploitations, et le nombre de traitements, en portant une attention à la balance entre les intérêts individuels des exploitations et ceux à l'échelle du territoire.

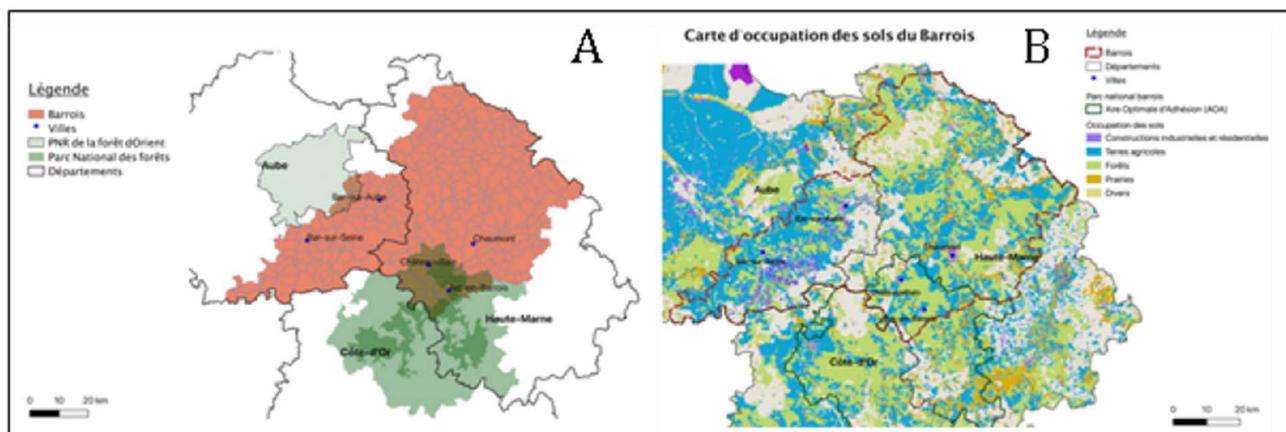
Le projet a rassemblé agriculteurs, techniciens agricoles, chercheurs et ingénieurs de la concertation, dans une réflexion commune de conceptualisation du territoire et dans une démarche de co-construction de scénarios et de trajectoires. Le Barrois, territoire de grandes cultures, a servi de territoire de référence au travail (Fig. 3) et plusieurs acteurs du Barrois ont été partenaires du projet. Une démarche d'aller-retour entre résultats génériques et spécificités du Barrois a été menée, associée à une méthodologie de modélisation participative.



**Figure 1 :** Conceptualisation du territoire : schématisation des échelles de la parcelle au paysage et des échelles temporelles annuelles et pluriannuelles considérées ainsi que des composantes écologiques (cultures et maladies) et sociales (agriculteur, voisin) pris en compte.



**Figure 2 :** Exemples de leviers écologiques de diversification végétale de la parcelle au paysage: a : mélange intra-parcellaire avec avoine, blé, orge, triticale, pois, vesce, féverole (Bais, Ille-et-Vilaine) ; b : diversité aux alentours des parcelles : cultures de luzerne et de blé entourées de prairies et de haies (Tincry, Moselle) ; c : paysage agricole en zone de polyculture-élevage mêlant vergers, prairies et pâtures, grandes cultures et éléments semi-naturels tels que haies et forêts (Saint-Médard, Moselle).



**Figure 3 :** Territoire du Barrois. A : localisation générale ; B : carte d'occupation des sols

## Principaux résultats en lien avec le plan Ecophyto

Le projet TRAVERSÉES est structuré en quatre axes (Fig. 4). Le premier vise à identifier les composantes écologiques et sociales d'un territoire influençant les pratiques agricoles notamment phytosanitaires. Le deuxième se concentre sur le comportement des agriculteurs. Le troisième intègre les connaissances des axes 1 et 2 pour développer un modèle du socio-écosystème territorial qui simule des trajectoires de pratiques en réponse à divers facteurs. Le quatrième utilise le modèle pour explorer des scénarios de leviers et les trajectoires associées. Les méthodologies utilisées incluent enquêtes, entretiens, ateliers participatifs, jeu sé-

rieux et modélisation.

**Les résultats majeurs sont de trois types :**

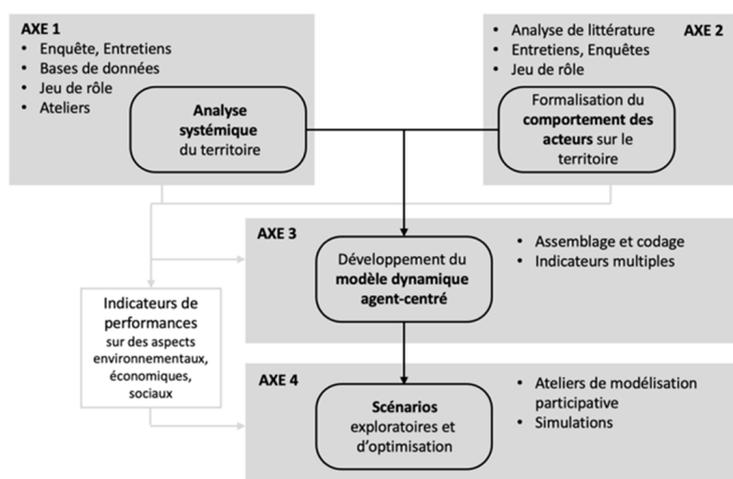
### 1. Acquisition de connaissances sur le fonctionnement du socio-écosystème en transition.

Des méthodologies variées ont été utilisées : développement et sessions de jeu de rôle « *La Traversée du Barrois* », entretiens, questionnaires et revues de littérature.

**L'étude révèle une multiplicité d'acteurs et de facteurs mis en jeu** pour le changement des pratiques, avec notamment l'importance des groupes d'agriculteurs et des formations. Dans le Barrois, la majorité des agriculteurs sondés souhaitent réduire leur usage de pesticides mais disent man-

quer d'alternatives. Au-delà des aspects économiques, les difficultés identifiées pour changer incluent un besoin de transformation profonde, du temps pour la mise en place et des informations parfois difficiles à trouver. Un renouvellement du conseil agricole est perçu comme nécessaire.

**Les travaux sur le comportement des agriculteurs** confirment que les décisions des agriculteurs sont influencées par différents facteurs agronomiques et économiques, psychologiques et sociaux. La confiance,



**Figure 4 :** Présentation des quatre axes du projet TRAVERSÉES et des méthodologies associées



la gestion du risque, la préoccupation environnementale, les liens au vivant ou encore la norme sociale jouent tous un rôle. Au-delà de l'identification de la multiplicité des facteurs, les travaux révèlent une grande variabilité de la sensibilité des agriculteurs à ces facteurs, en terme de type de facteur considéré mais également de niveau de sensibilité (Fig. 5).

**La compréhension des interactions entre inclusion d'infrastructures agroécologiques, réduction des bioagresseurs, réduction des pesticides et impacts environnementaux** inclut une revue sur les impacts variés et territoires-dépendants de l'inclusion des haies dans les paysages (Fig. 6). Nous avons également simulé l'impact de traitements pesticides sur les interactions entre régulations écologiques et l'inclusion des infrastructures via les effets écotoxicologiques sur les espèces non ciblées.

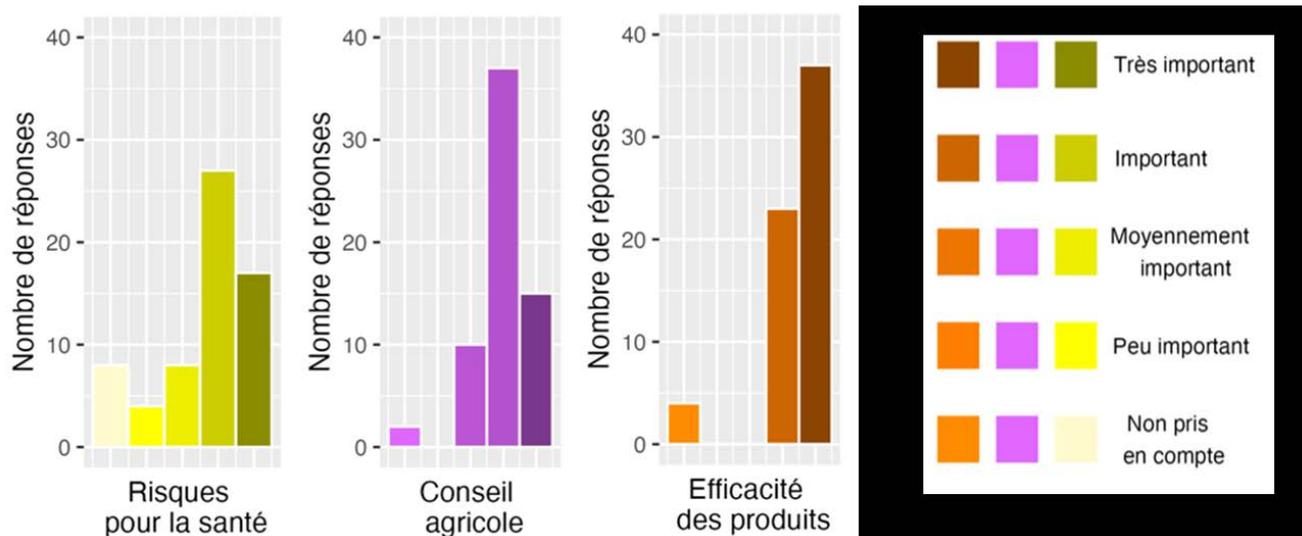
## 2. Modélisation des trajectoires du socio-écosystème en réponse à différents leviers

Les connaissances acquises ont été mobilisée pour le développement d'un modèle territorial simulant

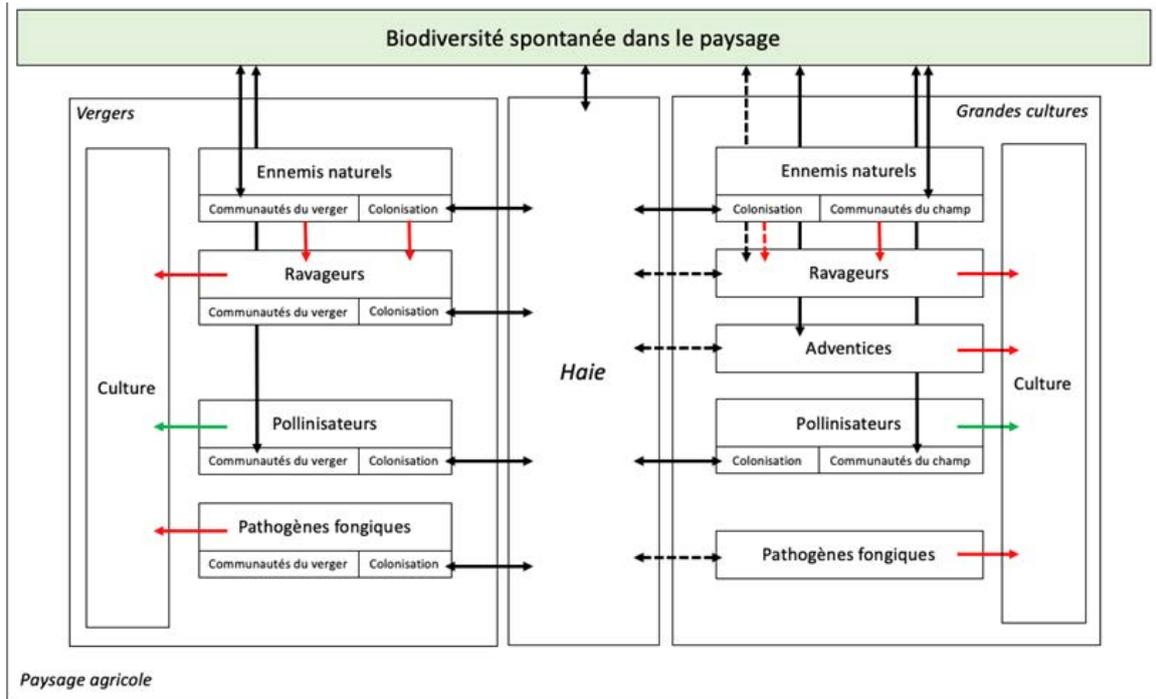
des trajectoires de pratiques agricoles. Le modèle simule la prise de décision, chaque année, de chacun des agriculteurs du territoire (en prenant en compte le profit, le niveau de maladie et les interactions sociales) et la dynamique de la maladie (en prenant en compte l'inoculum, la dispersion de la maladie et la pratique). Nous avons utilisé le modèle pour analyser l'impact de caractéristiques économiques (prix des pesticides), écologiques (pression de maladie) et agronomiques (efficacité des pratiques alternatives) sur les trajectoires de pratiques phytosanitaires (Fig. 7).

## 3. Travail avec les acteurs sur les leviers et les trajectoires en modélisation participative

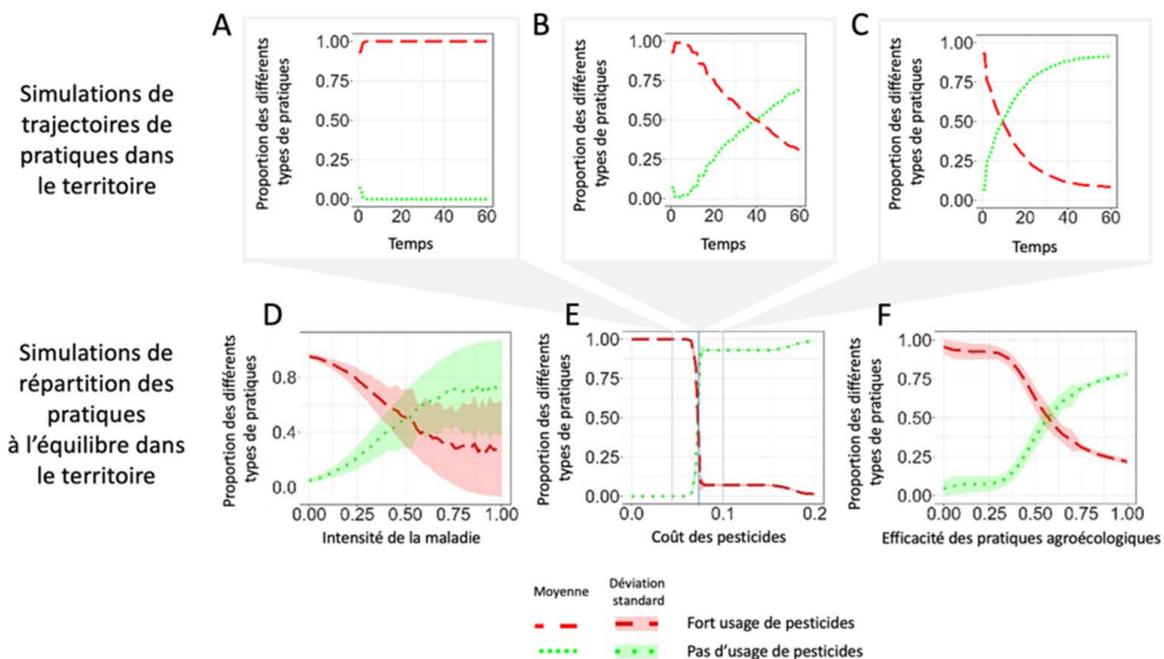
Un travail avec divers acteurs du Barrois a été réalisé autour du modèle développé utilisé comme outil d'animation sur les trajectoires de changement. Nous avons réalisé trois ateliers successifs (Fig. 8) sur (1) l'identification de leviers territoriaux pour promouvoir le changement, (2) les conditions initiales du modèle et les simulations associées, et (3) une réflexion prospective avec l'identification de trajectoires pour le Barrois.



**Figure 5** : Résultats de l'enquête réalisée auprès de 80 agriculteurs du Barrois (2020) concernant les facteurs pris en compte pour définir leur stratégie phytosanitaire. En jaune : facteur liés au risque sur la santé, en rose : rôle du conseil agricole, en marron : les facteurs économiques. Pour chacun des facteurs les agriculteurs répondent comment ils prennent ce facteur en compte (de « non pris en compte » à « très important »).



**Figure 6 :** Relations entre la biodiversité associée et les services de régulation biotique fournis par les haies dans les vergers et les grandes cultures. Les flèches noires indiquent le mouvement des organismes. Les flèches vertes et rouges indiquent les relations positives et négatives, respectivement. Les lignes pleines indiquent des relations bien établies, et les lignes pointillées des relations à explorer.



**Figure 7 :** Simulations obtenues avec le modèle socio-écologique développé dans TRAVERSÉS. En rouge : pratiques à fort usage de pesticides ; en vert : pratiques sans pesticides. La première ligne présente trois trajectoires de pratiques dans un territoire avec trois prix de pesticides A : faible, B : moyen, C : fort. La deuxième ligne présente la répartition des pratiques simulées à l'équilibre en fonction de trois paramètres du modèle. D : intensité de maladie, E : coût des pesticides, F : efficacité des pratiques agroécologiques. L'augmentation de ces trois paramètres conduit à une diminution de l'usage des pesticides mais avec des dynamiques très différentes.

## Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

### Transfert

Trois types de transferts sont identifiés :

→ **Mobiliser et transférer le jeu de rôle «La Traversée du Barrois»** à d'autres territoires pour un travail sur des trajectoires de changement et les freins.

→ **Utiliser les simulations du modèle du socio-écosystème pour guider des recommandations de politiques publiques à l'échelle territoriale.** Il s'agit de simuler les impacts, synergies ou antagonismes de divers scénarios de déploiement de leviers dans des territoires variés.

→ **Mobiliser la méthodologie de modélisation participative** avec différents groupes d'acteurs et de territoires afin de travailler sur la vision systémique du territoire et les trajectoires désirées et de faire émerger des dynamiques collectives territoriales.

### Recherche

Nous avons identifié trois pistes de recherche :

→ La prise en compte de **plusieurs bioagresseurs**, et au-delà d'autres fonctions écologiques, ainsi que **leur dynamique** dans le raisonnement de trajectoires de changement des territoires. Le projet RegHaies (OFB 2024-2028) a été monté dans cette optique.

→ L'analyse de la **variabilité des perceptions et des valeurs des agriculteurs** en lien avec le changement de pratiques phytosanitaires et la mise en place d'activités de sensibilisation autour des perceptions et des visions du monde.

→ **L'intégration des trajectoires écologiques et des sensibilités des agriculteurs dans le modèle du socio-écosystème** pour la simulation de trajectoires de changements plus réalistes face à des leviers variés.

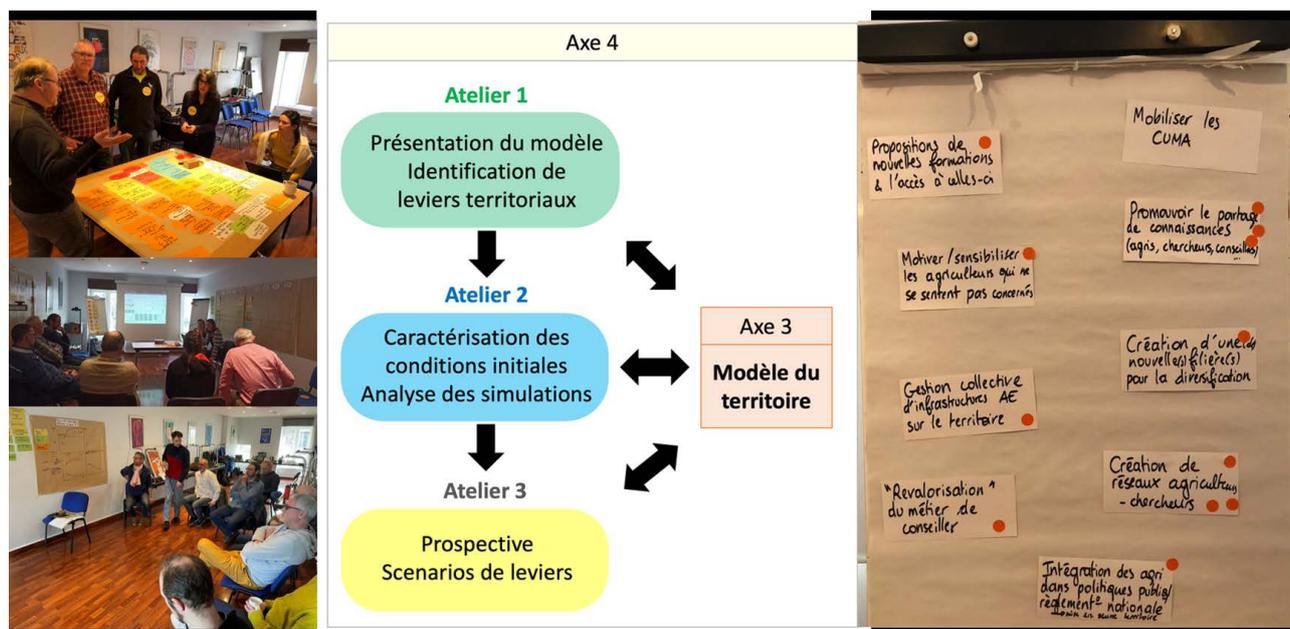


Figure 8 : Axe 4 du projet et organisation des trois ateliers de modélisation de participative avec des agriculteurs et des OPA du Barrois



## Livrables, valorisation et transfert réalisés

### Conférences scientifiques et techniques, avec et sans actes

Présentation du jeu de rôle la Traversées du Barrois aux Rencontres Jeux & Enjeux, Lille, 20 – 22 juin 2022.

Présentation à des instances professionnelles ou de décision

### Publications scientifiques

- ◆ Jacob M, 2020, « Les déterminants du comportement des agriculteurs vis-à-vis des produits phytosanitaires ». Projet tutoré à l'École Normale Supérieure.
- ◆ Honoré F 2020, « Les leviers et verrous du changement de pratiques phytosanitaires dans le Barrois ». Mémoire de stage de M2, Université Paris 1.
- ◆ Grohens L, 2021, « La participation dans un projet de recherche à travers la création d'un jeu de rôles ». Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome, Montpellier SupAgro.
- ◆ Meunier E, 2021, « Identifier les déterminants socio-cognitifs des pratiques phytosanitaires dans l'agriculture ». Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Psychologie sociale à l'Université Paris Nanterre.
- ◆ Précigout, P. A., & Robert, C. 2022. Effects of hedgerows on the preservation of spontaneous biodiversity and the promotion of biotic regulation services in agriculture: towards a more constructive relationships between agriculture and biodiversity. *Botany Letters*, 00(00), 1–29. <https://doi.org/10.1080/23818107.2022.2053205>
- ◆ Meunier, E., Smith, P., Griessinger, T., and Robert, C. 2023. Understanding changes in reducing pesticide use by farmers: Contribution of the behavioural sciences. *Agricultural Systems* 214. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103818>
- ◆ Dahirel M, 2022, « Modélisation des effets de traitement insecticide sur des populations de coccinelles et leur potentiel de biocontrôle à l'échelle du paysage ». Mémoire de Master 2 Biodiversité, Ecologie, Evolution, parcours Modélisation en Ecologie. Université de Rennes 1.
- ◆ Da Costa T, 2023. « Relation à la nature, perception des risques et attitude face au risque : exploration de facteurs comprendre l'usage de pesticides comportementaux pour mieux comprendre l'usage des pesticides ». Mémoire de Master 2 en Sciences Cognitives ; Cogmaster - Département d'Études Cognitives École Normale Supérieure.
- ◆ Gauthier L. 2023. Faire territoire autour de l'arbre champêtre : initiatives agroforestières au prisme des communs, une approche pluriscale. Thèse de doctorat. (Encadrement M. Pouzenc, C. Robert), Université de Toulouse 2 - Jean Jaurès.
- ◆ Bourceret, A., Accatino, F., and Robert, C. 2024. A Modeling Framework of a Territorial Socio-Ecosystem to Study the Trajectories of Change in Agricultural Phytosanitary Practices Under the Influence of the Territory's Ecological and Economic

Components. A paraître dans Ecological Modelling.

♦ Honoré, F., Carré, C., Robert, C. 2024. Entre rupture et inscription dans un territoire : saisir les expériences paysannes en agroécologie forte. A paraître dans Géographie Économie Société.

### Articles de valorisation/vulgarisation :

♦ Retour de l'enquête aux agriculteurs - Janvier 2021

♦ Newsletter TRAVERSÉES #1 – Avril 2021

♦ Newsletter TRAVERSÉES #2 – Octobre 2021

♦ Newsletter TRAVERSÉES #3 – Avril 2022

### Autres valorisations

♦ Cours ENS Ulm - 2022, 2023 et 2024 au Centre de Formation sur l'Environnement et la Société présentation du projet dans l'Atelier Transition

agroécologique et bien être.

♦ Cours UE «Modélisation» : « exemple du projet TRAVERSÉES », mai/juin 2022 à l'Institut Agro de Montpellier

♦ Jeu de rôle «La traversée du Barrois» : outils de concertation autour de la simulation de trajectoires de changement de pratiques agricoles et phytosanitaires des agriculteurs du Barrois.

♦ Lots de cartes utilisées pour les entretiens, dont les résultats ont servi de base à la conception du jeu de rôles

♦ Un simulateur des dynamiques du territoire qui permet de tester une combinaison de leviers écologiques et sociaux sur les trajectoires de pratiques

♦ Une méthodologie de modélisation participative en trois ateliers réalisés auprès d'agriculteurs et de conseillers du Barrois

### Jeu de rôle : la Traversée du Barrois

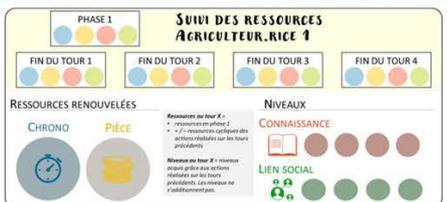


**Les objectifs du jeu**

- (1) Cerner les composantes du territoire du Barrois liées aux trajectoires de pratiques
- (2) Identifier des freins et leviers à la transformation des exploitations
- (3) Promouvoir un dialogue pour réfléchir collectivement aux trajectoires

**Le concept**

Le jeu met en scène des agriculteurs qui ont pour objectif de transformer leur exploitation, et un Organisme de Formation Agricole (OFA), qui propose des formations. A partir d'un état initial et d'un objectif fixé au début du jeu, les agriculteurs doivent transformer leur exploitation en sélectionnant différentes actions qui nécessitent différentes ressources (temps, argent, réseau social, connaissances).



**L'initialisation**

Le jeu commence par la construction des rôles. Chaque agriculteur construit son exploitation et choisit son objectif parmi des propositions. Ces choix déterminent un état initial de ressources.

**Le déroulement du jeu**

A chaque tour, les agriculteurs réalisent des actions, individuellement ou collectivement, selon les ressources disponibles afin d'atteindre leur objectif. L'OFA propose des formations aux agriculteurs.



**La fin de partie**

La partie se termine par un débriefing. Chacun explique l'exploitation qu'il a construite, l'objectif qu'il s'est fixé, la stratégie développée pour atteindre cet objectif, puis donne son point de vue sur l'évolution de l'utilisation des produits phytosanitaires au cours de la partie. Pour finir, les participants sont invités à prendre du recul et à faire le parallèle avec la réalité.



ÉCOPHYTO  
RECHERCHE & INNOVATION

# INTERLUDE

INnovations TERRitoriales pour  
la Réduction des produits  
phytopharmaceutiques en production  
LégUmière DURABLE

## Responsable scientifique



### Mireille Navarrete

INRAE, Unité Ecodéveloppement  
mireille.navarrete@inrae.fr

Mireille Navarrete est directrice de recherche à INRAE, en agronomie-système. Ses recherches en interdisciplinarité portent sur l'analyse et l'accompagnement des transitions agroécologiques, et sur le couplage d'innovations agronomiques, économiques, organisationnelles, sociales, etc.

## Co-présentatrice



### Marion Casagrande

INRAE,  
marion.casagrande@inrae.fr

Marion Casagrande est agronome système et ingénieure de recherche contractuelle à INRAE pour les projets INTERLUDE et BE-CREATIVE. Ces deux projets portent sur la co-conception de scénarios territoriaux de réduction de l'usage des produits phytosanitaires

## Partenaires

- ◆ INRAE ;
- ◆ CIRAD ;
- ◆ CTIFL ;
- ◆ ITAB ;
- ◆ Chambre d'agriculture 66 ;
- ◆ Chambre d'agriculture 83.

## Financements

**Coût total du projet : 511 816 €**  
**Montant de la subvention OFB : 295 052 €**

## Le projet en bref

La mise en œuvre de pratiques agroécologiques à même de réduire l'usage des produits phytosanitaires dans les exploitations maraichères est freinée par les pratiques des autres acteurs du système agri-alimentaire. Dans le projet INTERLUDE, chercheurs et acteurs socioéconomiques ont conçu des innovations dans 4 territoires français. En coordonnant les agriculteurs, les fournisseurs d'intrants, les conseillers et/ou les opérateurs de la commercialisation, ces innovations visent à favoriser l'adoption de pratiques agroécologiques. Les résultats sont méthodologiques (cadre d'analyse, outils pour soutenir la conception) et thématiques (13 prototypes d'innovation multi-acteurs coconçues).

[Site du projet](#) - en cours de construction

Systèmes écologiques et sociaux

Innovation couplée

Recherche participative

Coordination entre acteurs

Leviers agronomiques et socioéconomiques



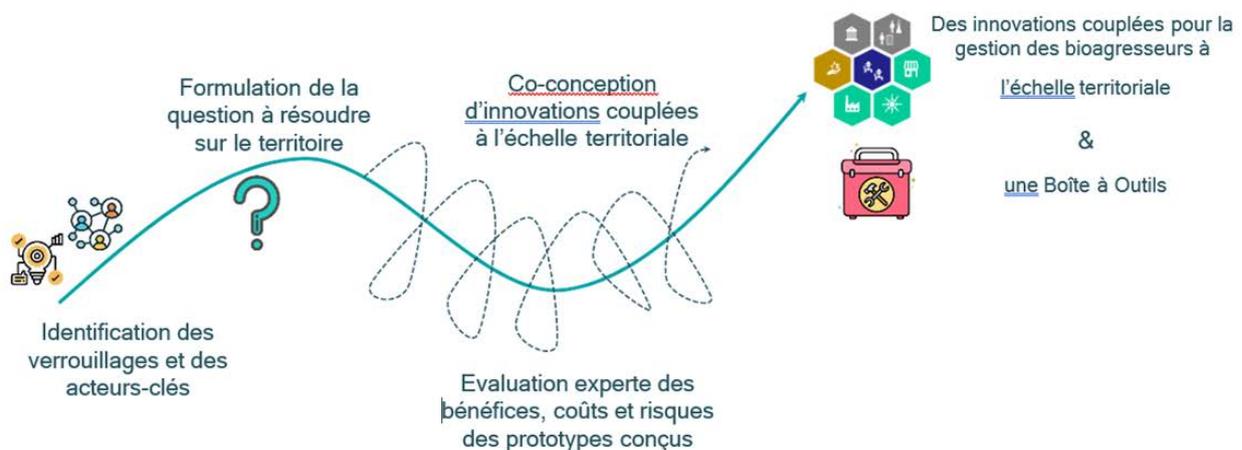
## Contexte et principaux objectifs

La réduction des produits phytosanitaires (PPS) dans les exploitations maraichères est contrainte par la structuration du secteur, avec des filières de production d'intrants et de commercialisation des légumes très spécialisées. La commercialisation en circuits long est structurée autour de cahiers des charges portant une forte attention à la qualité visuelle, et subit de fortes concurrences nationales et internationales. Tous ces facteurs freinent le déploiement de pratiques agroécologiques comme la diversification des rotations culturales, le développement du biocontrôle, l'introduction de plantes de service ou de paillages alternatifs, l'apport de matière organique active, alors même que ces leviers sont reconnus pour leur capacité à réduire les risques de développement des bio-agresseurs et favoriser les régulations naturelles.

**Le projet INTERLUDE vise à comprendre ce processus de verrouillage et à coordonner les acteurs des filières amont et aval à l'échelle de territoires pour lever les freins.** L'hypothèse est qu'en faisant évoluer les stratégies des acteurs à l'échelle territoriale, cela favorisera l'adoption de pratiques agroécologiques dans les exploitations. Les recherches s'appuient sur le concept d'innovation couplée (Meynard et al., 2017), c'est-à-dire de la combinaison cohérente d'innovations techniques, technologiques, organisationnelles et/ou institutionnelles mobilisant une diversité de parties prenantes du système agroalimentaire (production, transformation, commercialisation, etc.). La démarche de recherche (Fig. 1) est à la fois interdisciplinaire (agronomie, pathologie végétale, écologie, économie, modélisation) et transdisciplinaire (chercheurs, conseillers, producteurs, filières amont et aval).

Elle repose sur :

1. la construction d'un cadre analytique du système sociotechnique (relations entre acteurs, processus de verrouillage, leviers de déverrouillage) et d'outils pour soutenir le diagnostic des freins à la réduction des PPS, la conception et l'évaluation d'innovations couplées dans les cas d'étude.
2. la conception et l'évaluation d'innovations couplées dans quatre territoires (Provence, Roussillon, Martinique et Guadeloupe) et leur analyse transversale pour produire des enseignements génériques.



**Figure 1 :** Démarche d'ensemble du projet



## Principaux résultats en lien avec le plan Ecophyto

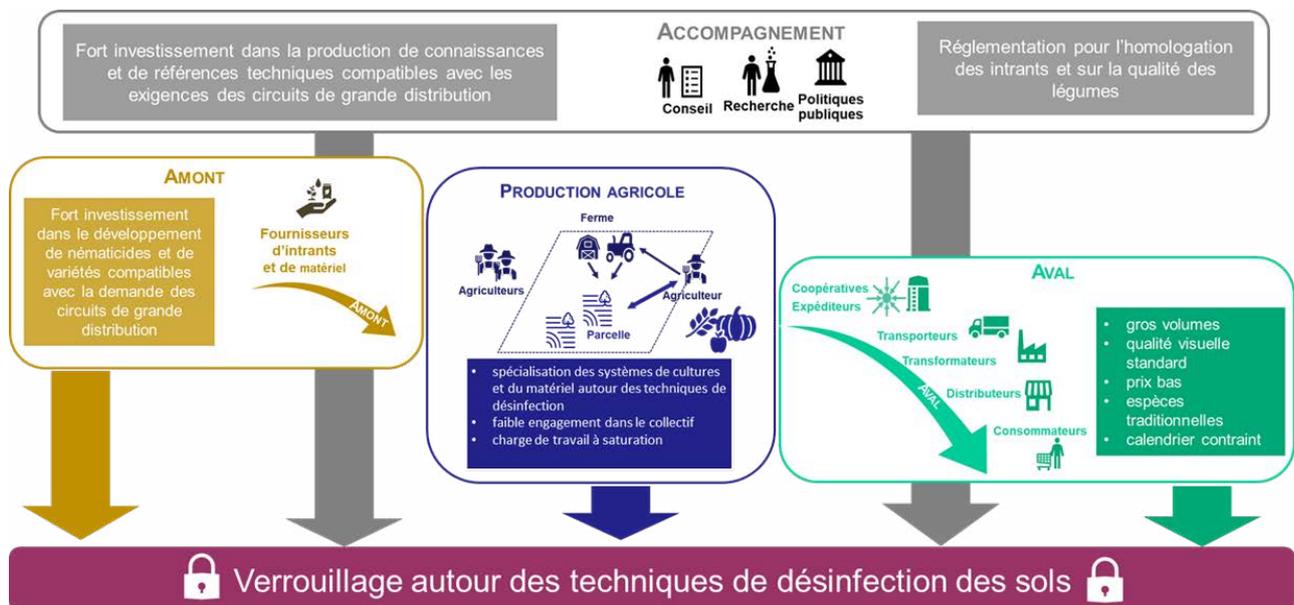
Le projet INTERLUDE a produit des résultats de natures très variées, à la fois d'ordres scientifique (S) et opérationnel (O).

- a. **des concepts et cadres d'analyse (S)** : un cadre d'analyse combinant trois approches traitant des questions écologiques et sociales (Angeon et al., 2024) : services écosystémiques, systèmes socio-écologiques et systèmes socio-techniques ; une conceptualisation de l'innovation couplée en maraichage (Navarrete, Casagrande et al., soumis).
- b. **des outils et méthodes (S/O)**, remobilisables en production légumière et adaptables pour d'autres secteurs de production. Les ressources méthodologiques portent sur (i) le diagnostic du problème à résoudre et des freins au changement de pratiques (Casagrande et

al., 2023), (ii) l'appui à la conception d'innovations couplées (5 tâches critiques à réaliser et les ressources bibliographiques associées), et (iii) l'évaluation des innovations conçues. La démarche construite progressivement dans le projet est explicitée dans des brochures et vidéos à destination d'acteurs intéressés pour mettre en place de telles démarches sur d'autres territoires ou pour d'autres questions.

- c. **des résultats thématiques sur la filière maraichère (S/O)** :

→ caractérisation fine des freins et leviers à la réduction des PPS en maraichage dans chaque territoire : nous montrons comment les différents acteurs du système agri-alimentaire contribuent chacun, par leur stratégie, à rendre difficile l'adoption par les maraichers de pratiques agroécologiques (ex : manque de connaissances et de conseil technique sur les cultures de diversification, stratégie d'économie d'échelle dans la commercialisation, non mutualisation des risques économiques avec les agriculteurs, etc)



**Figure 2 :** Processus de verrouillage. Exemple autour de la désinfection chimique des sols en Provence (source : projet INTERLUDE)



→ une preuve de concept de l'innovation couplée en maraichage : peu de travaux ont jusqu'à présent porté sur les coordinations entre acteurs pour favoriser la transition agroécologique en production maraichère. La comparaison des 4 territoires a mis en évidence des points communs et des divergences (Navarrete, Casagrande et al., soumis) qui peuvent être inspirants pour la conception d'innovations couplées dans d'autres territoires ou sur d'autres thématiques que la réduction de l'usage des PPS.

**d. une explicitation des compétences à mobiliser et des postures requises (O)** pour que des acteurs des territoires puissent accompagner la conception d'innovations couplées, comme les chercheurs l'ont fait dans le temps du projet dans les 4 territoires étudiés. A travers un cahier des charges de la formation, ces éléments seront mobilisables dans des formations professionnelles à venir.

**e. un élargissement des collaborations dans les 4 territoires d'étude (O)** entre des acteurs de la recherche et de la R&D et des acteurs économiques (filiales amont/aval) et institutionnels (acteurs des politiques publiques), collaborations qui pourront déboucher sur de nouveaux projets

L'ensemble des résultats seront prochainement accessibles sur la page INTERLUDE du site [www.picleg.fr](http://www.picleg.fr). Certains de ces résultats sont aboutis tandis que d'autres méritent encore des approfondissements. En particulier, les « innovations » produites dans les territoires d'étude sont des prototypes, dont les acteurs économiques doivent encore se saisir pour les mettre à l'épreuve, les enrichir et les adapter. De plus, l'évaluation des prototypes dans ses dimensions agronomiques, environnementales, économiques et sociales a été initié mais devrait maintenant être outillée.

## Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

### Transfert

Les innovations conçues sur chaque cas d'étude sont des pistes de travail pour les acteurs de ces territoires. L'analyse trans-cas que nous avons conduite devrait être une source d'inspiration pour résoudre d'autres problèmes complexes sur d'autres territoires.

Deux éléments de blocage sont identifiés : (i) capacité à trouver un acteur socioéconomique ou institutionnel ayant le mandat et les compétences pour porter la démarche de conception, après le départ des chercheurs ; (ii) capacité des opérateurs de commercialisation en circuits longs à soutenir les changements de pratiques en exploitation, ce qui suppose de revoir les modèles économiques de partage de la valeur dans les filières.

### Recherche

Les innovations conçues sur chaque cas d'étude sont des pistes de travail pour les acteurs de ces territoires. L'analyse trans-cas que nous avons conduite devrait être une source d'inspiration pour résoudre d'autres problèmes complexes sur d'autres territoires.

Deux éléments de blocage sont identifiés : (i) capacité à trouver un acteur socioéconomique ou institutionnel ayant le mandat et les compétences pour porter la démarche de conception, après le départ des chercheurs ; (ii) capacité des opérateurs de commercialisation en circuits longs à soutenir les changements de pratiques en exploitation, ce qui suppose de revoir les modèles économiques de partage de la valeur dans les filières.



## Livrables, valorisation et transfert réalisés

### Journées techniques professionnelles

- ◆ Le projet INTERLUDE : INnovations TERRitoriales pour la Réduction des produits phytopharmaceutiques en production LégUmière DurabIE, Rencontres DEPHY /GIS PICleg (3-5/10/23)
- ◆ Construire des scénarios territoriaux pour réduire L'usage des produits phytosanitaires en maraichage, Rencontres DEPHY Cultures spécialisée (15-16/11/23)

### Conférences scientifiques et techniques, avec et sans actes

- ◆ Parrot et al. (2022) Does history matter? The case of innovation management in weed management in a watershed in Martinique. Colloque IHC2022 (Angers, août 2022)
- ◆ Navarrete et al. (2023) Concevoir des innovations couplées à l'échelle des territoires pour permettre la réduction des produits phytosanitaires en production maraichère. Les enseignements du projet INTERLUDE. Rencontres du végétal Angers, exposé introductif
- ◆ Parrot L. (2023) Les approches globales pour limiter l'utilisation des produits phytopharmaceutiques : le rôle de l'action collective et du numérique, Rencontres du végétal Angers, Poster
- ◆ Tamagoua J. et al (2023) Modelling plant-nematodes interactions to understand plant tolerance. IMACS 2023 - 21st World Congress, Sep 2023, Rome, Italy
- ◆ Chave M. et Krasova Wade T. (2024) Ingénierie agro-écologique : comment valoriser les champignons mycorhiziens ? Key-note pour Session 3 : Applications et ingénierie biologique (agriculture, restauration des milieux), Journées Francophones des Mycorhizes, 14-16 mai 2024, Montpellier
- ◆ Navarrete et al. (2024) Analyzing sociotechnical barriers and fostering innovation to diversify crop

rotations in sheltered vegetable cropping systems. Studies in South-eastern France. Communication acceptée pour le colloque IFSA (à venir, juillet 2024, Trapani Sicile)

- ◆ Présentation à des instances professionnelles ou de décision
- ◆ Construire des scénarios territoriaux pour réduire L'usage des produits phytosanitaires en maraichage, Rencontres CAN DEPHY (28/09/23)

### Publications scientifiques

- ◆ Angeon et al. (2024) A conceptual framework linking ecosystem services, socio-ecological systems and socio-technical systems to understand the relational and spatial dynamics of the reduction of pesticide use in agrifood systems, Agricultural Systems 213, 103610
- ◆ Chave et al. (2023) Biosolutions : dépasser le paradigme de la substitution pour une production maraichère écologisée en Guadeloupe, Innovations Agronomiques 92
- ◆ Parrot L., Varenne M. (2023) Concevoir des innovations couplées à l'échelle des territoires pour permettre la réduction des produits phytosanitaires en production maraichère. Mondes en développement 204, 131-148
- ◆ Navarrete, Casagrande et al. (soumis) Des innovations couplées pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires en production maraichère. Analyse transversale de 4 territoires en France métropolitaine et aux Antilles, soumis à Innovations Agronomiques

### Articles en cours d'écriture :

- ◆ Navarrete et al. : Freins et leviers à la diversification en maraichage (valorisation de la communication IFSA, à soumettre à Agroecology and Sustainable Food Systems)
- ◆ Angeon et al. : les circuits de commercialisation de proximité (valorisation du stage de M Strand)
- ◆ Parrot et al : Peut-il exister un développement durable sans alliance ? le rôle de l'évaluation, à soumettre dans Mondes en développement

### Expertise scientifique :

- ◆ Participation de M. Navarrete et V. Angeon



à l'expertise scientifique « Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles ». <https://www.inrae.fr/actualites/protoger-cultures-diversite-vegetale>

#### Articles de valorisation/vulgarisation :

- ◇ Deux exemples de diagnostics pour réduire l'usage des pesticides, Travaux et Innovations 2023 N°302, p16-18
- ◇ Réduction des pesticides, lever les freins à l'échelle du territoire, Travaux et Innovations 2023 N°302, p14—15
- ◇ Sensibilisation des acteurs de l'aval à leur rôle central pour la réduction PPP (article en cours de rédaction, à soumettre dans Info CTIFL)

#### Mémoires de stage d'ingénieur

- ◇ Ghestem F. (2020) Caractérisation et modélisation de stratégies de gestion durables des populations de nématodes a galles M. incognita
- ◇ Bousquet E. (2021) Situations de recours aux produits phytopharmaceutiques hors produits de biocontrôle dans leurs différents usages en cultures légumières dans les Pyrénées Orientales et repérage des freins à leur réduction; Synthèse (mémoire de stage confidentiel)
- ◇ Michel E. (2020) A Sociotechnical Analysis in Market Gardening Systems - Understanding the barriers and levers to agroecological soil management in Provence.
- ◇ Signarbieux O. (2021) Développement agricole sur le bassin versant du Galion en Martinique ou Une histoire de la captation de la valeur ajoutée par des tiers au détriment des petits.
- ◇ Cnudde M. (2021) Diagnostic des besoins en termes de compétences des agents du développement agricole pour accompagner la transition agroécologique à l'échelle du système socio-technique.
- ◇ Desombre J. (2022) Biocontrôle et biostimulation comme alternatives aux produits phytopharmaceutiques en maraichage aux Antilles.
- ◇ Eypert L. (2022) Co-conception de scénarii territoriaux de développement des stratégies de biocontrôle et biostimulation dans le secteur légu-

mier aux Antilles françaises.

- ◇ Strand M. (2022) Analyse des circuits de proximité au sein de trois terrains d'étude contrastés (Provence, Roussillon, Martinique)
- ◇ Michel S. (2022) Feasibility study of a mulching sector using recycled organic matter in vegetable production – Galion watershed, Martinique.
- ◇ Darets S. (2023) Co-conception de scénarios territoriaux permettant de réduire le recours aux produits phytosanitaires au sein de la filière maraîchère des Pyrénées-Orientales

#### Autres valorisations

##### Brochures

- ◇ Situations de recours aux produits phytopharmaceutiques hors produits de biocontrôle dans leurs différents usages en cultures légumières dans les Pyrénées-Orientales et repérage des freins à leur réduction, Brochure, 2021
- ◇ Analyse sociotechnique des systèmes maraîchers en Provence Repérage des freins et leviers au développement de pratiques agroécologiques pour la gestion de la santé du sol, Brochure, 2022

##### Vidéos de présentation de la démarche réalisée sur certains cas d'étude

##### Ressources méthodologiques

- ◇ Guide méthodologique pour le diagnostic des freins et leviers sociotechniques au processus d'innovation dans des systèmes agri-alimentaires, 2023, INRAE, 66p. <https://doi.org/10.17180/w78m-dn95>
- ◇ Inventaire des outils d'évaluation pour la co-conception de scénarios de gestion territoriale des bioagresseurs, Grille d'évaluation mutidimensionnelle des innovations
- ◇ Boîte à outils pour les acteurs menant des projets de gestion territoriale des bioagresseurs en filière légumière (en cours de finalisation)

##### Contribution à l'enseignement et à la formation professionnelle

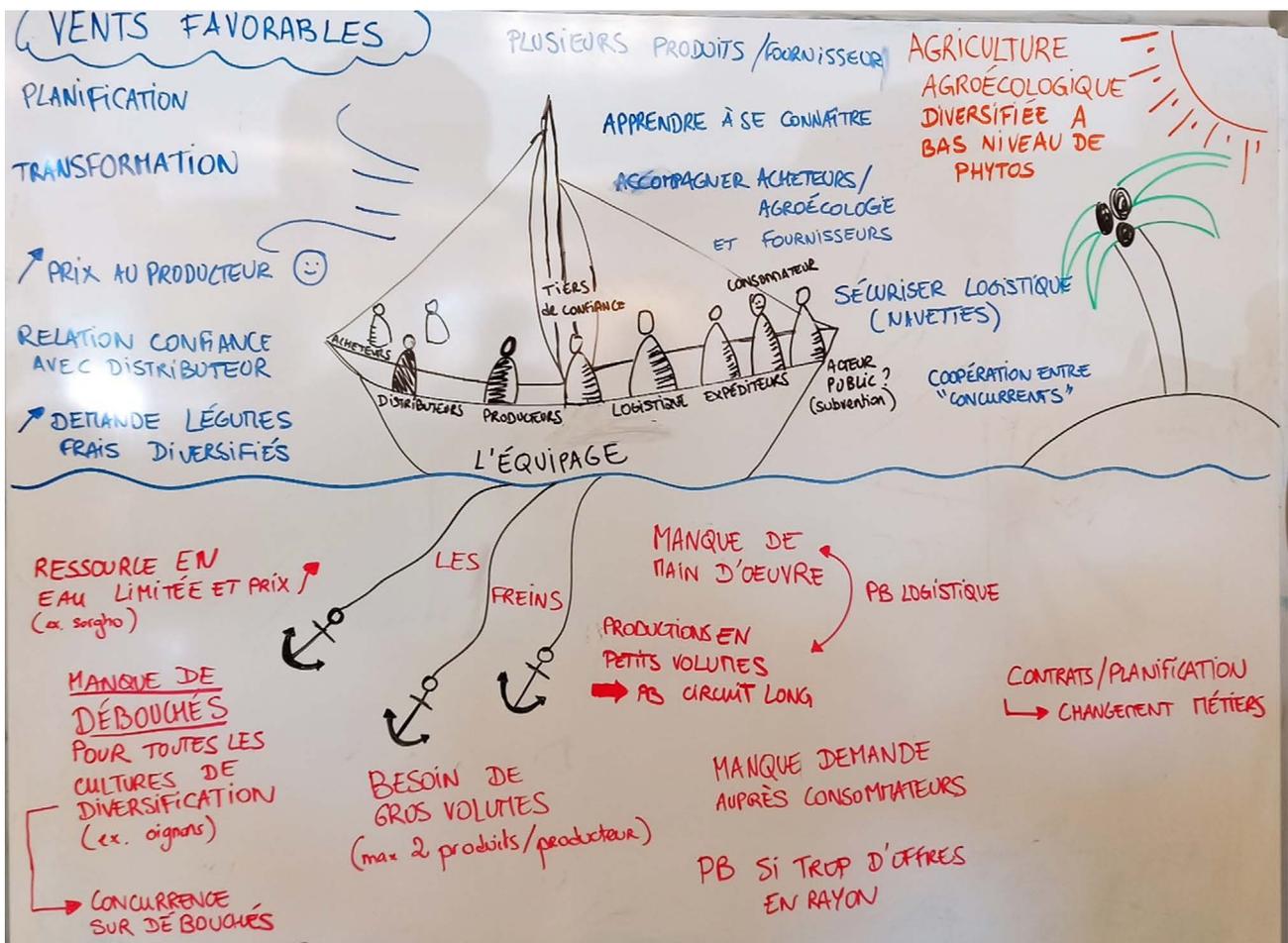


♦ Enseignements dispensés : L. Parrot L (2023) Intervention au Master Stratégies de développement agricole, Université Paris Saclay 17/03/23

♦ Cahier des charges de formation pour des conseillers et animateurs accompagnant la co-conception de scénarios territoriaux (en cours de finalisation)

♦ Enseignements/formations prévus à destination des professionnels : Module qui enrichira la formation à la co-conception de systèmes de culture légumiers et l'expérimentation-système en lien avec PIClég (formation Ctifl) ; module qui enrichira la formation à la co-conception à destination des ingénieurs DEPHY (formation CAN DEPHY) ; modules intra et inter-entreprises à destination des metteurs en marché

Site du projet - en cours de construction



Exemple d'outil de facilitation graphique pour favoriser l'interaction entre acteurs (ateliers sur la diversification des cultures, Avignon, 2024)





Gestion Territoriale de la Ceratite en Corse par la Technique de l'Insecte Stérile

## Responsable scientifique



**Ghais Zriki**

CTIFL

ghais.zriki@ctifl.fr

Ghais ZRIKI est un ingénieur de recherche en biocontrôle au CTIFL depuis février 2022. Il porte un PhD en écologie et biodiversité de l'Université de Montpellier (2020), ses travaux de recherche portent principalement sur l'écologie des arthropodes et le biocontrôle des ravageurs de cultures.

## Partenaires

- ◆ CTIFL,
- ◆ AREFLEC, UMR ISA,
- ◆ INRAE PACA, UMR AMAP,
- ◆ CIRAD,
- ◆ GREDEG UMR 721,
- ◆ Université Côte d'Azur

## Financements

**Coût total du projet :** 688 960 €

**Montant de la subvention OFB :** 289 809 €

## Le projet en bref

Quand on parle du succès de la Technique de l'Insecte Stérile (TIS) pour contrôler les ravageurs des cultures, on cite son utilisation contre la cératite. La TIS a été intégrée dans les programmes de gestion de la cératite dans plusieurs pays en Amériques et en Europe, mais pas encore France. En Corse, la cératite est le ravageur principal des agrumes et fruits d'été, les solutions durable de sa gestion sont très limitées. Le projet CeraTIS-Corse a étudié le potentiel de la TIS pour la gestion de la cératite en corse en mettant en œuvre un essai pilote des lâchers des mâles stériles dans le bassin de Vescovato.

Ceratita Capitata

Technique insecte stérile

Modélisation

Biocontrôle

Intégration sociétale



## Contexte et principaux objectifs

L'arboriculture fruitière joue un rôle socio-économique majeur en Corse : 2ème source économique et l'un des principaux employeurs de l'île.

La mouche méditerranéenne **Ceratitis capitata** ou la **cératite** est le **ravageur principal des agrumes** et fruits d'été. Les conditions climatiques de l'île et la phénologie successive des cultures impliquent une nuisibilité importante (Fig.1) d'avril à décembre. La gestion de la cératite en Corse repose principalement sur des produits phytopharmaceutiques utilisés à l'échelle de la parcelle. Au-delà des limites techniques (baisse progressive d'efficacité) et des risques de résidus sur les fruits, ces traitements engendrent des déséquilibres écosystémiques générant la recrudescence de ravageurs secondaires, nécessitant de nouvelles applications de pesticides. Une transition vers des pratiques plus durables est un impératif et une exigence politique et sociétale. **La Technique de l'Insecte Stérile (TIS)** rassemble des caractéristiques de mise en œuvre et de performance attractives : spécifique d'un ravageur cible, permettant à terme de s'affranchir des pesticides, et nécessitant **la conception d'une stratégie de gestion coopérative et multi-acteurs**. L'efficacité de la TIS dépend cependant d'une mise en place intégrant d'autres outils compatibles, et prenant en compte le territoire dans son ensemble.

**Le projet CeraTIS Corse** a pour objectif principal d'identifier les leviers techniques, écologiques et socio-économiques pour un déploiement durable. Il repose sur une opération pilote de lâchers de mâles stériles sur un site de 800ha comprenant une mosaïque de cultures d'agrumes et fruits d'été (Fi. 2). Ce site est situé dans le bassin de Vescovato en Corse. Celle-ci est accompagnée d'activités de recherche visant à mieux comprendre l'environnement écologique (dynamiques de population en jeu en fonction du paysage et de la phénologie des cultures) afin de proposer les modalités de lâchers de mâles stériles adaptées, d'en simuler et analyser l'effet. Un deuxième axe étudie l'environnement socio-économique qui permettrait l'adoption et le succès d'un programme à l'échelle du territoire (perception, identification des acteurs, évaluation technico-économique). Cette approche interdisciplinaire permettra de fournir aux différents porteurs d'enjeux, les informations nécessaires pour considérer l'intégration de la TIS dans la gestion territoriale de ce ravageur : projections de l'effet de la TIS à long terme sur les populations de Cératites sur le site étudié, propositions de dispositifs opérationnels pour le territoire.



**Figure 1** :Fruits infestés par des larves de *C. capitata*  
 (crédit photo B. Quaglietti)

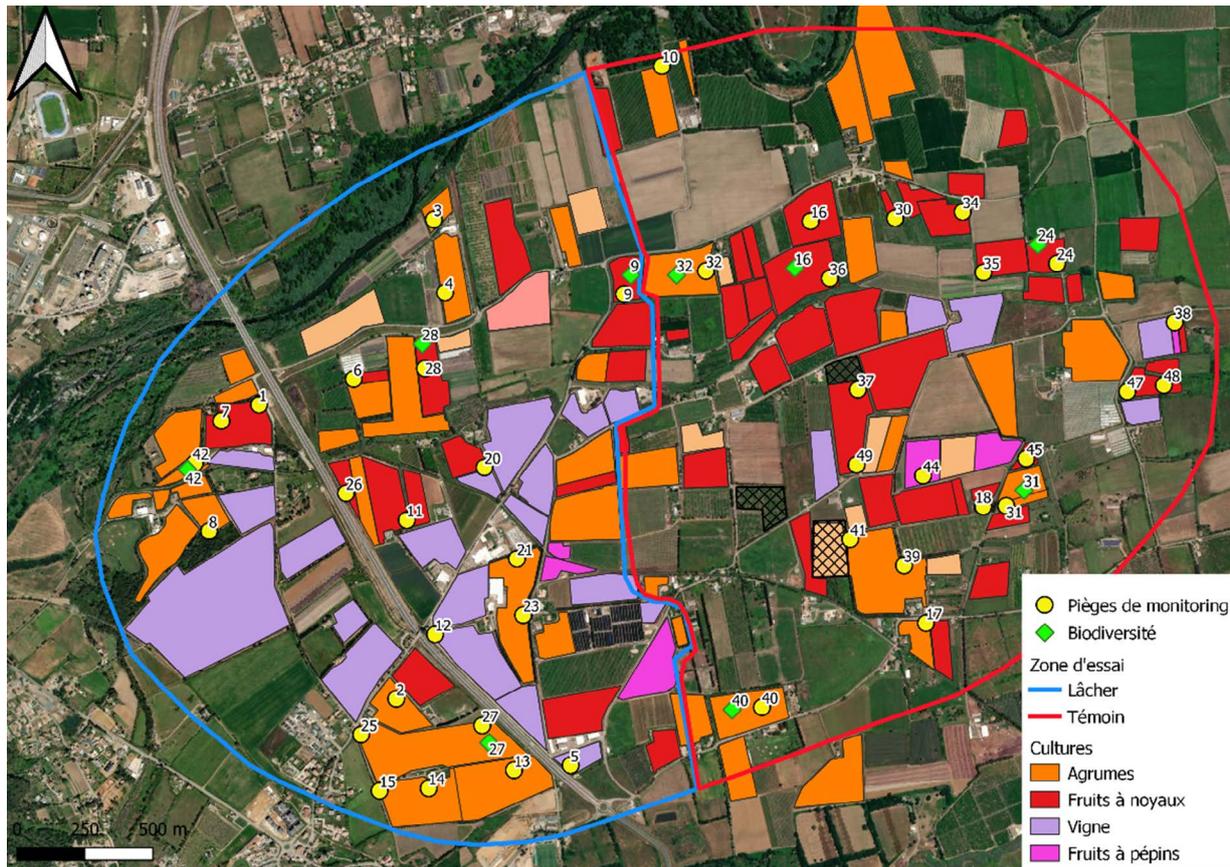


Figure 2 : Cartographie de la zone d'étude en Haute-Corse à Vescovato

## Principaux résultats en lien avec le plan Ecophyto

L'opération pilote TIS consistait à réaliser trois campagnes des lâchers stériles (2021 à 2023). L'unité d'élevage massif de la cératite TRAGSA se situe à Valence en Espagne et elle est la seule en Europe. L'opération des lâchers stériles en Corse a été basée sur l'import des mâles stériles vendus sous une forme de chrysalides (pupes) de TRAGSA. Notre opération a été confrontée à des difficultés logistiques liées à l'importation des mâles stériles. Ainsi, une seule campagne de lâchers stérile a été réalisée en 2022 sur 34 semaines (semaine 16 à 49) (Fig. 3). Environ 400k mâles stériles ont été lâchés par semaine sur une zone de 300 ha de cultures fruitière. En total, 9,5 mi mâles stériles ont été lâchés et leur dispersion et survis sur le terrain ont été suivis. La mise en place opérationnelle de ces lâchers a été réalisé avec la participation des producteurs de la zone d'essai. Les méthodes de

luttons prophylactiques mises en place par les producteurs locaux ont également été intégrées pour positionner les lâchers.

La réalisation d'une seule campagne de lâchers stériles n'a pas permis d'évaluer l'efficacité de la TIS dans le contrôle de population sauvage de la cératite dans la zone de l'étude. Cependant, l'ensemble des activités de recherche associées à l'opération pilote a permis une meilleure compréhension de la dynamique de la population de la cératite en Corse. En outre, le projet a permis d'établir des modèles mathématiques pour l'application de la TIS pour une gestion territorialisée de la cératite.

En Corse, la période d'activité de la cératite s'étend de mai à fin décembre et sa présence est concomitante avec la maturité et la sensibilité des fruits d'été et des agrumes principalement (Fig. 4). Le suivi de la densité de la population sauvages a aidé à développer un modèle pour représenter les dynamiques de la cératite dans le contexte des cultures fruitières caractéristiques de la zone d'étude en



Corse. D'autres modèles, développés dans le cadre du projet se sont focalisés sur l'impact de la qualité des mâles stériles (i.e. le niveau de la fertilité résiduelle chez les mâles irradiés qui varie entre 1.13±0.55 %) sur les stratégies de lâchers. Ces modèles prennent en compte le comportement des femelles sauvages accouplées par les mâles sauvage et/ou stériles afin d'en étudier les conséquences sur l'efficacité de la TIS.

L'analyse de ces différents modèles mathématiques montre que la prise en compte de ces paramètres aide à déterminer le nombre de mâles stériles à relâcher pour obtenir l'efficacité attendue de la TIS. Ces modèles sont ainsi un outil important pour une application territoriale de la TIS en Corse en prenant en compte les conditions environnementales et leur influence sur la dynamique de la cératite dans les zones ciblées. L'approche socio-économique qui accompagne la réalisation du projet dès son démarrage a permis d'identifier les attendus de producteurs vis-à-vis du déploiement de la TIS et aussi de déterminer les

Dynamique pluri-annuelle des cératites sauvages

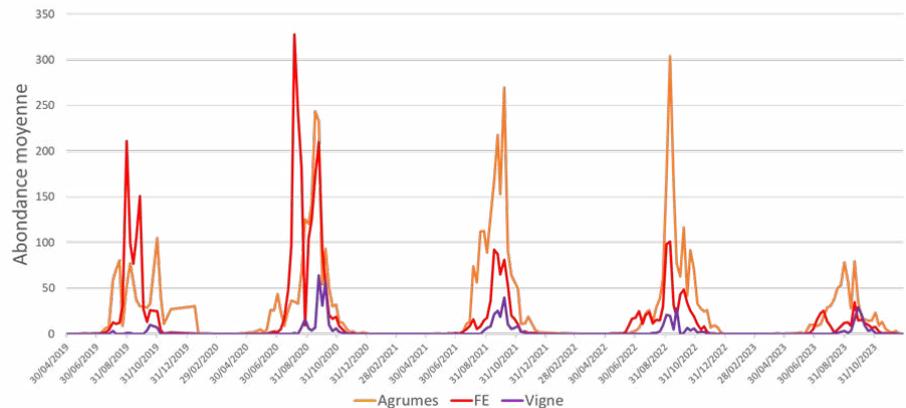


Figure 4. Dynamiques pluriannuelles des cératites sauvages en culture d'agrumes, fruits d'été (FE) et Vigne dans le bassin de Vescovato en Corse.

facteurs principaux pour fonder un déploiement durable. La communication avec les acteurs du terrain est un élément central pour mettre en place un modèle organisationnel de déploiement. CeraTIS Corse contribue au plan Ecophyto 2+ par le développement de méthodologies et de connaissances nécessaire au déploiement d'un nouveau type de solution, territorialisé et multi-acteurs, sortant des modèles classiques d'utilisation d'intrants. CeraTIS Corse propose une méthode ayant de multiples externalités positives : sur la biodiversité, sur la santé, sur l'engagement des acteurs territoriaux dans la démarche agroécologique.

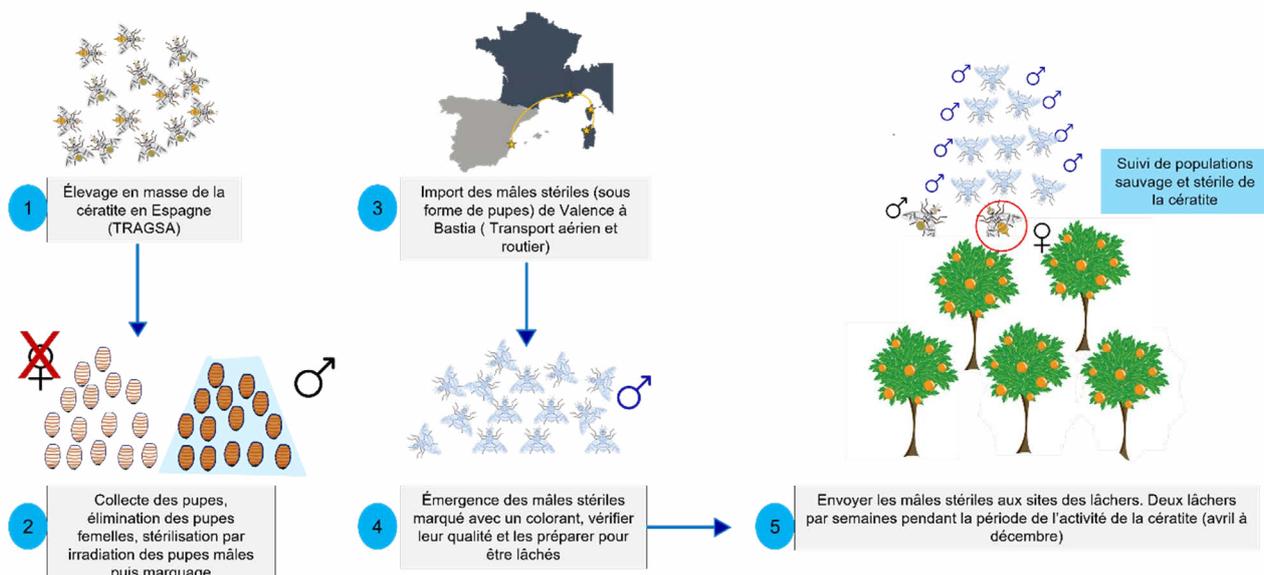


Figure 3.: La Technique de l'Insecte Stérile. Les Étapes principales de la mettre en œuvre dans la zone ciblée.



## Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

### Transfert

L'étude des dynamiques de la cératite sur les territoire corse est un prérequis pour le développement d'un programme de gestion intégrant la TIS comme un élément central. Les modèles développés dans le cadre de ce projet représentent les dynamiques de la cératite et l'impact des lâchers stériles sous l'efficacité de la TIS. Ces modèles sont des outils importants pour l'application de la TIS et son déploiement territorial en Corse et en France. La participation des producteurs dans la réalisation du projet (lâchers des mâles stériles et suivi des pièges) a permis de les sensibiliser davantage sur la TIS et l'importance de la prophylaxie pour la réussite de cette technique.

### Recherche

Les modèles mathématiques développés ici ont mis en évidence l'importance de la fertilité résiduelle chez les mâles stériles et des paramètres des femelles sauvages après ré-accouplement. Étudier l'impact de ces paramètres sur l'efficacité des lâchers en conditions du terrain est une piste importante à investiguer. Dans le prospectif de de l'application de la TIS, une stratégie combinant toutes méthodes alternatives du contrôle devrait être étudiée à l'échelle du territoire Corse. Des analyses d'efficacités avec des indicateurs économiques devrait être réalisées afin de déterminer la stratégie la mieux adaptée au contexte socio-économique du territoire.

## Livrables, valorisation et transfert réalisés

### Journées techniques et colloques scientifiques

#### Interventions lors de colloques nationaux et internationaux

- ◆ Conférence BIOMATH (2021)
- ◆ Conference: "Institutional logics and the conflictual emergence of new agricultural practices" PROS 2021 (Boutet, Bui, Cajaiba Santana, Parmentier Cajaiba) Consortium Biocontrôle
- ◆ MC et al. "Sterile insect technique against the medfly: modelling, calibration and effect of residual fertility" (ECMTB – Heidelberg- September 2022)
- ◆ Conférence plénière YD, "On the usefulness of Mathematics in Crop protection" (ADEANS, Dur-

ban, South Africa – September 2022)

- ◆ Conférence plénière YD « Mathematical issues in Crop protection, yield improvements, and Pest Control », (conference D2SSAL, Bedlowo, Poland) en Mai 2022
- ◆ MC et al. How does residual fertility impact the effectiveness of the sterile insect technique in controlling *Ceratitis capitata*? MPDEE – Marseille, April 2023
- ◆ MC et al. Sterile insect technique for crop protection: accounting for residual fertility. DSABNS, Bilbao, February 2023
- ◆ MC et al. Sterile insect technique for crop protection: accounting for residual fertility. MOMI 2023, Sophia Antipolis, April 2023
- ◆ LM et al. A sex- and stage-structured population dynamics model for pest control using the sterile insect technique. MPDEE – Marseille, April 2023
- ◆ Workshops IAEA
- ◆ Collectif TIS



### Conférences scientifiques et techniques, avec et sans actes

Présentation à des instances professionnelles ou de décision

Réunions avec les producteurs et techniciens de la chambre d'agriculture en Corse (2022)

### Publications scientifiques

◆ Yves Dumont, Clelia Oliva. On residual fertility and remating in the Sterile Insect Technique against fruit flies. BIOMATH 2021 - International Conference on Mathematical Methods and Models in Biosciences, Jun 2021, Pretoria, South Africa. hal-03286380

◆ Y. Dumont. 2022. Mathematical issues in crop protection, yield improvement, and pest control. In : Dynamical systems and applications in life and social sciences -Book of Abstracts - DSAL2S. Bedlewo : IMPAN, 2 p.. Dynamical Systems and Applications in Life and Social Sciences, 2022-05-08/2022-05-13, Bedlewo (Pologne).

◆ Yves Dumont, Clelia F.Oliva, On the impact of re-mating and residual fertility on the Sterile Insect Technique efficacy: case study with the medfly *Ceratitis capitata*. PLOS Computational Biology, 2024, vol. 20, no 5, p. e1012052

◆ Courtois et al. How residual fertility impacts the efficiency of crop pest control by the sterile insect technique. Sub. to JTB

### Articles de valorisation/vulgarisation

Mise en ligne de comptes-rendus techniques sur les sites CTIFL, AREFLEC, INRA ISA, UCA, Collectif

TIS

Articles d'information dans Infos CTIFL

Compte rendu sur la qualité des *C. capitata* TRAG-SA stériles.

### Autres valorisations

◆ Compléments d'information à la page «Lutte autocide» du portail EcophytoPIC

◆ Fiche de connaissance TIS pour l'outil GECCO

◆ Package R issu des activités de recherche en modélisation

◆ Présentations lors des journées portes-ouvertes et de rencontres techniques des partenaires

◆ Deux Rapports de Stage M1 & M2

◆ Obtention bourse Doctorat INRAE 2022-2025 : Modélisation de la Technique de l'Insecte Stérile dans un contexte agricole : comment intégrer les réalités biologiques et techniques pour optimiser son déploiement ?

◆ Atelier « Modélisation TIS » organisé à la réunion.

◆ Intervention Fête de la Science : TIS et point de basculement. Sophia 10/2022. Création d'une application web Python/streamlit.

◆ Présentation du projet CeraTIS au salon Alternatives aux pesticides au lycée agricole de Borgo 15/12/22 (JD). Edition de flyers sur le projet CeraTIS pour vulgarisation et communication.

◆ Module sur la Technique de l'Insecte Stérile

◆ Sensibilisation protection cultures, biocontrôle

◆ Exploitation bifurcation

◆ Appli interactive web / smartphone basé modèles dynamique des populations



Gestion territoriale collective des bioagresseurs des bananiers en Martinique

## Responsable scientifique



**Philippe TIXIER**  
CIRAD  
tixier@cirad.fr

Chercheur en écologie et agronomie tropicale au CIRAD, mobilisant des approches holistiques et la modélisation pour utiliser la biodiversité comme levier de conception de systèmes de culture, en particulier sur les enjeux de régulation des bioagresseurs des bananiers.

## Partenaires

- ◆ CIRAD UPR GECO,
- ◆ BANAMART,
- ◆ Institut Technique Tropical IT2<sup>2</sup>,
- ◆ Presta'SCIC

## Financements

**Coût total du projet :** 399 263 €

**Montant de la subvention OFB :** 299 447 €

## Le projet en bref

Le projet BanaMosaïc a visé à développer des leviers de gestion supra-parcellaire pour réduire l'utilisation de pesticides dans la culture de la banane en Martinique, notamment pour lutter contre la Maladie des Raies Noires et du charançon du bananier. Ce projet a combiné i) l'analyse de bases de données existantes, ii) la mesure de l'effet des interfaces entre les parcelles sur la dispersion des bioagresseurs, iii) le développement et l'utilisation d'outils de modélisation pour comprendre l'épidémiologie de ces bioagresseurs à l'échelle territoriale, et iv) des ateliers de réflexion avec des agriculteurs pour une gestion concertée.

Bananaïe

Interfaces entre parcelles

Effet barrière

Modélisation

Haies

Gestion paysagère

Gestion concertée

Bassins

Dynamique des bioagresseurs

Pièges à phéromones



## Contexte et principaux objectifs

La production de bananes est l'activité agricole prédominante des Antilles françaises, en termes économiques, d'emploi et de superficie cultivée. Historiquement, cette culture a été associée à une consommation élevée de pesticides et au scandale sanitaire de la pollution par le Chlordécone. Cependant, au cours des 15 dernières années, les producteurs de bananes ont réussi à réduire considérablement leur utilisation de pesticides (-70 % entre 2005 et 2020). Néanmoins, deux principaux bioagresseurs, la maladie des raies noires (MRN) causée par *Pseudocercospora fijiensis* et le charançon noir du bananier *Cosmopolites sordidus*, constituent les principales contraintes de cette culture et nécessitent de nombreuses applications de pesticides. Ces deux bioagresseurs présentent des traits de vie contrastés (cycle de vie, capacité de dispersion), ce qui donne une certaine généricité aux travaux sur leur régulation. La MRN a des cycles courts et une grande capacité de dispersion, tandis que le charançon noir a des cycles plus longs et une capacité de dispersion plus faible. Dans les deux cas, il est essentiel de gérer ces bioagresseurs à plusieurs échelles. Les travaux précédents (notamment dans le cadre du projet Ecophyto DEPHY EXPE - BANABIO) se sont concentrés sur la gestion à l'échelle de la parcelle (par exemple, gestion de l'effeuillage pour réguler les dégâts et les dommages de la MRN ; utilisation de pièges à phéromones pour contrôler le charançon noir au sein des parcelles). La lutte contre ces deux bioagresseurs est actuellement organisée à l'échelle individuelle des différentes exploitations agricoles (335 producteurs ; plus de 5 100 ha). Une meilleure compréhension de l'échelle à laquelle il convient de considérer les dynamiques épidémiques est nécessaire pour élaborer une gestion concertée de ces bioagresseurs, impliquant les acteurs de la filière 'banane' et les autres acteurs du territoire.

Le projet a visé à :

- i) **Identifier des éléments du paysage** qui peuvent servir de leviers pour la gestion des bioagresseurs. Cela comprend les interfaces entre les parcelles, l'organisation spatiale des cultures, la gestion des sources d'inoculum et la gestion spatialisée des moyens de lutte,
- ii) **Mobiliser des outils de modélisation** pour mieux comprendre le rôle de chaque échelle dans la dynamique des bioagresseurs et comme support pour la co-conception de modes de gestion territoriaux,
- iii) **Promouvoir une gestion collective** en encourageant la collaboration et la coordination entre les différents acteurs,

- iv) **Etablir les connaissances** permettant une gestion contextualisée notamment en fonction des conditions pédoclimatiques et au contexte paysager,
- v) **Comprendre comment les structures paysagères** peuvent potentiellement limiter la dispersion des bioagresseurs et ainsi participer à leur régulation,
- vi) **Favoriser une gestion multi-échelle et concertée** en comprenant quels sont les leviers et obstacles à l'émergence d'une concertation entre les acteurs, afin de mieux raisonner les assolements et les moyens de lutte.



*Exemples de bassin de production de banane, montrant l'intrication des parcelles au sein du paysage.  
 Crédits photos : Projet Banamosaïc*



## Principaux résultats en lien avec le plan Ecophyto

Nous avons établi que les **haies contribuent à restreindre la propagation de la MRN**. Bien qu'elles ne constituent pas une solution complète pour contrôler entièrement cette maladie, elles offrent néanmoins une stratégie supplémentaire de gestion qui peut être encouragée. Au-delà des haies, cela plaide aussi pour l'intégration de 'barrières' au sein des parcelles, comme des **rangées d'arbres ou la combinaison de bananiers avec d'autres arbres** (dans le cadre de systèmes agroforestiers).

Nos résultats permettent en outre de déterminer les espèces d'arbres les plus efficaces pour limiter la dispersion de la MRN. Au final, nous avons estimé que **les haies peuvent par exemple réduire d'environ 40% la maladie pour une parcelle jouxtant une source d'inoculum avec la substitution de 2 rangs de bananiers en bordure de parcelle**.

Nos résultats ont révélé que, dans le paysage, les zones de **bananiers non gérées** (comme les parcelles abandonnées) sont des **sources majeures de spores** qui influencent la dynamique de la maladie sur les parcelles. C'est la première fois que nous avons pu prouver et quantifier cet effet. Ces découvertes suggèrent qu'il est nécessaire de ren-

forcer les incitations à la gestion de ces zones, par exemple en **détruisant les parcelles abandonnées et en effeuillant les bananiers dans les jardins privés**. Il serait sans doute souhaitable de diffuser ces informations au grand public.

Dans le cadre de la **gestion du charançon noir**, la caractérisation de l'efficacité des interfaces entre parcelles dans la limitation du déplacement de ce ravageur a montré que **seuls les drains avec de l'eau libre et des lignes de pièges à phéromones permettent de freiner à 90% la contamination entre parcelles**. Les autres interfaces testées (haies, routes, bandes enherbées...) étaient toutes très perméables au déplacement de cet insecte. Cela implique tout d'abord que les lignes de pièges à phéromones sont un moyen de gestion supra-parcellaire (jusqu'à présent ignoré). Ainsi des lignes de pièges pourraient être utilisées pour isoler des zones saines de zones contaminées. Enfin, le rôle de l'eau libre n'était jusqu'à présent pas considéré dans les stratégies d'assainissement par jachère. Au regard de nos résultats, il semblerait pertinent de les structurer en raisonnant par zones isolées par de l'eau libre (rivière, canaux, ...).

De l'analyse de la base de données de piégeage du charançon noir de Presta'SCIC, il a été possible **démontrer l'importance majeure de la phase**



Exemple de plantes pièges utilisées pour mesurer l'inoculum de *Pseudocercospora fijiensis*.  
 Crédits photos : Projet Banamosaic



Exemple de haies étudiées dans le projet.

Crédits photos : Projet Banamosaïc



**d'assainissement des populations de charançons** (jachère, rotation) sur la dynamique globale de ce ravageur. Au-delà de la définition des pratiques optimales de piégeage dans les jachères, nos résultats montrent clairement que des **pratiques mal maîtrisées engendrent des populations résiduelles au moment de la replantation des bananiers**, engendrant une explosion des populations en quelques années. Cela implique de manière pratique que la **replantation des bananiers devrait se faire seulement après à un assainissement total du charançon**.

**Nos ateliers participatifs** dans les deux zones pilotes ont révélé un intérêt marqué pour les pratiques innovantes développées dans le cadre du projet BanaMosaïc. Cependant, ils ont également **mis en évidence un certain nombre d'obstacles** techniques et organisationnels à la mise en œuvre de pratiques de gestion supra-parcellaire et à la coordination entre les agriculteurs. Cela suggère qu'il est **essentiel de continuer à informer les acteurs des zones de production**, y compris les agriculteurs, les techniciens et le grand public, sur ces pratiques innovantes. Il est également nécessaire de **structurer des espaces de dialogue** et de gestion collective, par exemple par sous-bassin de production, qui favoriseraient l'adoption de pratiques coordonnées.



*Illustration de la tenue des ateliers participatifs. Petits groupes d'agriculteurs réfléchissant de manière concrète au déploiement des leviers territoriaux pour la gestion des bioagresseurs des bananiers.*



## Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

### Transfert

#### Implications pratiques

→ La sélection des espèces d'arbres utilisables dans les haies, notamment en considérant les autres services fournis à l'agriculteur et à la société représente une suite importante du projet.

→ La gestion des foyers de bioagresseurs est essentielle pour une gestion efficace des bioagresseurs des bananiers.

→ La gestion du charançon noir devrait mieux considérer le réseau hydraulique et favoriser l'assainissement à une échelle plus large.

→ Les lignes de pièges à phéromones représentent un levier intéressant pour isoler des zones saines et contaminées au sein des exploitations et du paysage.

→ La prise en compte de la variabilité de l'efficacité du piégeage à phéromone avec les conditions climatiques pourrait être intégrée dans les stratégies de piégeage du charançon noir dans les jachères.

→ Un test de qualité d'assainissement des jachères vis-à-vis du charançon noir permettrait de mieux raisonner les replantations.

### Recherche

Les résultats du projet BanaMosaïc incitent tout d'abord à instaurer une politique de recherche et de développement des haies (et de l'agroforesterie) afin de participer à la régulation de la MRN. Les différents services et dis-services associés à ces haies mériteraient d'être mieux évalués. Une autre piste serait de développer la communication auprès de tous les acteurs impliqués dans le territoire afin de mieux gérer les foyers de bioagresseurs, cela pourrait impliquer des études plus sociologiques.

## Livrables, valorisation et transfert réalisés

### Journées techniques et colloques scientifiques

Présentation des résultats du projet aux journées technique de l'IT2. 2021 et 2023. Le Lamentin, Martinique. (Public cible : producteurs)

### Conférences scientifiques et techniques, avec et sans actes

♦ Tixier, P. 2020. Gestion territoriale collective des bioagresseurs des bananiers en Martinique. Sémi-

naire de lancement ECOPHYTO, vendredi 9 octobre 2020.

♦ Delatouche, L., de Lapeyre de Bellaire, L. Husson, E., Tixier, P. 2021. Quantification of landscape composition on airborne diseases using a dynamic model, application to *Pseudocercospora fijiensis* in Martinique. Communication orale au congrès Landscape 2021, 20 and 22 September 2021, Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Müncheberg, Germany

♦ Participation au congrès : Landscape 2021, JES



2022 (Journée d'Etude Scientifique, organisée par ANSANM Doctorant.es Jeunes Chercheur.es, Martinique), XVII Congress of ESA 2022 (European Society of Agronomy), Ecologie & Evolution 2022 (SFE2, GfÖ, EEF)

♦ Delaplace, A., Cottin, G., Tixier, P., Coulis, C. 2022. Analyse des stratégies d'assainissement mises en œuvre face au charançon noir du bananier (*Cosmopolites sordidus*, Germar 1824). Communication orale à la JES (Journée d'Etude Scientifique) organisée par ANSANM Doctorant.es Jeunes Chercheur.es, Martinique, jeudi 17 mars 2022 sur le campus de Schoelcher, Martinique

♦ Delatouche, L., Tixier, P., Sainte-Rose, J., Daribo, M.-O., de Lapeyre de Bellaire, L. 2022. How hedgerow characteristics alter *Pseudocercospora fijiensis* dispersal? XVII Congress of ESA, Potsdam, Germany, 29 August - 2 September 2022

♦ Delatouche, L., 2022. Quantification of the effect of hedgerows on the dispersal of *Pseudocercospora fijiensis*. International conference in Ecologie & Evolution (SFE2, GfÖ, EEF), Metz, 21-25 novembre 2022

♦ Tixier, P. 2024. BANAMOSAIÏC : Gestion territoriale collective des bioagresseurs des bananiers en Martinique. Restitution finale des projets «Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques» Colloque Ecophyto – Carrefours de juin 2024, Paris.

### Présentation à des instances professionnelles ou de décision

♦ Atelier de restitution du projet à l'ensemble des producteurs de banane de Martinique. 7 décembre 2023. CAEC, Le Lamentin, Martinique.

♦ Publications scientifiques

♦ Delatouche, L. Tixier, P., Sainte-Rose, J., Daribo, M.-O., de Lapeyre de Bellaire, L. 2024. How do hedgerow characteristics alter the dispersal of *Pseudocercospora fijiensis* propagules? Pest Management Science, 80, 1454-1464.

♦ Delaplace, A., Coulis, M., Cottin, G., Tixier, P. 2024a. Effect of climatic variables and pheromone

trapping strategy on the capture of *Cosmopolites sordidus* in banana fallows. Crop Protection, 176, 106501.

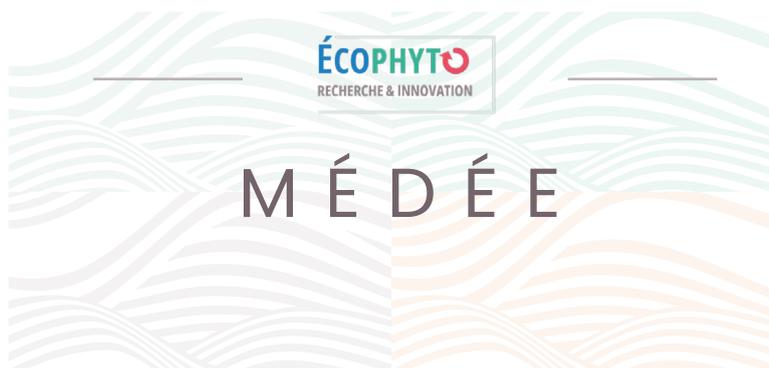
♦ Delaplace, A., Coulis, M., Chapillon, L., Cottin, G., Tixier, P. 2024b. Stop me if you can: quantification of the effect of interfaces between plots on the dispersal of *Cosmopolites sordidus*. Pest Management Science, 79, 5106-5115.

♦ Delatouche, L., de Lapeyre de Bellaire, L., Tixier, P., 2023. Disentangling the factors affecting the dynamic of *Pseudocercospora fijiensis*: quantification of weather, fungicide and landscape effects. Phytopathology, 113, 31-43.

♦ Delatouche, L., Tixier, P., Daribo, M.-O., Sainte-Rose, J., de Lapeyre de Bellaire, L. Deciphering the magnitude and the time of action of weather factors on the allo-inoculum dynamics of *Pseudocercospora fijiensis* in Martinique. Soumis à Plant Pathology

### Articles de valorisation/vulgarisation

♦ Delatouche, L., Tixier, P., Sainte-Rose, J., Daribo, M.-O., Husson, E., Gibert, S., Monsoreau, L., De Lapeyre de Bellaire, L. 2023. Des haies dans les bananeraies face à la cercosporiose noire. Phytoma (768) : pp. 39-43. <https://url-r.fr/pmhaies>



Vers des Mosaïques agricoles économes en pesticides : de la modÉlisation à la concertation territoriale pour le DÉploiEment des cépages Résistants

## Responsable scientifique



**Frédéric Fabre**  
INRAE UMR SAVE  
frederic.fabre@inrae.fr

Frédéric Fabre, chercheur INRAE, travaille sur l'épidémiologie et l'évolution des agents pathogènes des plantes, notamment les champignons et les phytoplasmes de la vigne. Les applications concernent la gestion durable des variétés résistantes aux maladies et sur l'épidémiosurveillance du vignoble.

## Partenaires

- ◆ INRAE UMR SAVE, UR pathologies, UR Biops
- ◆ Cave coopérative « Les vigneron de Buzet »

## Financements

**Coût total du projet : 376 353 €**  
**Montant de la subvention OFB : 158 617 €**

## Le projet en bref

Nous avons développé un modèle mathématique couplant les mécanismes de l'épidémiologie végétale et les analyses économiques pour simuler des scénarios de déploiement des variétés de vigne résistantes au mildiou dans des paysages viticoles réels. Ces scénarios sont évalués pour leurs effets sur le contrôle des épidémies, la durabilité des résistances, la réduction des traitements et leurs performances économiques. Ce modèle a été utilisé avec les équipes de la cave coopérative « Nous les vigneron de Buzet » au cours de 4 ateliers pour co-construire et comparer des stratégies de déploiement des variétés résistantes sur les 1935 ha (soit 95% de l'AOC Buzet) du territoire de la coopérative.

Cépages résistants

Gestion durable des résistances

Mosaïques territoriales

Ateliers participatifs

Modélisation

## Contexte et principaux objectifs

Réduire l'usage des fongicides est un enjeu majeur en viticulture. L'obtention de variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium est une innovation des plus prometteuses, ces maladies entraînant près de 80% des traitements sur cette culture. Un des enjeux de leurs déploiements sur le terrain réside dans la gestion de la durabilité des résistances. Cette gestion nécessite une coordination entre les sélectionneurs, qui créent les variétés, et les agriculteurs (et leurs organisations), qui les déploient. Du côté des sélectionneurs, l'obtention de variétés pyramidant (i.e. cumulant) plusieurs facteurs de résistances favorise la durabilité. Ce choix a guidé le travail de sélection conduit depuis les années 2000 par INRAE et l'IFV (*programme ResDur*). Il s'est concrétisé en 2018 par la commercialisation des premières variétés de vigne « pyramidées » (*variétés ResDur1 : Artaban, Floréal, Voltis et Vidoc*) qui cumulent notamment les gènes de résistance au mildiou Rpv1 et Rpv3. Toutefois, cette même année, d'autres variétés résistantes issues de programmes européens plus anciens ont également été autorisées alors qu'elles ne disposent que du seul gène Rpv3. Ainsi, peuvent aujourd'hui potentiellement coexister sur un même bassin viticole des variétés avec des résistances polygéniques (gènes Rpv1 et Rpv3) et monogéniques (gènes Rpv3 en particulier). Cette coexistence pourrait compromettre l'efficacité du toit polygénique offert par les variétés pyramidées. Aussi, les choix variétaux à venir des viticulteurs sont très importants. Une partie du succès des variétés résistantes se joue à cette étape et conditionne le succès des futures obtentions.

Dans ce contexte, nous avons développé dans une première partie du projet **un modèle mathématique** couplant les mécanismes de l'épidémiologie végétale et les analyses économiques pour simuler des scénarios de déploiement des variétés de vigne résistantes au mildiou dans des paysages viticoles réels. Ces scénarios sont évalués pour leurs effets sur le contrôle des épidémies, la durabilité des résistances, la réduction des traitements et leurs performances économiques.

Puis, dans une seconde partie, **ce modèle a été utilisé avec les équipes** de la cave coopérative « *Nous les vigneronns de Buzet* » qui fédère 160 producteurs sur 1935 ha de vigne, soit 95% de l'AOC Buzet. Au cours de **4 ateliers d'une matinée chacun**, nous avons co-construit et comparé six stratégies possibles de déploiement des variétés résistantes sur ce territoire viticole.



Illustrations tirée de la BD créée lors du projet Médée. Cette BD est publiée ici <https://hal.inrae.fr/hal-04604456> (Plantin et al, droit CC BY-NC-ND 4.0)



## Principaux résultats en lien avec le plan Ecophyto

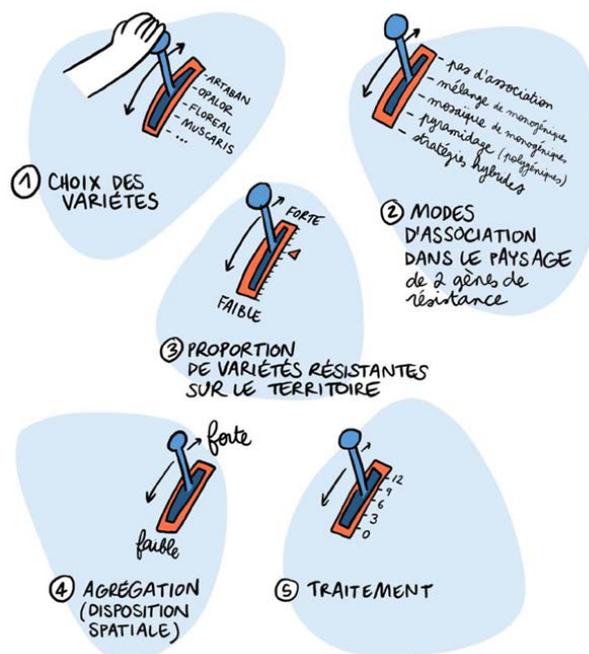
**Développement d'un modèle pour simuler des stratégies de déploiement des variétés de vigne résistantes au mildiou dans les territoires viticoles.** Cette partie repose sur le modèle Landsepi qui simule la propagation et l'évolution d'un agent pathogène dans un paysage agricole cultivé avec un ensemble de variétés résistantes et sensibles. Il a été initialement développé pour le déploiement de variétés de blé résistantes aux rouilles. Plusieurs fonctionnalités ont été rajoutées à Landsepi. Nous avons tout d'abord inclus la possibilité de simuler un régime de reproduction mixte pour les agents pathogènes alternant des phases asexuées pendant la saison de culture, et une phase sexuée en automne/hiver. Ce régime de reproduction, caractéristique du mildiou de la vigne, peut en effet accélérer l'adaptation des agents pathogènes aux variétés résistantes. Nous avons ensuite proposé un paramétrage spécifique du mildiou de la vigne en mobilisant des données de la bibliographie (18 références) et du réseau OSCAR (Observatoire national du déploiement des cépages résistants). Par la suite, nous avons ajouté un module simulant l'effet de traitements fongicides sur le contrôle de la maladie, ces traitements étant déclenchés en fonction d'un seuil de sévérité de la maladie. Cette fonctionnalité permet désormais de calculer les indices de fréquences de traitements (IFT) dans Landsepi. Pour finir, nous avons introduit un module d'analyse coût-bénéfice des stratégies de déploiement prenant en compte plusieurs spécificités de la filière viticole (coût des plantations, baisse du prix d'achat en fonction de l'état sanitaire des parcelles...).

**La coexistence dans un même territoire de variétés avec des résistances monogéniques et polygéniques compromet la durabilité.** Fruit d'une étude théorique basée sur le modèle précédent, ce résultat suggère que, dans la plupart des

configurations analysées (qui sont autant d'états possibles de la nature), l'efficacité et la durabilité des variétés pyramidant les gènes Rpv3 et Rpv1 sont compromis dès lors qu'elles sont cultivées, même en faible proportion, avec des variétés monogéniques partageant certains facteurs de résistances.

**Co-construction et étude comparative de stratégies de déploiement dans le territoire de l'AOC Buzet.** Lors de 4 ateliers avec la cave coopérative « Nous les vigneronns de Buzet », organisés sur une base mensuelle autour du printemps 2023, le modèle a d'abord été utilisé pour illustrer les questions relatives à la durabilité des variétés résistantes. Ce premier atelier fut également l'occasion de riches échanges sur la multiplicité des enjeux auxquels se confronte une coopérative

**DONC, DANS CE MODÈLE, VOUS POUVEZ UTILISER 5 LEVIERS POUR DÉFINIR VOTRE STRATÉGIE DE DÉPLOIEMENT :**



Illustrations tirées de la BD créée lors du projet Médée. Cette BD est publiée ici <https://hal.inrae.fr/hal-04604456> (Plantin et al, droit CC BY-NC-ND 4.0)



dans l'optique du déploiement de ces variétés. Des approches de facilitation ont ensuite été mobilisées pour identifier avec les équipes de la cave six scénarios de déploiement à tester sur leur territoire (par exemple replanter avec des variétés résistantes les parcelles âgées de plus de 30 ans jusqu'à 5 % de surface/exploitants, cultiver ces variétés dans les zones non-traitées aquatiques...). Les scénarios, simulés dans le parcellaire réel de Buzet, ont été comparés et discutés pour leurs capacités à contrôler le mildiou, à favoriser la durabilité des résistances, à réduire les traitements fongicides et améliorer les marges économiques tant au niveau des exploitations que de la coopérative.

## Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

### Transfert

Les ateliers participatifs sont des lieux d'échange mutuellement bénéfiques entre professionnelles de terrain, pour s'approprier les facteurs influençant la durabilité des résistances variétales, et chercheurs, pour préciser - voir modifier - leurs hypothèses de travail. Dans ces échanges, la possibilité de réaliser en direct des simulations de déploiement de variétés résistantes dans des parcellaires réels joue un rôle majeur de facilitation.

Si le déploiement des variétés résistantes permet dans tous les scénarios analysés de réduire les traitements, la réglementation actuelle des VIFA contraint fortement les économies réalisées en limitant substantiellement les possibilités de plantation.

### Recherche

Nos simulations sur la coexistence de variétés avec des résistances monogéniques et polygéniques montre la sensibilité des résultats présentés à l'existence de coûts d'adaptation (sur l'ensemble des variétés considérées, sensibles comme résistantes) et à la fréquence de mutation des agents pathogènes vers des phénotypiques adaptés aux résistances. Il est donc important de caractériser finement ces paramètres par des expérimentations dédiées. C'est un des objectifs du projet ANR COMBINE qui fait suite aux travaux initiés ici. Une autre perspective serait de modéliser conjointement dans Landsepi l'adaptation des agents pathogènes aux variétés résistantes et aux fongicides.



## Livrables, valorisation et transfert réalisés

### Journées techniques et colloques scientifiques

◆ Présentation orale: Zaffaroni M., Rimbaud L., Papaix J., Rey J-F., Delière L., Miclot A-S., Alonso Ugaglia A., Fabre F. 2024. Multicriteria evaluation of landscape strategies to deploy monogenic and pyramided resistances against grapevine downy mildew. Presented at : Rencontre annuelle du projet PPR VITAE, 12-14 mars 2024, Cognac.

### Conférences scientifiques et techniques, avec et sans actes

◆ Poster: Rimbaud L., Papaix J., Rey J. F., Gausсен J. L., Zaffaroni M., Fabre F. 2022. Modelling plant resistance deployment : the R package landsepi. Présenté à : 15th International Symposium of Plant Virus Epidemiology, 5-8 juin 2022, Madrid (Espagne).

◆ Poster: Zaffaroni M., Rey J. F., Rimbaud, L., Papaix, J., Fabre, F. 2022. Disentangling the effects of genetic recombination and dormancy linked to pathogen sexual reproduction on the effectiveness and durability of resistance deployment strategies. Présenté à : Petit Pois Déridé 2022, 30 mai- 1 juin 2022 Villeneuve d'Ascq (France).

◆ Poster: Zaffaroni M., Miclot A.-S., Paineau M., Demeaux I., Bourg J., Couture C., Delière L., Delmotte F., Fabre F. 2022. Genotypes x genotypes cross-inoculation experiments to assess the effectiveness of grapevine resistance factors Rpv1 and Rpv3 to *Plasmopara viticola*, the grapevine downy mildew agent. Presented at : Petit Pois Déridé, Villeneuve d'Ascq, France (2022-05-30 - 2022-06-01), <https://hal.inrae.fr/hal-04427182>

◆ Poster: Zaffaroni M., Rimbaud L., Papaix J., Rey J.-F., Deliere L., Miclot A.-S., Ugaglia A., Fabre F. 2023. Epidemiological, evolutionary and economic outcomes associated to the coexistence of monogenic and pyramided resistant cultivars in agricultural landscapes: a case-study with the ma-

nagement of downy mildew in wine growing areas. Presented at : 12th International congress of plant pathology (ICPP), Lyon, France (2023-08-20 - 2023-08-25), <https://hal.inrae.fr/hal-04195663>,

◆ Poster: Zaffaroni M, Miclot AS, PaineauM, Demeaux I, Bourg J, Couture C, Delière L, Delmotte F, Fabre F. 2022. Genotypes x genotypes cross-inoculation experiments to assess the effectiveness of grapevine resistance factors Rpv1 and Rpv3 to *Plasmopara viticola*, the grapevine downy mildew agent. Présenté à : Rencontre Jean-Chevauchon, Aussois, 12-16 septembre 2022.

◆ Présentation orale: Zaffaroni M, Rey JF, Rimbaud L, Papaix J, Fabre F. 2022. Disentangling the effects of pathogen sexual reproduction on the effectiveness and durability of resistance deployment strategies: *Plasmopara viticola* as a case study. Présenté à : International Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildews (GDPM 2022), 20-22 juillet 2022, Cremona (Italie). DOI: 10.1051/bioconf/20225004001.

◆ Présentation orale: Zaffaroni M., Rey J-F., Rimbaud L., Papaix J., Fabre F. 2023. - Effects of pathogen sexual reproduction on the evolutionary and epidemiological control provided by deployment strategies for two major resistance genes in agricultural landscapes. Presented at : 12th International congress of plant pathology (ICPP), Lyon, France (2023-08-20 - 2023-08-25).

◆ Présentation orale: Zaffaroni M., Rimbaud L., Papaix J., Rey J-F., Delière L., Miclot A-S., Alonso Ugaglia A., Fabre F. 2024. Multicriteria evaluation of landscape strategies to deploy monogenic and pyramided resistances against grapevine downy mildew. Presented at : Journée Jean Chevaugéon, 15-19 janvier 2024, Aussois. <https://hal.inrae.fr/hal-04427255>

### Présentation à des instances professionnelles ou de décision

◆ Quatre ateliers (24 janvier 2023, 9 mars 2023, 4 avril 2023 et 16 mai 2023 ; 3h chacun) d'échanges avec la cave-coopérative « Nous les vigneronns de Buzet ».



### Publications scientifiques

♦ Zaffaroni M., Rimbaud L., Rey J-F., Papaix J., Fabre F. 2024. Effects of pathogen reproduction system on the evolutionary and epidemiological control provided by deployment strategies for two major resistance genes in agricultural landscapes. *Evolutionary Applications*, 17 (1), pp.e13627. <https://dx.doi.org/10.1111/eva.13627>

♦ Zaffaroni M., Papaix J., Rimbaud L., Geffersa A., Rey J-F., Fabre F. 2024. Combining single-gene-resistant and pyramided cultivars in agricultural landscape compromises the benefits of pyramiding in most, but not all, productions situation. En révision pour *Phytopathology*, <https://doi.org/10.1101/2024.02.14.580232>

♦ Zaffaroni M., Fabre F., Miclot A.-S., Rimbaud L., Alonso Ugaglia A. Deployment of resistant grapevines decreases fungicide treatments and increases net benefit of a cooperative winery: insights from a participative science project. En cours de rédaction.

### Articles de valorisation/vulgarisation :

♦ Une BD de vulgarisation de la démarche : Plantin L., Miclot AS., Papaix J., Rey JF., Rimbaud L., Zaffaroni M., Alonso Ugaglia A., Fabre F. 2024. Les résistantes : des vignes pas comme les autres. Disponible ici : <https://hal.inrae.fr/hal-04604456>

### Autres valorisations

♦ Mise à disposition du modèle mathématique Landsepi couplant modèle biophysique et économique dans un package R et une interface web. La nouvelle version du package R incluant notamment le paramétrage mildiou de la vigne est disponible sur le site du CRAN (<https://cran.r-project.org/web/packages/landsepi/index.html>).

♦ Formation d'un groupe de quatre étudiants ingénieurs de Bordeaux Sciences Agro aux enjeux du déploiement des variétés résistantes à l'occasion d'enquêtes menées auprès de viticulteurs et de clients de la cave coopérative de Buzet au printemps 2023, en parallèle des ateliers.



ÉCOPHYTO  
RECHERCHE & INNOVATION

# PREPARE

Comprendre et PREdire les effets des PAYSAGES de pratiques sur la REGulation biologique

## Responsable scientifique



### Sandrine Petit

INRAE, UMR Agroécologie  
sandrine.petit-michaut@inrae.fr

Sandrine Petit est directrice de recherche à INRAE dans l'unité Agroécologie à Dijon. Elle mène des recherches sur les effets des pratiques agricoles et du paysage sur les communautés végétales et animales et sur le service de contrôle biologique des bioagresseurs. Elle s'investit l'animation et la valorisation des suivis à long terme sur le réseau national de paysages SEBIOPAG.

## Co-présentatrice



### Claire Lavigne

INRAE, UR 1115  
claire.lavigne@inrae.fr

Claire Lavigne est directrice de recherche à INRAE dans l'unité Plantes et Systèmes de culture Horticoles. Elle s'intéresse à la dynamique de la biodiversité, en particuliers des ravageurs et auxiliaires dans les paysages agricoles par des approches d'analyses de données recueillies dans des parcelles commerciales.

## Partenaires

♦ INRAE ; UMR IGEPP, UMR BAGAP, UR PSH,  
UMR SAVE, UMR Dynafor,  
♦ Solagro

## Financements

**Coût total du projet :** 656 976 €  
**Montant de la subvention OFB :** 295 020 €

## Le projet en bref

PREPARE a développé avec les acteurs locaux une analyse située des effets de la mobilisation de leviers territoriaux sur la régulation biologique des bioagresseurs sur cinq terrains d'étude en France (réseau national SEBIOPAG, aquitain BACCHUS). Les leviers mobilisables ont d'abord été identifiés par les agriculteurs locaux. Un outil de simulation a ensuite été développé pour visualiser des scénarios de changements de pratiques et leurs effets sur la régulation à l'échelle de petits territoires. L'analyse partagée des résultats a été une entrée pour discuter avec les acteurs locaux des leviers et verrous à une gestion territoriale des ravageurs pour réduire le recours aux pesticides.

[Site du projet](#) - en cours de construction

Systèmes écologiques et sociaux

Innovation couplée

Recherche participative

Coordination entre acteurs

Leviers agronomiques et socioéconomiques

## Contexte et principaux objectifs

La mobilisation de leviers territoriaux peut favoriser les régulations biologiques des bio-agresseurs des cultures par leurs ennemis naturels et ainsi permettre la réduction d'usage de pesticides mais les incertitudes scientifiques liées à cette question ont fortement limité la diffusion de cette idée vers la profession agricole.

Les équipes du consortium PREPARE se sont mobilisées sur la question des effets de la composition du paysage environnant les parcelles sur les niveaux de régulation biologique.

**Le réseau SEBIOPAG** ([sebiopag.inrae.fr](http://sebiopag.inrae.fr)) est opérationnel depuis 2014 et suit annuellement 80 paysages dans quatre régions françaises, 60 en cultures annuelles et 20 en vergers (*Figure 1*).

**Le réseau BACCHUS** existe depuis 2014 et suit 40 paysages de vignes. Dans les deux réseaux, les niveaux de régulation biologique sont estimés à l'aide d'un éventail de proies sentinelles qui sont exposées dans les parcelles lors de deux sessions de terrain tous les ans. Les taux de prédation de ces proies permettent d'approcher l'activité d'une diversité de prédateurs (*Figure 2*).

Des résultats antérieurs indiquent que trois leviers territoriaux seraient mobilisables pour promouvoir la régulation biologique : la proportion d'habitats semi-naturels, la pression phytosanitaire dans le paysage (% en AB ou IFT) et la diversité spatio-temporelle des assolements.

S'appuyant sur 5 terrains d'étude (*Figure 1* : 120 paysages, réseau national SEBIOPAG et réseau aquitain BACCHUS), l'objectif de PREPARE a été de développer avec les acteurs locaux une analyse située des effets de la mobilisation de différentes combinaisons de leviers territoriaux (habitats semi-naturels, pression phytosanitaire et diversité des cultures) sur la régulation biologique des bio-agresseurs. Le projet proposait (i) une analyse statistique des relations entre leviers territoriaux, gestion parcelaire et régulation biologique et le développement de modèles prédictifs, (ii) la co-conception avec les acteurs de scénarios de mobilisation de leviers territoriaux et (iii) un outil de simulation liant scénarios de changement et modèle prédictif de la régulation pour analyser les gains en termes de régulation biologique, individuels (exploitation) ou collectifs (territoire) des différents scénarios co-construits. Les ateliers avec les acteurs au début et à la fin du projet ont permis de quantifier les changements dans la perception et l'intention des acteurs locaux quant à la mobilisation de leviers territoriaux.

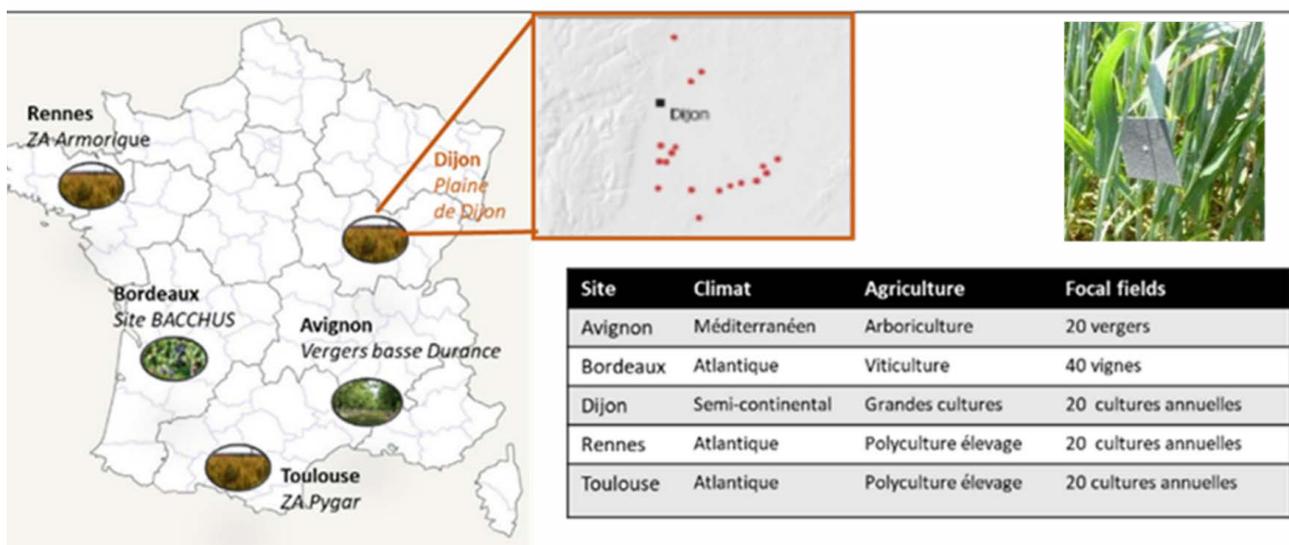


Figure 1 : les cinq sites d'étude impliqués dans le projet PREPARE (réseau national SEBIOPAG et site atelier BACCHUS) et exemple de carte de proies sentinelles.



## Principaux résultats en lien avec le plan Ecophyto

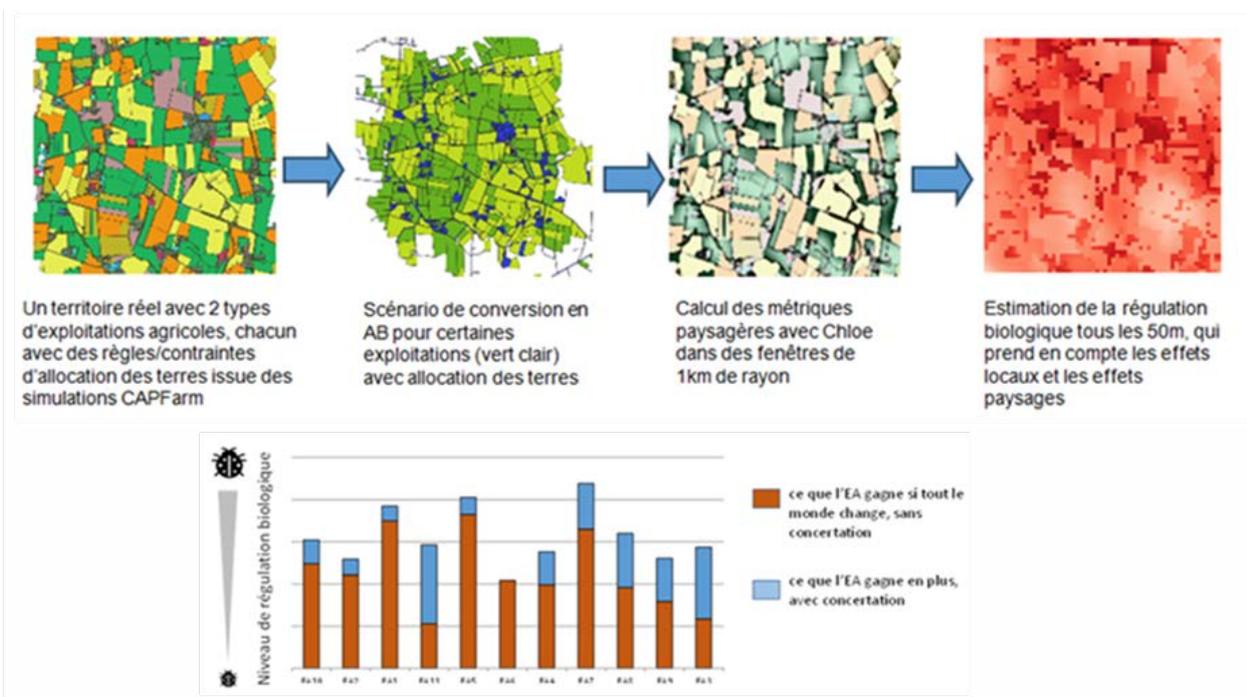
### → Co-construire des scénarios de transformation des territoires

Les ateliers de début de projet ont rassemblé 10 à 12 agriculteurs par site. Les répondants ont tous mobilisé depuis 2008 plusieurs leviers pour réduire l'usage des produits phytosanitaires sur leur exploitation. A l'issue de ces ateliers les leviers proposés étaient l'allongement des rotations culturales, la réduction des IFT, le passage en agriculture biologique et l'implantation d'infrastructures agro-écologiques de type «haies».

### → Comprendre et prédire les régulations

Les mesures de régulations biologiques sont issues de l'exposition de cartes de proies sentinelles dans des parcelles agricoles. Elles concernent la prédation de 4 types de proies, mesurées tous les ans sur 120 paysages des 5 sites sur la période

2014-2018. Afin d'analyser conjointement les données des cinq sites, nous avons développé le package R alm (automated landscape modelling) permettant de rendre automatisable et reproductible la cartographie et le calcul de métriques paysagères à partir de sources de données spatiales existantes (BD ORTHO, RPG, OSO). L'analyse des facteurs qui expliquent les taux de prédation à l'échelle nationale et par site à l'aide de modèles statistiques classiques (GLMM) a souligné la spécificité de ces facteurs selon les sites. La faible valeur explicative de ces modèles ne permettait pas de les utiliser pour de la prédiction. Nous avons donc mobilisé une méthode alternative reposant sur des modèles Cubist. Des modèles ayant une valeur prédictive suffisante (validation croisés) ont été obtenus pour la prédation d'œufs d'Ephestia sur les sites de Dijon et Toulouse et pour la prédation des graines d'adventices sur les sites de Rennes et Avignon.



**Figure 2 :** Territoire de la plaine de Dijon : Le scénario co-construit comprend une diversification des systèmes de culture (augmentation diversité des cultures, taille de patches de culture plus petites, réduction IFT 30%) et une conversion de certaines exploitations du territoire. Le barplot indique, sur une échelle qualitative, les gains de régulation biologique pour chaque exploitation selon si les actions de changements de pratiques sont concertées ou non ©INRAE



### → Explorer les effets de scénarios territoriaux sur la régulation : quel gain de régulation et pour qui ?

Nous avons développé un simulateur qui, sur la base d'un parcellaire existant, simule des allocations de couverts sous contraintes agronomiques (via CAPFarm) et calcule des métriques paysagères (via Chloe). L'effet de changements de pratiques a été simulé pour les territoires de Dijon, Toulouse et Rennes dans des fenêtres de 4x 4km (10 à 12 exploitations, cf figure 2 sur le site Dijonnais). Le couplage avec les modèles prédictifs de régulation biologique permet d'évaluer les différences de niveau de régulation dans chaque exploitation entre l'état initial et le scénario de changement selon 4 modalités : (i) gain pour moi si je change, (ii) gain pour moi si les voisins changent et que je ne change pas, (iii) gain si tout le monde change individuellement et (iv) gain si les changements sont concertés en vue d'optimiser la régulation.

### → Restitution aux acteurs et identification de pistes d'actions

La démarche PREPARE et les synthèses des simulations (Fig. 4) ont été présentées lors d'ateliers de restitution. Elles ont été un excellent moyen d'engager la discussion sur la perspective d'une action territoriale. Une synthèse est fournie dans le tableau 1. Les participants considèrent la gestion collective comme avantageuse et possible mais pas facile. Ils expriment au global (i) des besoins en termes d'accompagnement, notamment technique, (ii) des demandes de soutien financier et enfin des attentes par rapport aux politiques publiques. On notera que les actions collectives prioritaire 2 ont l'objectif de sortir de l'isolement et de mieux échanger entre acteurs du même territoire, de diffuser l'idée de l'interdépendance entre voisins.

	Dijon	Rennes	Toulouse	Avignon
<b>Participants</b>	9 exploitants, 6 institutionnels	6 exploitants, 2 institutionnels	10 exploitants, 3 institutionnels	9 exploitants, 15 institutionnels
<b>Enjeux territoriaux autre que la RB</b>	Changement climatique	Biodiversité et eau, Qualité des produits	Maintien de l'élevage, Limitation érosion des sols	Changement climatique, Préservation des pollinisateurs, poursuite d'activités
<b>Réaction face aux résultats PREPARE</b>	Positive	Positive mais frustration (voisins peu vertueux)	Positive mais frustration (voisins, réglementations contradictoires)	Positive ++
<b>Solutions/objectifs</b>	Adapter les rotations au CC et les diversifier	Remettre des IAE, réduire la taille des parcelles	Maintenir prairies et haies, planter des IAE	Créer diversité paysagère
<b>Action collective Prioritaire 1</b>	Diversification rotations (8)	Implantation de haies, Diversification : allongement de la rotation	Création d'un GIEE assolement commun	Favoriser les déplacements des auxiliaires entre IAE et vergers par une diversification intra-parcellaire des couverts
<b>Action collective Prioritaire 2</b>	Créer une structure d'échange rassemblant tous les acteurs du petit territoire	Mettre en place une 'Pédagogie du talus' : communiquer et échanger pour éviter le clivage AB/non AB	Diffuser l'importance de l'interdépendance entre voisins au sein de la profession	Mettre en place une stratégie prophylactique commune (diversité paysagère)
<b>Levier 'Accompagnement technique'</b>	Oui (diversification) –Coop. pour coordonner les expérimentations	Formations, système pour assurer un tuilage entre générations		Formations ou appui aux réseaux techniques (gestion des haies et couverts végétaux)
<b>Levier 'Soutien financier'</b>	Prise de risque, Compensation du temps qui serait dédié au collectif	Paiement pour services écologiques	Animation de collectifs type GIEE Prise de risque	Prise de risque, Compensation pour IAE (jachères fleuries, etc...)
<b>Levier 'Politiques publiques à l'échelle territoire'</b>	Engendrer une dynamique multi-enjeux cohérente dans les petites régions	Assurer la cohérence entre travaux/initiatives sur le territoire (multi-enjeux) Règlementation bottom-up sur le territoire ?	Inciter les coop. à développer des filières et débouchés adaptés	

**Tableau 1** : Synthèse des résultats des Ateliers 2 sur les sites d'études.



## Perspectives futures en termes de transfert ou de recherche

### Transfert

L'analyse des ateliers permet de tirer des messages communs des acteurs vers les pouvoirs publics :

- ◆ Assurer une cohérence des réglementations/ injonctions/ incitations en lien avec différents enjeux (par ex réduction de l'usage des produits phytosanitaires et changement climatique ; réduction de l'usage des produits phytosanitaires et maintien de l'élevage).

- ◆ Faciliter l'expérimentation et la prise de risque par des soutiens financiers

- ◆ Repenser les réseaux d'échanges à une échelle territoriale : décroisonner les types d'agriculture, évoquer collectivement la question des 'biens communs', diversifier les interlocuteurs, créer une solidarité des non agriculteurs envers le monde agricole.

### Recherche

Quatre constats sont issus de PREPARE :

1. Nécessité d'approches en réseaux de paysages permettant un va-et-vient entre connaissance générique et action basée sur des déterminants locaux de la régulation biologique.

2. Travaux à mener sur des modèles prédictifs car plus grande difficulté à prédire la régulation biologique qu'à en expliquer les déterminants.

3. Qualité des prédictions comme outil de médiation

4. Nécessité d'expérimentations à des échelles territoriales pour mieux estimer les possibles gains de régulations.

Sur cette base, le consortium et des acteurs du développement agricole envisagent un projet ambitieux s'appuyant sur des changements de pratiques sur certains territoires d'études.

## Livrables, valorisation et transfert réalisés

### Journées techniques

- ◆ Franck, P. (2022) « Imaginer les paysages de demain pour favoriser la biodiversité et les régulations biologiques en vergers: Quelles stratégies d'aménagement des paysages de vergers en Basse Vallée de la Durance ? » Présenté à Journée « Carpo », Avignon, France, 4 février 2022.

### Conférences scientifiques et techniques, avec et sans actes

- ◆ Petit et consortium PREPARE (2023) Allier la co-construction de scénarios territoriaux et la modélisation prédictive pour renforcer la régulation biologique des bioagresseurs de cultures : Le pro-

jet PREPARE. Journée 'Comprendre le fonctionnement des territoires' Rencontres du RMT Champs & Territoires ateliers 'Les informations utiles à la fabrique de la transition agroécologique des territoires'. Paris, 12 Octobre 2023.

- ◆ Petit, S. et consortium PREPARE (2023) Agroecology in action: engaging with stakeholders to move towards pesticide-free landscapes. Invited talk, GfÖ annual meeting, Leipzig 11-15 Septembre 2023

- ◆ Petit, S. et consortium PREPARE (2023) Approches et outils: Un exemple mobilisant la modélisation: le projet PREPARE. Communication invitée: Atelier 'Scénarios territoriaux et trajectoires de transitions: quelles recherches transdisciplinaires' organisé par la FRB et Futurearth. Paris, 8 Juin 2023.



♦ Aviron, S., Lucas, V. (2023) Quelles conditions écologiques et sociales pour favoriser la transition agroécologique des exploitations agricoles ? Séminaire de l'axe ressources de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, 8 février 2023.

♦ Franck, P., Lavigne, C., Thomas, C. (2022) Impact des pratiques phytosanitaires et du paysage sur la prédation des ravageurs en vergers de pommiers en Basse Vallée de la Durance, présenté à Séminaire du réseau EMBA: Contrôle Biologique par Conservation, Avignon, 15/11 2022. <https://www6.inrae.fr/emba>

♦ Franck P. (2021) Contrôle biologique des ravageurs des cultures : Interactions entre pratiques agronomiques locales et complexité des paysages agricoles. Association et diversification : des leviers depuis la parcelle jusqu'à l'échelle paysagère. Avignon, France: Salon Med'Agri, (2021). <https://www.youtube.com/watch?v=EYuUccroLNw>

♦ Petit, S. et consortium PREPARE (2021) Exploring the potential of co-designed landscapes to promote biological pest control. Landscape 2021, Berlin, 20-22 Sept 2021. <https://hal.inrae.fr/hal-03544323>

♦ Franck, P. et consortium PREPARE (2019) Démêler les effets des pratiques agronomiques locales des effets du paysage agricole sur le contrôle biologique des bioagresseurs dans les cultures. Antibes, France, 29/05 2019. <https://colloque.inrae.fr/entom2019/content/download/3778/39468/file/abstract%20book.pdf>

♦ Franck, P. et consortium PREPARE (2019) Disentangling local agronomic practices from agricultural landscape effects on pest biological control. In Meetings of IOBC-Working Group Landscape management for functional biodiversity, Vol. 143. Proceedings of the meeting of IOBC-Working Group Landscape management for functional biodiversity, March 27 - 29, 2019. Wageningen, Netherlands: IOBC-WPRS Bulletin, 2019. <https://hal.inrae.fr/hal-02946652>.

## Présentation à des instances professionnelles ou de décision

Petit, S. (2022). SEBIOPAG Services écosystémiques associés à la biodiversité dans les paysages agricoles. Les rencontres Inrae au SIA. Salon International de l'Agriculture. 4 Mars 2022. <https://www6.inrae.fr/rencontresia/Les-rencontres-2022/Agriculture-et-biodiversite>

## Publications scientifiques

♦ Petit, S., Alignier, A. Allart, R., Aviron, S., Bousard, H., Franck, P., Gibert, C., Ladet, S., Lavigne, C., Lecuyer, L., Moncamp, M., Muneret, L., Poggi, S., Ricci, B., Rusch, A., Vialatte, A., Young, J. (2023) Building capacities for the design of agroecological landscapes: the added-value of Landscape Monitoring Networks. Agriculture, Ecosystems & Environment. 342, pp.108263. 10.1016/j.agee.2022.108263 <https://hal.inrae.fr/hal-03853832>

♦ Jeanneret Ph, Aviron S., Alignier A., Lavigne C., Helfenstein J., Herzog F., Kay S., Petit S. (2021) Agroecology landscapes. Landscape Ecology, Springer Verlag, 2021, 36 (8), pp.2235-2257. 10.1007/s10980-021-01248-0. <https://hal.inrae.fr/hal-03534493>

## Autres valorisations

♦ Ricci, B. 2021 Le package alm : principes et applications. Présentation au Groupe de Travail STEP 500 ENI. 12 Janvier 2021 (scientifiques, institutionnels (DGAL) et animateurs régionaux du réseau 500 ENI. (souvent chambres d'agriculture)

♦ Allart, R., Ricci, B., Poggi, S. 2021. Procédure alm de cartographie automatique du paysage. Cahiers des Techniques de l'INRA, INRA, 2021, 103, pp.12 [https://www6.inrae.fr/cahier\\_des\\_techniques/Les-Cahiers-parus/Les-N-reguliers/2021/Cahier-N-103/Art1-ct103-2021](https://www6.inrae.fr/cahier_des_techniques/Les-Cahiers-parus/Les-N-reguliers/2021/Cahier-N-103/Art1-ct103-2021). hal-03151041

♦ Allart, R., Ricci, B., Poggi, S. 2021. Procédure alm et package finalisés : Disponible sur Data INRAE : <https://data.inrae.fr/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.15454/AKQW7Y>

# MERCI

Ce document a été réalisé par l'équipe d'animation Ecophyto R&I,  
grâce à la mobilisation des équipes projets !

Retrouvez  
Ecophyto II+ Recherche & Innovation



EcophytoPIC



[animation-ecophyto@inrae.fr](mailto:animation-ecophyto@inrae.fr)

Retrouvez les  
Carrefours de l'innovation

Toutes les actus  
& inscriptions

