

PROGRAMME



PESTICIDES

Centre de Congrès d'Angers

4-5-6

novembre 2014

Colloque de restitution

PESTICIDES : DES IMPACTS AUX CHANGEMENTS DE PRATIQUES





« Pesticides : des impacts aux changements de pratiques »

Colloque de restitution
des appels à propositions de recherche (APR) du programme Pesticides :
Présentation des résultats finaux des projets de l'APR 2009
et des résultats intermédiaires des projets de l'APR 2011

Document publié sous la coordination d'**Edwige Charbonnier** et **Enrique Barriuso**,
INRA-AgroParisTech Grignon, UMR Environnement et Grandes Cultures (EGC),
animateurs scientifiques du programme Pesticides

*La rédaction des fiches-projets a été réalisée
(juin - juillet 2014) par les coordinateurs de projets
et reste sous leur responsabilité.*



AVANT- PROPOS

Depuis 1999, le ministère chargé de l'écologie soutient des recherches en appui aux politiques publiques sur l'évaluation et la réduction des risques liés à l'utilisation des pesticides. Les objectifs principaux de ce programme de recherche sont de mieux évaluer les dangers et les risques pour les organismes vivants non-cibles liés à la présence de pesticides dans l'environnement et de contribuer à la construction d'approches permettant une réduction de l'utilisation de ces substances et des risques associés. Afin de garantir la qualité des recherches menées et leur adéquation avec les attentes des porteurs d'enjeux, ce programme est piloté par deux instances, le conseil scientifique et le comité d'orientation. Il participe depuis 2009 à l'axe recherche du plan écofito qui vise à réduire l'usage des produits phytosanitaires.

L'objectif du colloque organisé à Angers du 4 au 6 novembre 2014 est de montrer comment les connaissances produites peuvent contribuer à une meilleure protection des milieux naturels exposés aux pesticides, comment il est possible de développer des approches limitant leur usage et diminuant les risques associés et, d'autre part, d'apporter aux décideurs et gestionnaires concernés des références scientifiques pour la définition, la mise en œuvre et l'évaluation des actions publiques en lien avec les pesticides.

Ce colloque permettra de présenter les résultats de 24 projets de recherche financés lors des appels à propositions 2009 et 2011 (14 terminés et 10 à mi-parcours). Il s'adresse à tous les acteurs concernés : chercheurs, services centraux et déconcentrés de l'État, profession agricole, collectivités territoriales, agences, industries, associations, etc.

Les interventions seront structurées en cinq sessions animées par un membre du conseil scientifique et un membre du comité d'orientation du programme sur les thématiques suivantes :

- Pratiques agronomiques innovantes pour réduire l'utilisation des pesticides ;
- Freins et leviers socio-économiques à l'adoption de pratiques économes en pesticides ;
- Modalités d'intervention des politiques publiques pour favoriser les changements de pratiques ;
- Prise en compte des transferts de pesticides dans les différents compartiments de l'environnement ;
- Prise en compte des impacts des pesticides sur les écosystèmes.

Un bilan des recherches menées par le programme Pesticides depuis 1999 ainsi qu'un focus sur d'autres financements de recherche en lien avec cette thématique seront présentés. Les présentations et discussions mettront l'accent sur les éléments susceptibles de faire l'objet d'un transfert des résultats de la recherche à destination des utilisateurs finaux. Des échanges avec la salle accompagneront chacune de ces sessions.

Enfin, une table-ronde permettra aux acteurs locaux et aux chercheurs d'échanger sur les nouvelles pratiques phytosanitaires mises en œuvre.

Nous vous souhaitons un bon colloque !

Philippe COURTIER, Chef du service de la recherche, MEDDE
Président du comité d'orientation du programme Pesticides

SOMMAIRE

SESSION 1

PRATIQUES AGRONOMIQUES INNOVANTES POUR RÉDUIRE L'UTILISATION DES PESTICIDES

Substituer d'autres techniques à l'usage des pesticides



Actinovigne - Emploi des bactéries actinomycétales pour contrôler les maladies fongiques de la vigne (APR 2009)
Christophe CLEMENT et Essaid AIT BARKA,
Université de Reims Champagne-Ardenne



ALT'CARPO - Impacts agronomiques et environnementaux des filets Alt'Carpo en arboriculture (APR 2009)
Yvan CAPOWIEZ et Aude ALAPHILIPPE, INRA Avignon



ECOPRO - Evaluation d'une écotechnologie de protection des cultures de plants de pomme de terre (APR 2009)
Denis FAURE, CNRS Gif-sur-Yvette

Reconcevoir les systèmes de culture



ALTERBIO - Alternatives biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananes plantains (APR 2009)
Patrick LAVELLE, Université Pierre et Marie Curie Paris - IRD



ECHAP - Réduire l'utilisation des fongicides en associant stratégies de traitement optimales et couverts échappant aux maladies (APR 2009)
Corinne ROBERT, INRA - AgroParisTech Grignon



ASPIB - Approche Systémique pour appréhender les communautés de bioagresseurs : application à la Protection Intégrée du Blé (APR 2009)
Jean-Noël AUBERTOT, INRA - INP Toulouse



FLORSYS - Effets des pratiques agricoles sur les services et disservices écosystémiques dépendant des adventices : application à la conception de systèmes de culture économes en herbicides (APR 2011)
Nathalie COLBACH, INRA - AgroSup Dijon - Université de Bourgogne



INULA - Evaluation des services écosystémiques et des effets non-intentionnels liés à l'inule visqueuse : implications en protection intégrée sous serres et en oléiculture (APR 2011)
Nicolas RIS et Alexandre BOUT,
INRA PACA - CNRS - Université de Nice Sophia-Antipolis

SESSION 2

FREINS ET LEVIERS SOCIO-ÉCONOMIQUES À L'ADOPTION DE PRATIQUES ÉCONOMES EN PESTICIDES



VINPEST - Une évaluation expérimentale des consentements à la réduction de l'utilisation des pesticides dans le vin (APR 2009)
Angela SUTAN, ESC Dijon



AVERSIONRISK - Rôle de l'aversion au risque des agriculteurs dans l'utilisation de pesticides et implications pour la régulation (APR 2009)
Douadia BOUGHERARA, INRA - Montpellier SupAgro - CNRS - Université de Montpellier I



PRUNUS - Réalités et perspectives de l'écologisation en arboriculture fruitière, à partir du cas des vergers d'abricotiers et pêchers (APR 2011)
Claire LAMINE, INRA Avignon



PSYCHOPEST - Représentations sociales des pesticides et changements de pratiques chez les agriculteurs français (APR 2011)
Karine WEISS, Université de Nîmes

SESSION 3

MODALITÉS D'INTERVENTION DES POLITIQUES PUBLIQUES POUR FAVORISER LES CHANGEMENTS DE PRATIQUES



ECCOTER - Evaluation des mesures agroenvironnementales à enjeu « eau/pesticides» (APR 2009)
Françoise VERNIER et Sylvain ROUSSET, Irstea Bordeaux



COUD'POUCE - Comportement et Usage Des pesticides : POUr des Contrats Environnementaux innovants (APR 2011)
Sophie THOYER, INRA - SupAgro Montpellier - CNRS - Université de Montpellier I



ALTERPHYTO - Approches juridiques des protections alternatives contre les ennemis des cultures (APR 2011)
Philippe BILLET, Université de Lyon III



DidacPhyto - Vers un enseignement de savoirs agronomiques de référence, opératoire pour des pratiques agricoles compatibles avec le Plan Écophyto (APR 2011)
Paul OLRÉ, AgroSup Dijon

SESSION 4

PRISE EN COMPTE DES TRANSFERTS DE PESTICIDES DANS LES DIFFÉRENTS COMPARTIMENTS DE L'ENVIRONNEMENT



MIRIPHYQUE - Mise au point de descripteurs du risque de contamination des eaux de surface par les phytosanitaires à l'échelle du bassin versant (APR 2009)
Nadia CARLUER, Irstea Lyon-Villeurbanne



MODAPEX - Modélisation de la dispersion aérienne des pesticides et des niveaux d'exposition à l'échelle du paysage (APR 2009)
Yves BRUNET, INRA Villenave d'Ornon



ECopEST - Evaluation et comparaison des performances environnementales de systèmes de culture innovants conçus pour réduire l'usage des pesticides (APR 2011)
Laure MAMY, INRA Versailles

SESSION 5

PRISE EN COMPTE DES IMPACTS DES PESTICIDES SUR LES ÉCOSYSTÈMES



IMPALAC - Prédire l'impact des herbicides en mélange et à faible concentration sur les communautés algales planctoniques et benthiques lacustres (APR 2009)
Agnès BOUCHEZ, INRA Thonon - Université de Savoie



TOPHPAC - TOLérance des communautés PHYtoplanctoniques aux PHYtosanitaires dans le PANache de la Charente (APR 2009)
Christian BECHEMIN, Ifremer L'Houmeau, et Sabine STACHOWSKI-HABERKORN, Ifremer Nantes



TRam - Gestion de la Toxicité en zone Ramsar (APR 2009)
Philippe LEGRUSSE, Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM) - Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (IAMM)



IMPEC - Développement d'indicateurs microbiens pour l'évaluation de l'impact des pesticides sur des fonctions écosystémiques terrestres et aquatiques (APR 2011)
Fabrice MARTIN-LAURENT, INRA - AgroSup Dijon - Université de Bourgogne



M6P Perdrix - Modélisation des accidents de ponte chez la perdrix grise en plaine de grande culture, en relation avec l'usage agricole de produits phytopharmaceutiques (APR 2011)
Elisabeth BRO, Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS), et James DEVILLERS, Centre de Traitement de l'Information Scientifique (CTIS)



SESSION

1

PRATIQUES AGRONOMIQUES INNOVANTES POUR RÉDUIRE L'UTILISATION DES PESTICIDES

Substituer d'autres techniques à l'usage des pesticides



Actinovigne - Emploi des bactéries actinomycétales pour contrôler les maladies fongiques de la vigne (APR 2009)
Christophe CLEMENT et Essaid AIT BARKA,
Université de Reims Champagne-Ardenne



ALT'CARPO - Impacts agronomiques et environnementaux des filets Alt'Carpo en arboriculture (APR 2009)
Yvan CAPOWIEZ et Aude ALAPHILIPPE, INRA Avignon



ECOPRO - Evaluation d'une écotechnologie de protection des cultures de plants de pomme de terre (APR 2009)
Denis FAURE, CNRS Gif-sur-Yvette

Reconcevoir les systèmes de culture



ALTERBIO - Alternatives biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananes plantains (APR 2009)
Patrick LAVELLE, Université Pierre et Marie Curie Paris - IRD



ECHAP - Réduire l'utilisation des fongicides en associant stratégies de traitement optimales et couverts échappant aux maladies (APR 2009)
Corinne ROBERT, INRA - AgroParisTech Grignon



ASPIB - Approche Systémique pour appréhender les communautés de bioagresseurs : application à la Protection Intégrée du Blé (APR 2009)
Jean-Noël AUBERTOT, INRA - INP Toulouse



FLORSYS - Effets des pratiques agricoles sur les services et disservices écosystémiques dépendant des adventices : application à la conception de systèmes de culture économes en herbicides (APR 2011)
Nathalie COLBACH, INRA - AgroSup Dijon - Université de Bourgogne



INULA - Evaluation des services écosystémiques et des effets non-intentionnels liés à l'inule visqueuse : implications en protection intégrée sous serres et en oléiculture (APR 2011)
Nicolas RIS et Alexandre BOUT,
INRA PACA - CNRS - Université de Nice Sophia-Antipolis

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES

Essaid AIT BARKA
ea.barka@univ-reims.fr

Christophe CLEMENT
christophe.clement@univ-reims.fr

UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE
UR Vignes et Vins de Champagne

PARTENAIRES

UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE ARDENNE - CNRS
Institut de Chimie Moléculaire de Reims

COMITÉ INTERPROFESSIONNEL DU VIN DE CHAMPAGNE
EPERNAY

FACULTÉ DES SCIENCES SEMLALIA, MARRAKECH, MAROC
Unité d'Ecologie et Biotechnologie Microbienne

LES ACTINOMYCÈTES: NOUVELLE SOURCE DE BIOFONGICIDES POUR CONTRÔLER LES MALADIES FONGIQUES DE LA VIGNE

2010-2014



MOTS-CLÉS

Actinomycètes, défenses naturelles, impact environnemental, lutte biologique, pesticides, stratégies alternatives, vigne



EN QUELQUES MOTS

L'utilisation des pesticides chimiques pour contrôler les agents pathogènes de la vigne est certes efficace, mais coûteuse et en décalage complet avec le principe de développement durable. Le projet Actinovigne vise à réduire leur utilisation en valorisant une souche d'actinomycète (bactérie) et ses métabolites, pour leur effet antifongique contre le champignon *Botrytis cinerea* (responsable de la pourriture grise). Au-delà des objectifs finalisés, ce projet contribue à améliorer la compréhension des mécanismes d'induction de résistance observés chez la vigne face aux agressions fongiques. Cette étape permettra à terme de concevoir un mode d'utilisation de la souche en condition de vignoble.



CONTEXTE ET OBJECTIF

La vigne est très sensible à l'attaque d'agents pathogènes qui peuvent conduire au développement de maladies telles que la pourriture grise, l'oïdium et le mildiou. Bien qu'elle ne représente que 3,2 % des surfaces cultivées en France, la viticulture consomme actuellement 50 % des produits phytosanitaires, dont la moitié est constituée de fongicides. Le projet Actinovigne vise à réduire l'utilisation des pesticides chimiques en viticulture en développant des biopesticides : l'objectif est de valoriser une souche d'actinomycète et ses métabolites, pour leur effet antifongique contre *B. cinerea*. Au-delà des objectifs finalisés, ce projet contribue à améliorer la compréhension des mécanismes d'induction de résistance de la vigne et de certains paramètres physiologiques face aux agressions fongiques. Une bonne connaissance de ces mécanismes de défense naturels et/ou du pouvoir fongicide observé permettra de concevoir à terme une méthode d'utilisation en condition de vignoble intégrant le mode, le nombre et le moment d'application du produit selon la dynamique du pathogène et les phases de développement de la plante. Cette stratégie alternative devrait conduire *in fine* à substituer, au moins en partie, certains antifongiques et ainsi réduire l'utilisation des produits phytosanitaires.



MÉTHODES

Les effets de la souche d'actinomycète sur le développement de *B. cinerea* sont étudiés sur un modèle de culture cellulaire d'une part, et sur des plantules *in vitro* d'autre part. Ceci fait appel à différentes techniques de laboratoire (biologie cellulaire et moléculaire), dont le protocole est résumé ci-après.

Microorganismes utilisés

Les spores d'une culture de *B. cinerea* de 10 jours sont mises en suspension en présence de PDB (Potato Dextrose Broth) stérile, à la concentration de 10^5 spores/ml.

Les spores d'une culture de S37 de 7 jours sont suspendues en présence du milieu de Bennett liquide, et ajustées à 10^5 spores/ml.

Matériel végétal

Les suspensions cellulaires de vigne (*Vitis vinifera* cv. Concord) sont cultivées dans le milieu Gamborg, à raison de 100 ml par fiole. Les cultures sont maintenues à l'obscurité sous agitation, à 25°C.

Les vitroplants cépage « Chardonnay » sont multipliés par micro bouturage sur milieu MM (Martin et Martin) et sont maintenus dans des conditions contrôlées à 26°C.

Analyse des événements précoces

Trois processus de signalisation connus pour leur importance lors des interactions plante/microorganismes ont été suivis :

- La production d'espèces réactives de l'oxygène, telles que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), est impliquée dans le renforcement de la paroi cellulaire, dans la cascade de signalisation cellulaire et le développement de la réaction hypersensible ; elle joue ainsi un rôle important dans la résistance des plantes. La production d' H_2O_2 dans les suspensions cellulaires est mesurée par chimioluminescence du luminol à l'aide d'un luminomètre.

- De même, l'alcalinisation du milieu extracellulaire est essentielle pour les flux ioniques impliqués dans la défense de la plante. La suspension cellulaire de vigne âgée de 5 à 6 jours et ajustée à 0,1 g/ml est incubée sous agitation à température ambiante pendant 1 heure. Les cellules bactériennes (200 μ l d'une suspension de 10^8 cellules/ml) ou les spores de *B. cinerea* (200 μ l d'une suspension de 10^5 spores/ml) sont ensuite ajoutées. La variation du pH extracellulaire est suivie avec une mini-électrode.

- Enfin, l'étude de la fluorescence de la chlorophylle permet de diagnostiquer l'état fonctionnel du photosystème II (PSII) chez les végétaux. Les mesures sont effectuées avec l'appareil ImagingPam (Heinz Walz, Allemagne).

Analyse moléculaire

Les ARN sont extraits à partir de 100 mg de tissus par la technique de Plant-RNA®. L'expression de gènes connus pour leur implication dans les voies de défense est ensuite analysée par RT-PCR (reverse transcription polymérase chain reaction). Le suivi de l'expression relative consiste à comparer l'induction de gènes inconnus par rapport à des gènes de référence, ou gènes de ménage, pour mettre en évidence des augmentations ou des diminutions du nombre de transcrits. Les différences d'expression entre les différentes conditions sont exprimées en ratio entre le traitement et le témoin. Les échantillons témoin correspondent aux échantillons non inoculés par S37 et non infectés par *B. cinerea*. L'expression relative des gènes est considérée comme induite lorsqu'elle est supérieure à 2 et réprimée lorsqu'elle est inférieure à 0,5.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Modèle : Suspension cellulaire vigne

-*Botrytis* induit une mort cellulaire programmée, dont le degré est réduit en présence de S37 (Figure 1).

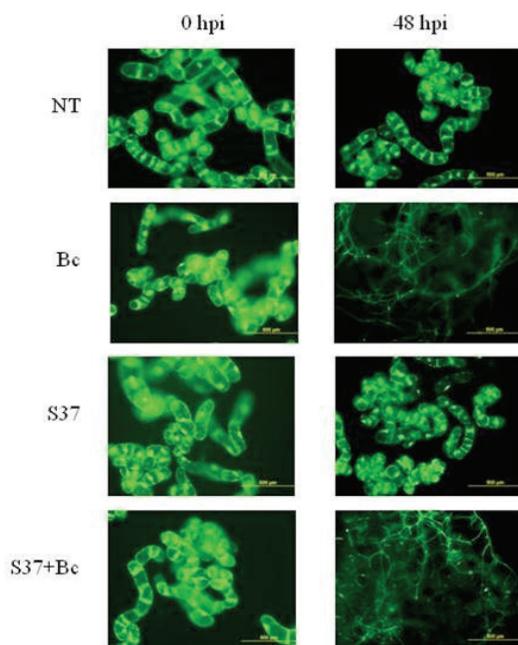


Figure 1 : Visualisation microscopique de la mort cellulaire dans les cellules de la vigne (avant et 48h après l'inoculation).

-Tous les traitements induisent une production d' H_2O_2 , qui commence après 10 min. Cependant, l'application simultanée de S37 et *Botrytis* entraîne une potentialisation (amplification et anticipation) de la réponse (Figure 2).

-Les cellules de vigne incubées en présence de *Botrytis*, S37 ou S37+ *Botrytis* ne montrent aucune différence entre elles, avec une alcalinisation dès les premières minutes du traitement (Figure 3).

-Une potentialisation (induction rapide et intense) de l'expression des gènes de défense dans les suspensions de cellules traitées par S37 avant infection par *B. cinerea* est observée (Figure 4).

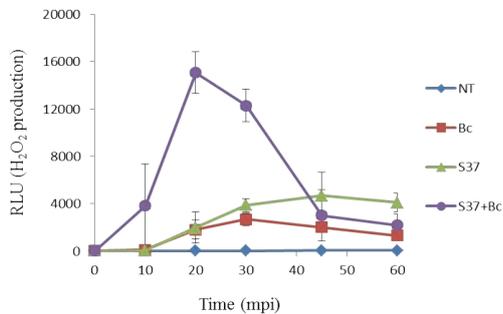


Figure 2 : Production de H_2O_2 dans les suspensions cellulaires de vigne

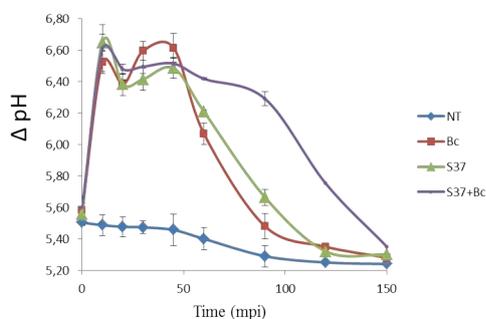


Figure 3 : Alcalinisation du milieu extracellulaire des suspensions cellulaires de vigne.

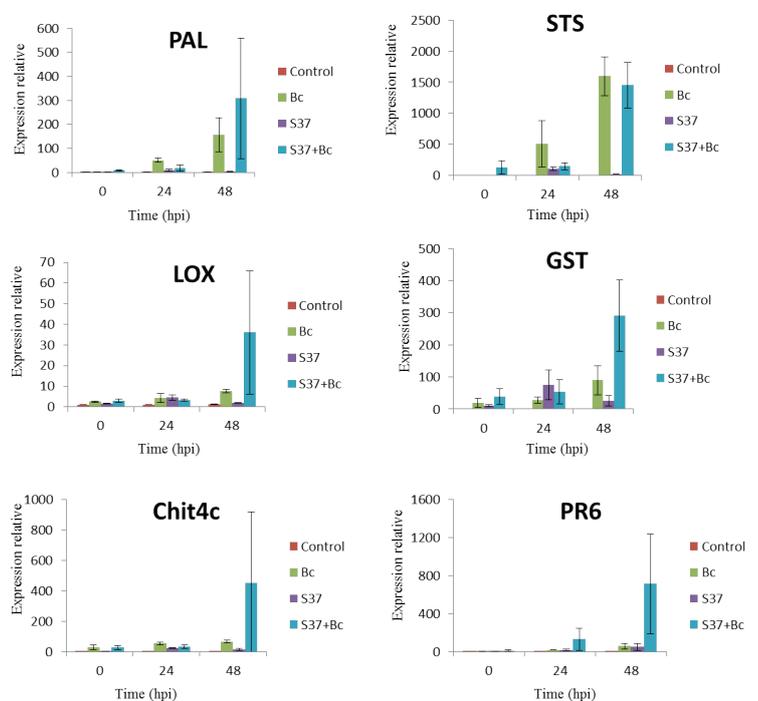


Figure 4 : Expression relative des gènes de défense en culture cellulaire de vigne en réponse à *Botrytis*, S37 et S37+*Botrytis* 24h et 48h après inoculation par *B. cinerea*.

Modèle : Plantule de vigne *in vitro*

-Lorsque la plantule est infectée par *B. cinerea*, les symptômes de la pourriture grise sont observés. La présence de la S37 permet de protéger la plante contre *B. cinerea* (Figure 5).

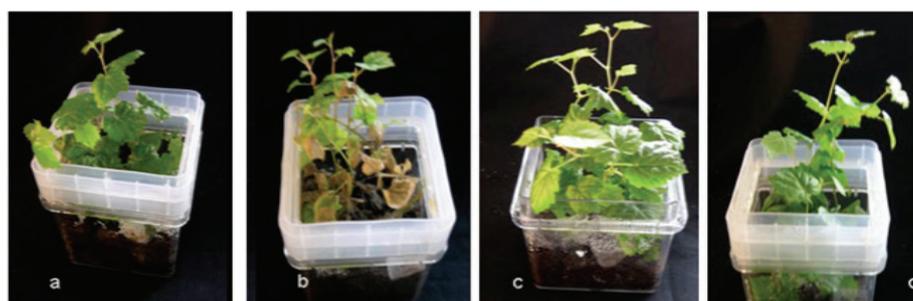


Figure 5 : Effet de la souche S37 sur le développement du *B. cinerea*. a : Témoin, b : *Botrytis cinerea*, c : Souche S37, d : S37+ *B. cinerea*.

-L'étude de la fluorescence de la chlorophylle *a* permet de diagnostiquer l'état fonctionnel du photosystème II (PSII) chez les végétaux et évaluer ainsi les réactions primaires associées au transport des électrons de la chaîne chloroplastique. L'évaluation de la capacité photosynthétique ainsi obtenue en conditions optimales et après l'infection par *Botrytis* permet d'étudier d'éventuelles conséquences de ce pathogène sur le métabolisme carboné. Après 24h, les différents traitements n'ont pas d'effet sur la fluorescence de la chlorophylle *a*. Après 48h, une baisse de la fluorescence est notée au niveau des feuilles botrytisées. Cependant, cette baisse est moins importante au niveau des feuilles prétraitées avec S37, suggérant que S37 peut contrôler positivement la déréglementation du photosystème induite par *Botrytis*.

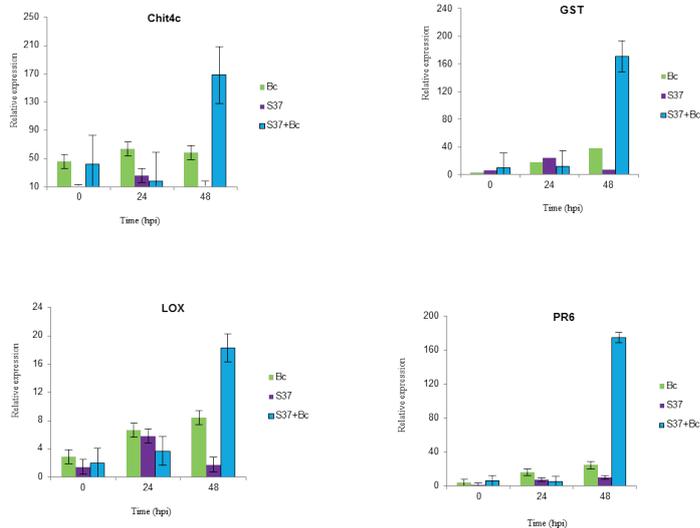


Figure 6 : Expression relative des gènes de défense au niveau de feuille de vigne suite à une inoculation avec *Botrytis*, S37 ou S37+*Botrytis*.

-L'expression de différents gènes impliqués dans les réponses de défense a été étudiée. Les résultats montrent que tous les gènes sont induits au contact de *Botrytis*. Cependant, les niveaux d'induction sont plus forts lors du contact avec la bactérie S37 +*Botrytis* (Figure 6).

-Les données de l'étude, encore en cours d'exploitation, confirment les résultats de l'analyse moléculaire et démontrent que la présence de la bactérie S37 module le métabolisme de la plante en induisant un certain nombre de métabolites impliqués dans les mécanismes de défense.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Un brevet a déjà été déposé, sous le numéro EP 09 290 240.2, afin de valoriser l'emploi de la souche d'actinomycète ou des molécules qu'elle est capable de sécréter et qui ont un pouvoir éliciteur et/ou antifongique. Devant les résultats encourageants, une recherche de partenaires (entreprises...) va être engagée, afin d'exploiter les effets bénéfiques de la souche S37.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Les résultats ont montré que la souche d'actinomycète S37 induit la résistance de la vigne contre *B. cinerea*. Ceci peut s'expliquer par l'effet antifongique de la bactérie S37 à l'égard du champignon et par les modifications physiologiques, métaboliques et moléculaires induites par la présence de la bactérie au niveau de la plante hôte. Les perspectives sont d'étendre les champs d'application de la souche et de ses molécules à d'autres pathogènes de la vigne (mildiou ou oïdium) ou à d'autres cultures telles les céréales.



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Couillerot O., Loqman S., Toribio A., Hubert J., Gandner L., Nuzillard JM., Ouhdouch Y., Clément C., Ait-Barka E., Renault JH. (2014) Purification of antibiotics from the biocontrol agent *Streptomyces anulatus* S37 by centrifugal partition chromatography. *Journal of Chromatography B*, 944: 30– 34.
- Loqman S., Ouhdouch Y., Renault JH., Nuzillard JM., Clément C., Ait-Barka E. (2010) New actinomycetes strain compositions and their use for the prevention and/or the control of microorganism inducing plant diseases. Brevet numéro EP 09 290 240.2.

COLLOQUES

- Vatsa P., Ouhdouch Y., Clément C., Ait-Barka E. (2013) Les actinomycètes : nouvelle source de biofongicides pour contrôler les maladies fongiques de la vigne *Vitis vinifera* L. RVVS 2013. Colloque du Réseau Vigne & Vins Septentrional. Colmar, 1 & 2 juillet 2013.
- Vatsa P., Clément C., Ait-Barka E. (2012) Impact of Actinomycetes on plant photosynthesis during pathogen attack: a complete new story. *Patholux: Impact of Plant Pathogens on the Quality of Crops and Wine*. Mondorf-les-Bains, Luxembourg. 22-23 Octobre, 2012.

- Couillerot O., Vatsa P., Loqman S., Ouhdouch Y., Hubertb J., Renault JH., Clément C, Ait-Barka E (2012) Biocontrol and biofertilizer activities of the *Streptomyces anulatus* S37: an endophytic actinomycete with biocontrol and plant-growth promoting activities. International Organisation for Biological (IOBC): Biocontrol of plant pathogens in sustainable agriculture. 24-27 Juin 2012. Reims.

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES

Yvan **CAPOWIEZ**

capowiez@avignon.inra.fr

INRA AVIGNON

UR Plantes et Système de cultures Horticoles (PSH)

Aude **ALAPHILIPPE**

aude.alaphilippe@avignon.inra.fr

INRA GOTHERON

Unité Expérimentale Recherches Intégrées (UERI)

PARTENAIRES

CHAMBRE D'AGRICULTURE DU VAUCLUSE

CHAMBRE D'AGRICULTURE DU TARN-ET-GARONNE

INRA-CLERMONT - UNIVERSITÉ BLAISE PASCAL
UMR Physique et Physiologie Intégratives
de l'Arbre Fruitier et Forestier (PIAF)

INRA GRIGNON

UR Impacts Ecologiques des Innovations
en Production Végétale (EcolInnov)

UNIVERSITÉ D'AVIGNON - CNRS - IRD
Institut Méditerranéen de Biodiversité et
d'Ecologie marine et continentale (IMBE)

IMPACTS AGRONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX D'UNE MÉTHODE DE LUTTE PERMETTANT DE RÉDUIRE FORTEMENT L'USAGE DES PESTICIDES : LES FILETS ALT'CARPO EN ARBORICULTURE

2010-2013



MOTS-CLÉS

Filets, lutte physique, pesticides, analyse de cycle de vie (ACV)



EN QUELQUES MOTS

D'invention récente (2005), les filets Alt'carpo (Figure 1), une toile insect-proof recouvrant soit chaque rangée (« mono-rang ») soit la parcelle de pommiers (« mono-parcelle »), représentent une des rares alternatives permettant de diminuer les indices de fréquence de traitement en verger de pommiers, une des cultures les plus traitées en France. Le but du présent projet était de valider l'efficacité et d'étudier la durabilité de cette innovation.



Figure 1 : Installation de filets Alt'carpo, domaine INRA de Gotheron (© Sylvaine Simon, INRA UERI Gotheron).



CONTEXTE ET OBJECTIF

L'objectif de ce projet était d'évaluer les conséquences de l'introduction de cette innovation technique au sein des vergers de producteurs en termes de modification des pratiques de protection phytosanitaire (fréquence de traitement en particulier), tout en identifiant d'éventuels effets « secondaires » non pris en compte dans les premières phases de conception. Le projet était structuré en 4 volets répondant aux objectifs suivants :

- Volet 1 : Quels usages pour quelles réductions de l'utilisation de pesticides ? Pour prévenir un contournement, peut-on déterminer les mécanismes d'action vis-à-vis du carpocapse (lépidoptère ravageur des pommes) ?
- Volet 2 : Les filets peuvent modifier la croissance des arbres et le microclimat. Quelles sont les possibles conséquences agronomiques à la fois sur la production fruitière et sur la régulation naturelle des bioagresseurs par les auxiliaires ?
- Volet 3 : La réduction de l'utilisation de pesticides s'accompagne-t-elle d'une réduction concomitante effective des impacts écotoxicologiques ?
- Volet 4 : Au delà de la protection phytosanitaire et des conséquences agronomiques, le bilan global est-il positif ?



MÉTHODES

Les modifications des pratiques de protection dues à l'utilisation de filets Alt'carpo ont été évaluées afin de quantifier l'économie potentielle en termes d'utilisation de pesticides. Des vergers de producteurs ont été suivis en 2010 et 2011 par les conseillers techniques des Chambres d'Agriculture du Tarn-et-Garonne et du Vaucluse.

Ces réseaux de vergers comprennent 43 parcelles dans le Sud-est, dont 26 avec filets, et 80 dans le Sud-ouest, dont 54 avec filets.

En outre, une étude complémentaire en vergers expérimentaux visait à identifier leurs mécanismes d'action sur les lépidoptères ravageurs dans le but de prévenir l'éventuel contournement de cette méthode de lutte. Les hypothèses de mécanismes testées concernaient un possible effet limitant des filets sur les accouplements et/ou la ponte sur pommiers par les femelles accouplées. Pour évaluer chacune de ces hypothèses, des expériences de marquage-recapture et des analyses génétiques d'apparentement entre larves ont été conduites.

L'évaluation des conséquences agronomiques de l'installation des filets concernait en particulier leurs effets sur la croissance de l'arbre, le rendement et l'élaboration de la qualité du fruit, le développement des ravageurs et maladies du pommier et la régulation naturelle par les auxiliaires. Un bilan environnemental a été effectué pour déterminer si la réduction d'usage de pesticides se traduisait par des impacts écotoxicologiques moindres, soit en suivant les populations de forficules et d'araignées (abondance, diversité, survie), soit en utilisant des biomarqueurs. Puis des Analyses de Cycle de Vie et des évaluations *ex ante* ont permis d'estimer la durabilité globale de la méthode Alt'Carpo. Pour ce dernier point, un outil d'évaluation multicritère *ex ante* des innovations en arboriculture a été mis au point.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Sur le plan agronomique, les résultats de ce projet confirment la grande efficacité des filets de type « mono-rang » contre le carpocapse des pommes, le principal ravageur des pommiers. Cela permet une réduction significative des indices de fréquence de traitement (IFT) dans les vergers conduits en Agriculture Biologique (-40%) ; la réduction pour les vergers en production fruitière intégrée (PFI) ne concerne que l'IFT insecticide. En termes de mécanisme d'action, les acquis de ce projet établissent que les filets représentent une double barrière, d'abord physique, en limitant le nombre de carpocapses pouvant atteindre les pommiers et ensuite comportementale, en réduisant significativement le nombre d'accouplements sous les filets. Cependant, dans le cas des filets « mono-parcelle », certaines populations de carpocapses parvenaient à s'adapter.

Les études ont également pu mettre en évidence une modification significative mais limitée du microclimat (+0,7°C et -10% du rayonnement photosynthétique actif - PAR). En outre, la présence de filets peut parfois s'accompagner d'une recrudescence d'attaques de pucerons (cendrés ou lanigères) sans atteindre des niveaux inquiétants. Ces recrudescences peuvent s'expliquer par (i) une réduction de l'usage des insecticides, (ii) une modification du cortège des auxiliaires (les filets limitent la présence des coccinelles et dans certaines conditions des syrphes) ou (iii) éventuellement des effets microclimatiques. On note également que la maille des filets actuels n'est pas efficace contre d'autres lépidoptères comme la tordeuse orientale du pêcher ou la tordeuse de la pelure.

En matière d'impacts environnementaux, les filets, en diminuant les IFT, autorisent des abondances supérieures de certaines communautés d'auxiliaires, comme les forficules (en vergers PFI) ou les araignées (quel que soit le mode de protection phytosanitaire). Leur présence augmente également significativement la diversité des araignées de la canopée.

Enfin, des études *ex ante* ont été rendues possibles grâce au développement de l'outil «DEXI-pomefruit» afin d'évaluer la durabilité et l'efficacité environnementale des filets. Sur ce dernier point, les résultats indiquent que la durabilité globale des vergers couverts de filets Alt'carpo est bien supérieure aux vergers non couverts. Ceci est notamment dû à (i) une meilleure durabilité économique (le surcoût lié à l'investissement pour la mise en place de filets est moins pénalisant que l'augmentation du risque de perte de récolte lorsque les vergers sont non couverts, les filets Alt'carpo sont également des filets para-grêle) et (ii) une meilleure durabilité environnementale liée à un moindre usage des pesticides.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Fort du succès observé en verger de pommiers, de nouvelles utilisations ont vu le jour avec une maille différente en verger de cerisiers (contre la mouche des fruits) ou avec de nouvelles cibles en verger de pommiers (bâches anti-tavelure).



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

De nouvelles applications doivent être testées comme la combinaison de ce mode de lutte physique avec des techniques de lutte biologique par conservation (implémentation de bandes fleuries sous les filets) pour augmenter la biodiversité des auxiliaires sous les filets.



VALORISATION

PUBLICATION SCIENTIFIQUE

- Sauphanor B., Severac G. et al. (2012) Exclusion netting may alter reproduction of the codling moth (*Cydia pomonella*) and prevent associated fruit damage to apple orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 14: 134-142.

COLLOQUES

- Marliac G., Simon S., Fleury A., Alaphilippe A., Dib H., Capowiez Y. (2012) Contrasting effects of codling moth exclusion netting on the natural control of the rosy apple aphid. In: IOBC, Proceedings of the 8th International Conference on Integrated Fruit Production, Kusadasi, Turkey, pp. 75-78.
- Congrès Oilb, Turquie (octobre 2012) : présentation orale de l'outil DEXiPomme avec manuscrit accepté.
- Siegwart, M., Pierrot M. et al. (2012). Adaptation to exclusion netting of the codling moth (*Cydia pomonella* L.) in apple orchards. IOBC, Working Group «Integrated Plant Protection in Fruit Crops». Kusadasi, Turkey
- Congrès Future IPM, Italie, Mars 2013 : présentation par poster de l'outil DEXiPomme

THÈSES

- Laure Malagnoux. Evaluation des impacts environnementaux liés aux pratiques phytosanitaires en vergers de pommiers. Approches écotoxicologique et écologique utilisant un auxiliaire des cultures, le forficule (Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2010-2014).
- Gaëlle Marliac. Intensification de l'AB : conséquences sur la régulation de phytophages en vergers de pommiers (INRA Avignon, 2011-2014 : en cours).

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Cours Master2 Agrocampus Ouest Angers 'Gestion des ravageurs dans les agrosystèmes' : « le filet, levier d'action pour contrôler le carpocapse ».
- Cours Master1 Agrocampus Ouest Angers sur les méthodes d'évaluation dont DEXiPomme.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

- L'arboriculture fruitière n°657 (2011) Ouste Carpo ! : l'heure est à la combinaison des méthodes de lutte.
- Phytoma n°645 (2011) Alt'Carpo : résultats en verger.
- Réussir Fruits et Légumes n°306 (2011) Les lépidoptères se heurtent à Alt'Carpo.
- Réussir Fruits et Légumes n°321 (2012) : Le développement du concept Alt'Carpo est exponentiel.
- L'arboriculture fruitière n°673 (2013) Alt'Carpo : Surtout efficace en mono-rang.
- Réussir Fruits et Légumes n°328 (2013) : Alt'Carpo élargit son application.

MÉTHODOLOGIE

- Fiche technique « Les filets Alt'Carpo » déposée dans le cadre des ressources techniques pour Écophyto (septembre 2012).

PRÉSENTATIONS À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Présentation au Ministre de l'agriculture dans le cadre Écophyto (janvier 2013).
- Colloque « Bilan des travaux conduits en France et en Italie sur les filetsAlt'Carpo », à destination des acteurs de la production (4 février 2014).

ACTIONS VERS LES MÉDIAS

- Interview télévision régionale agricole d'Emilie Romagne (Italie) février 2013 (<http://www.youtube.com/watch?v=4a7jlw8fNDc>).
- Reportage dans l'émission de télévision sur France 3 « C'est pas sorcier » 2011.
- Site Alt'Carpo : <http://www.alt-carpo.com>
- Forum d'échange sur Alt'Carpo (<http://www.ecohort.agreenium.org/Recherche/Les-filets-anti-insectes>).

AUTRE

- Dépôt de l'outil DexiPM-pomefruit à l'Agence de Protection des Programmes (APP), 2013.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Denis FAURE
faure@isv.cnrs-gif.fr
CNRS GIF-SUR-YVETTE
Institut des Sciences du Végétal (ISV)

PARTENAIRE

COMITÉ NORD PLANTS DE POMMES DE TERRE
(CNPPT)

**ÉVALUATION D'UNE APPROCHE DE PHYTOPROTECTION
ALTERNATIVE : CAS DE LA BIOSTIMULATION CIBLANT LA
VIRULENCE RÉGULÉE PAR QUORUM-SENSING LORS DE
LA CULTURE DE PLANTS DE POMME DE TERRE**

2010-2013



MOTS-CLÉS

Biocontrôle, *Pectobacterium*, pomme de terre, anti-virulence, jambe noire



EN QUELQUES MOTS

Le projet ECOPRO soutient les efforts de transfert et d'évaluation d'une nouvelle éco-technologie de lutte contre le pathogène *Pectobacterium* responsable des maladies de la jambe noire et de la pourriture molle des cultures de plants de pommes de terre (et d'autres plantes d'intérêt agronomique: betterave, endive, carotte ...). Cette éco-technologie consiste en l'introduction simultanée d'un nouvel intrant biochimique biodégradable (gamma-heptanolactone) et d'un agent bactérien de biocontrôle (*Rhodococcus erythropolis*). Le projet associe comme partenaire agronomique le CNPPT qui est le principal regroupement de producteurs de plants de pomme de terre en France et comme partenaire académique l'équipe Ecologie de la Rhizosphère du CNRS (Gif-sur-Yvette). Ce travail évalue le service agronomique rendu et l'impact environnemental liés à l'utilisation de cette nouvelle éco-technologie.



CONTEXTE ET OBJECTIF

Les pathogènes du genre *Pectobacterium* sont responsables de la jambe noire et de la pourriture molle affectant les parties aériennes et les tubercules de pomme de terre, et sont les principaux agents bactériens incriminés lors de l'évaluation en champ de la qualité des plants de pommes de terre en France et en Europe. Les recherches académiques ont mis à jour les mécanismes de régulation de la virulence de *Pectobacterium* et ainsi permis la proposition de nouvelles stratégies de lutte. En se basant sur des essais en serres et en parcelles, le projet ECOPRO (2010-2013) a évalué le service agronomique (phytoprotection) obtenu après l'apport d'agents phytobénéfiques (appelés agents de biocontrôle) de l'espèce bactérienne *Rhodococcus erythropolis* associés à des agents biodégradables (des lactones appelés biostimulants) qui favorisent l'installation de *R. erythropolis* dans la rhizosphère.



MÉTHODES

Essais en macrocosmes de sol en serre

Sous serre, des macrocosmes de sol sont semés de tubercules de pomme de terre afin de comparer l'efficacité de colonisation racinaire des bactéries indigènes et introduites de *R. erythropolis* selon quatre modalités : (1) absence de traitement ; (2) application d'un biostimulant, la gamma-heptanolactone (GHL) ; (3) introduction de l'agent de biocontrôle *R. erythropolis* R138 ; et (4) un couplage du biostimulant GHL et de *R. erythropolis* R138. La communauté bactérienne totale et la population de *R. erythropolis* sont dénombrées ; l'agent GHL est détecté par spectrométrie de masse.

Essais en parcelles en champ

Les essais sont conduits en parcelles expérimentales de 200 pieds de plants de pommes de terre (Figure 1). La campagne se déroule d'avril à

septembre. Afin d'assurer la présence de symptômes, le pathogène *Pectobacterium atrosepticum* est introduit lors du semis. Dans ces essais deux types de traitements, (1) apport de l'agent biologique R138 seul et (2) apport de R138 couplé au biostimulant GHL, sont comparés aux parcelles contrôle sans traitement ou subissant l'application de sulfate de cuivre. Au moins quatre parcelles sont analysées par condition. Les symptômes de jambe noire sont observés, ainsi que ceux liés à la présence éventuelle d'autres pathogènes (virose, mildiou).

Analyse de la biodiversité bactérienne dans les sols

L'ADN des communautés bactériennes est extrait d'échantillons de sol issus des essais en macrocosmes et en parcelles. Cet ADN est utilisé comme matrice pour une amplification par PCR d'une région du gène rrs-16S, marqueur de la biodiversité bactérienne. Les amplicons obtenus sont soumis à un séquençage à haut débit 454-Roche permettant l'analyse de la diversité des genres bactériens.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Colonisation racinaire des bactéries phytoprotectrices

Les expérimentations réalisées en macrocosmes de sol en serre montrent : (1) une biodégradation rapide de l'agent biochimique (GHL) à un niveau 1000 fois inférieur à celui de son introduction; la GHL atteint un niveau indétectable par les outils HPLC/MS-MS, donc ne s'accumule pas dans le sol, ni dans la plante ou le tubercule ; (2) une biostimulation faible du niveau des populations *R. erythropolis* indigènes du sol dans la condition de biostimulation par la GHL ; ce traitement par la GHL seule montre donc peu d'effet en macrocosmes de sol contrairement aux effets observés en cultures hydroponiques ; (3) une faible (ou non significative) augmentation de la population *R. erythropolis* lorsque l'agent biologique R138 est introduit seul dans la rhizosphère ; (4) une forte colonisation de la rhizosphère par *R. erythropolis* qui atteint 40% de la communauté totale lors du couplage des agents biologique R138 et biochimique GHL. Il est important de noter qu'en absence de nouveaux traitements la population introduite R138 décroît en quelques semaines ; l'installation de cette population est transitoire. Ainsi, l'introduction couplée d'un agent biologique et biochimique est la meilleure combinaison permettant l'installation de l'agent biologique dans la rhizosphère de plants de pomme de terre.

Phytoprotection en parcelles expérimentales

En 2011, les essais en parcelles expérimentales ont montré une diminution des symptômes dans les conditions traitées avec l'agent biologique *R. erythropolis* R138 seul ou en couplage avec l'agent biochimique GHL. Le traitement au sulfate de cuivre n'a pas montré de diminution statistiquement significative des symptômes. Aucun symptôme associé à d'autres pathogènes (virus, mildiou) n'a été observé dans cet essai. En 2012, les conditions climatiques exceptionnelles n'ont pas permis l'exploitation des données recueillies. En 2013, les essais n'ont pas montré de baisse significative des symptômes.

Ces essais ont permis de mettre en place une procédure d'évaluation du bénéfice agronomique de cette éco-technologie. L'évaluation se poursuit, notamment en modulant le mode d'introduction du pathogène, qui dans ces essais a été très favorable au déclenchement de la maladie à un niveau 10 fois supérieur à celui attendu en champ.

Dynamique de la biodiversité bactérienne

Lors des essais en macrocosmes de sol, l'analyse de la diversité bactérienne montre que les genres et groupes dominants (*Rhizobiales*, *Pseudomonas*, *Commamonas*, *Acidovorax* ...) ne sont pas affectés lors des différents traitements. En revanche, cette analyse a permis de confirmer l'installation dans la rhizosphère du genre *Rhodococcus* lors de la modalité couplant application de la GHL et introduction de l'agent de biocontrôle *R. erythropolis* R138. D'une manière similaire, aucune modification significative des communautés bactériennes n'est observée entre les modalités comparées lors des essais en parcelles en 2011. Les traitements utilisés préservent la diversité bactérienne des sols.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Ce projet a permis de développer et de mettre en œuvre des outils d'évaluation d'une éco-technologie de phytoprotection des plants de pommes de terre. Cette évaluation a été réalisée en serre et en parcelles expérimentales. Une diminution des symptômes associés au phytopathogène *Pectobacterium* a pu être mise en évidence après l'application de traitements associant l'agent de biocontrôle *R. erythropolis* R138 et l'agent de biostimulation GHL.

D'autres essais en parcelles sont en cours afin de consolider cette étude et de développer des formu-

lations d'applications commerciales des agents de phytoprotection. Sachant que les pathogènes *Pectobacterium* infectent d'autres plantes hôtes, ce paradigme de phytoprotection pourrait être généralisé à d'autres cultures d'intérêt agronomique.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Actuellement les travaux se poursuivent pour évaluer cette approche de phytoprotection associant l'agent de biocontrôle *R. erythropolis* R138 et l'agent de biostimulation GHL.

D'autres travaux sont engagés pour proposer d'autres approches de phytoprotection basées sur des approches d'antibiose et de phagothérapie, et leurs associations entre elles et avec d'autres traitements de phytoprotection.



Figure 1 : Test au champ de différents traitements des plants de pommes de terre (© CNRS).



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Tannières M., Beury-Cirou A., Vigouroux A., Mondy S., Pellissier F., Dessaux Y., Faure D. (2013) A metagenomic study highlights phylogenetic proximity of quorum-quenching and xenobiotic-degrading amidases of the AS-family. PLoS ONE, 8: e65473.
- Crépin A., Cirou A., Barbey C., Farmer C., Hélias V., Faure D., Latour X. (2012) N-acyl homoserine lactones in diverse *Pectobacterium* and *Dickeya* plant pathogens: diversity, abundance, and involvement in virulence. Sensors, 12: 3484-3497.
- Crépin A., Barbey C., Cirou A., Tannières M., Orange N., Feuilloy M., Dessaux Y., Burini J-F., Faure D., Latour X. (2012) Biological control of pathogen communication in the rhizosphere: A novel approach applied to potato soft rot due to *Pectobacterium atrosepticum*. Plant and Soil, 358: 27-37.

COLLOQUES

- Kwasiński A., Mondy S., Latour X., Beury-Cirou A., Faure D. (2013) Genomique et transcriptomique de l'agent de phytoprotection *Rhodococcus erythropolis* R138. Rennes. 2^e Colloque Génomique Environnementale.
- Kwasiński A., Mondy S., Mothe N., Cirou A., Faure D. (2012) Biocontrol of *Pectobacterium*: Genomic of the biological agent *Rhodococcus erythropolis* R138. Wageningen-Holland. Integrated Pest Management, 10th Conference of the European Foundation for Plant Pathology.
- Mothe N., Cirou A., Deveaux V., Faure D. (2012) Stratégie anti-quorum-sensing visant les bactéries macergènes de la pomme de terre. Tours. AFPP 10^e conférence internationale sur les maladies des plantes.

- Tannières M., Cirou A., Mondy S., Faure D. (2012) Biostimulation of quorum quenching bacteria for protecting potato plants against *Pectobacterium sp.* Gent-Belgium. 64th International Symposium on Crop Protection.
- Tannières M., Cirou A., Mondy S., Faure D. (2012) Fonctionnal metagenomics for evaluating biostimulation of native quorum-quenching populations in the potato rhizosphere. Rhodes-Greece. 28th New Phytologist Symposium. Functions and Ecology of the Plant Microbiome.
- Raoul des Essarts Y., Cirou A., Mothe N., Hélias V., Faure D. (2012) Development of biocontrol strategies against the pathogenic bacteria causative of blackleg and soft-rot, *Pectobacterium* and *Dickeya*. Rennes. European Dickeya Meeting.
- Kwasiborski A., Mondy S., Cirou A., Faure D. (2012) Lutte biologique contre *Pectobacterium* : Génomique de l'agent phytoprotecteur *Rhodococcus erythropolis* R138. Paris. 8ème Colloque de la Société française de phytopathologie.
- Mothe N., Cirou A., Vast S., Deveaux V., Faure D. (2012) Biostimulation de *Rhodococcus erythropolis* R138 comme stratégie anti-quorum sensing visant *Pectobacterium atrosepticum*, bactérie pathogène de la pomme de terre. Aussois. 10ième Rencontre Plantes-Bactéries.

THÈSES

- Cirou A. (2010) Développement de stratégies d'anti-virulence ciblant la régulation quorum-sensing chez *Pectobacterium atrosepticum*, bactérie pathogène de la pomme de terre. Université d'Orsay (CIFRE-CNPPT).
- Tannières M. (2012) Interruption de la communication bactérienne dans la rhizosphère par la dégradation enzymatique des signaux quorum sensing. Université d'Orsay (Région Ile de France).
- Raoul des Essarts Y. Développement de stratégies d'antibiose ciblant *Pectobacterium* et *Dickeya* (thèse en cours ; CIFRE-FN3PT).

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Université Paris 7 : Licence 3 Sciences du Vivant, Parcours Biologie Cellulaire et Physiologie, UE Interactions plantes microorganismes.

EXPERTISE

- D. Faure. Evaluation des stratégies de biocontrôle contre les pathogènes *Dickeya* et *Pectobacterium*. Comité scientifique du CNPPT 2010, 2011, 2012, 2013, 2014.

ARTICLE DE VALORISATION / VULGARISATION

- Cirou A., Tannières M., Mothe N., Deveaux V., Faure D. (2012) L'ingénierie écologique des agrosystèmes au service de la réduction des intrants chimiques dans le cadre du plan Écophyto 2018. Eclairage n°13 Janvier-Mars 2012. <http://www.r2ds-ile-de-france.com/>

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Faure D. (2011) Développement et évaluation des stratégies de biocontrôle contre les pathogènes *Dickeya* et *Pectobacterium*. Fédération Nationale des Producteurs de Plants de Pommes de Terre, Conseil scientifique annuel 2011.

ACTION VERS LES MÉDIAS

- Mothe N., Deveaux V., Faure D. (2012) Les journées de l'Ingénierie Ecologique : Ingénierie écologique sous le projecteur du plan Écophyto 2018 (Visite du site 8). CNRS, Région Nord-Pas-de-Calais.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Patrick **LAVELLE**
Patrick.Lavelle@ird.fr
 UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE PARIS -
 IRD

PARTENAIRES

INRA ANTILLES-GUYANE
 UR Agrosystèmes Tropicaux (ASTRO)

UNIVERSITÉ DES ANTILLES ET DE LA GUYANE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ALTERNATIVES BIOLOGIQUES À L'UTILISATION DES PESTICIDES DANS LES PLANTATIONS DE BANANES PLANTAINS

2010-2014

**MOTS-CLÉS**

Protection des plantes, bananier plantain, vers de terre, mycorhizes, plantes de service

**EN QUELQUES MOTS**

Le projet Alterbio, mené en Guadeloupe et en Colombie, propose des alternatives biologiques à l'usage effréné des phytosanitaires, dans la culture conventionnelle de bananier plantain, une plante très sensible à de nombreuses maladies et parasites. Les recherches montrent un lien très fort entre l'intensification agricole et la prévalence de toutes les maladies, en relation avec une dégradation générale des sols. Le désherbage chimique est maintenant abandonné suite à cette démonstration. L'expérimentation de diverses options biologiques montre la nécessité d'une fertilisation organique, au moins partielle, et de plantes de service pour maintenir les bananiers en bonne santé dans un sol actif biologiquement.

**CONTEXTE ET OBJECTIF**

La banane plantain, aliment de base de millions de personnes, génère des revenus permanents pour un grand nombre d'agriculteurs, dans des plantations de taille petite ou moyenne. Cette plante est très sensible aux parasites et aux maladies : Sigatoka noire (*Mycosphaerelia fidjiensis* var *difformis*), Cercosporiose jaune (*Mycosphaerella Musicola*), infections à *Ralstonia solanacearum* (« Moko »), charançons et nématodes phytoparasites. La diversité des parasites et maladies qui affectent cette plante nécessite, dans le cadre de l'agriculture conventionnelle, une égale variété de produits phytosanitaires dont l'application va croissante à mesure que les mécanismes naturels de lutte, à l'échelle de la plante ou de l'écosystème, s'affaiblissent. Dans ce contexte, le projet Alterbio étudie des options techniques pour réduire ou supprimer le recours aux pesticides et permettre une éventuelle transition vers les systèmes organiques. L'objectif est de proposer des alternatives efficaces et viables économiquement, en mettant en œuvre une démarche en trois étapes :

1. Identifier les conditions socioéconomiques, les paysages, les systèmes de productions et la biodiversité du sol qui créent une résistance des plantations aux maladies et parasites.
2. Expérimenter diverses options de gestion de la biodiversité du sol (mycorhizes, vers de terre, plantes associées, méthode FBO) permettant de rendre les plantes résistantes ou tolérantes aux maladies et parasites.
3. Analyser avec les producteurs les conditions pour qu'ils intègrent les innovations proposées.

**MÉTHODES****Phase 1 : Enquêtes dans les exploitations**

La totalité (73) des plantations de Guadeloupe (Figure 1) et 62 exploitations représentatives de Colombie ont fait l'objet d'un questionnaire portant sur 118 variables décrivant systèmes de production, condition phytosanitaire, coût des intrants, coût de la main d'œuvre. Une Analyse Factorielle Multiple a permis d'analyser la covariation entre ces éléments. Un diagnostic détaillé de l'état des plantes et du sol a ensuite été réalisé dans 20 exploitations.



Figure 1 : Vue aérienne d'une bananeraie, Basse-Terre de la Guadeloupe (© Alexandra Jullien, INRA).

Phase 2 : Expérimentation

Dans trois fermes de Colombie, 5 traitements ont été mis en place : méthode FBO qui utilise deux sortes d'apports organiques et l'inoculation de vers de terre endogés cultivés localement, dans des tranchées creusées à proximité des plantes (Figure 2) ; FBO + lixiviats de troncs de bananier ; FBO + mycorhizes ; FBO + lombricompost et témoin.

Tous les 6 mois, ont été mesurés : l'état sanitaire des plantes ; les nématodes dans les racines ; la qualité chimique (16 variables), physique (8) et la macroagrégation (4) des sols ; les macroinvertébrés et mycorhizes.

En Guadeloupe, dans trois exploitations, la gestion conventionnelle a été comparée à une option agroécologique : Plants Issus de Fragments de tiges (PIF) + vermicompost + plante de service *Arachis pintoï* (Figure 3).

Tous les mois, ont été mesurés : la hauteur et la circonférence des bananiers (9 dans chaque sous-parcelle), l'azote et le phosphore biodisponibles. Un suivi technico-économique a également été effectué. A la récolte (11 mois), ont été mesurés : les propriétés chimiques du sol, les spores de mycorhizes, les nématodes du sol et des racines, la macrofaune, la macroagrégation, les nécroses aériennes/racinaires, les adventices. Des analyses foliaires ont en outre été réalisées.

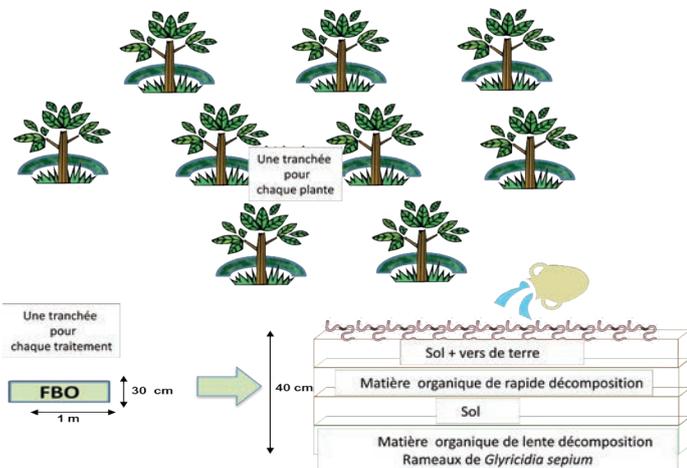


Figure 2 : Fertilisation Bio Organique (FBO).

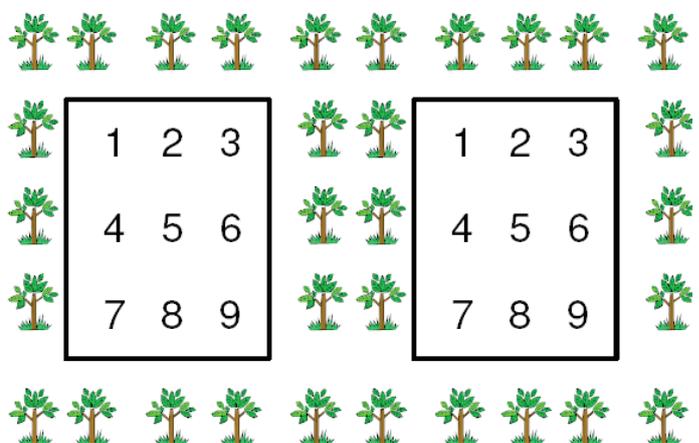


Figure 3 : Dispositif expérimental en Guadeloupe.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Phase 1 : Enquêtes dans les exploitations

En Guadeloupe, les pratiques peu intensives permettent une forte diversité de la faune et une bonne agrégation biogénique du sol avec de faibles populations de nématodes phytoparasites que les nématocides ne contrôlaient plus. Les larves de charançons et de hannetons, nombreuses dans les parcelles intensives, attaquent les plantes et ne sont pas efficacement contrôlées par les insecticides.

En Colombie, l'enquête montre une nette correspondance entre les éléments de l'intensification, particulièrement l'usage intensif de produits agrochimiques, et l'occurrence des maladies et parasites (Figure 4A). Le diagnostic agroécologique (Figure 4B) montre une nette opposition entre l'indice mesurant l'occurrence des maladies et les indicateurs d'agrégation biogénique (axe 1) et de macrofaune (axe 2).

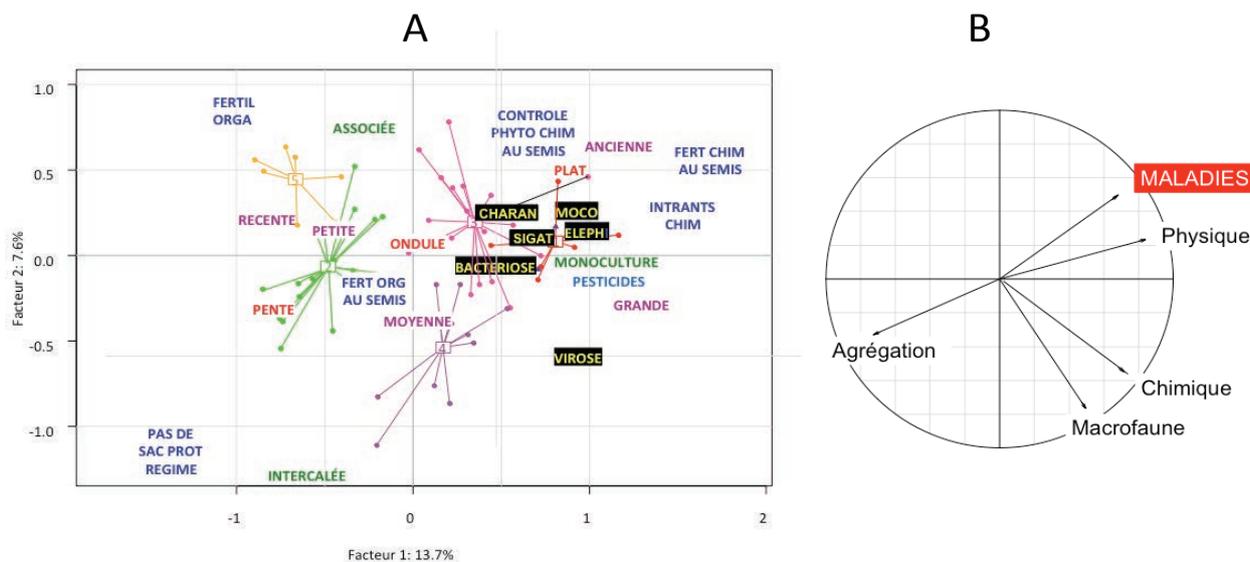


Figure 4 : Covariations avec les maladies : (A) des systèmes de production (B) ; des indicateurs de qualité des sols.

Phase 2 : Expérimentation

En Colombie, la mise en œuvre de la méthode de fertilisation bio organique FBO, sans application de produits phytosanitaires, dans des systèmes de production très intensifs et affectés par les maladies, a permis une amélioration sensible des paramètres biologiques et physiques de la qualité du sol tandis que la production et le taux de maladies ne semblent pas différer entre les deux systèmes. La confirmation de ce résultat (analyses en cours) montrerait que la technique FBO permet de passer d'un système intensif grand consommateur de produits agrochimiques à un système organique sans utilisation de ces produits.

En Guadeloupe, les données sont en cours d'analyse.

Phase 3 : Adoption des innovations

En Guadeloupe, des innovations agro-écologiques (vermicompost, plants sains (PIF) et plantes de service), ont été proposées aux agriculteurs. L'étude économique montre que les alternatives biologiques sont viables économiquement du fait de la stabilité des revenus et par l'espacement dans le temps des coûts de plantation. Les agriculteurs sont prêts à innover en faisant usage des plants sains et du vermicompost, dans la mesure où le travail supplémentaire n'excède pas 40 jours par an et le coût de mise en place 1000 € pour un hectare planté. Les politiques de soutien doivent inclure le préfinancement des investissements et l'accompagnement technique. En Colombie, le séminaire sera réalisé en juillet 2014.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Le transfert technique proposé concerne la production d'engrais organiques, vermicompost de matériaux résiduels, engrais vert de légumineuses arbustives (*Gliricidia sepium*) dans les deux pays. En outre, la technique de fertilisation bio organique FBO sera proposée aux producteurs. A la Guadeloupe, une technique de fabrication de plants sains à la ferme et en pépinière sera également transmise.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Il faut désormais déterminer où et comment produire à la ferme les apports organiques dont le coût extérieur est prohibitif, et sous quelle forme (compost, engrais verts produits dans des haies, ou plantes de service). Les mécanismes qui renforcent les défenses des plantes (modulation de l'expression des gènes d'intérêt par les organismes du sol) doivent également être approfondis. Enfin, la compréhension des interactions entre éléments cultivés et naturels dans le paysage permettra une occupation des sols plus rationnelle.



VALORISATION

COLLOQUES

- Deloné-Louis Jeune B., Loranger-Merciris G., Ozier-Lafontaine H., Dorel M., Diman J.L., Lavelle P. (2011) What tools for agroecological diagnosis? Towards a methodological approach with Plantain (*Musa paradisiaca*). 47th Annual Scientific Meeting of the Caribbean Food Crops Society, Lloyd Erskine Sandiford Centre, Bridgetown, Barbados, July 3-9, 2011.
- Chagüeza Y., Londoño A. M. , Asakawa N., Velásquez E., Lavelle P. (2013). Alternativas Biológicas para el Cultivo de Plátano en el Departamento del Quindío, Colombia. II Congreso latinoamericano y del Caribe de Platanos y Bananos, Medellin, Colombia.
- Forite C., Ogisma A., Delone-Louis-Jeune B., Loranger-Merciris G., Ozier-Lafontaine H., Diman J.L. (2011) An holistic approach to cropping practices, a prerequisite for an agroecological diagnosis of plantain cropping systems in Guadeloupe. 47th Annual Scientific Meeting of the Caribbean Food Crops Society, Lloyd Erskine Sandiford Centre, Bridgetown, Barbados, July 3-9, 2011.

THÈSES

- Londoño A. Systèmes de production et état phytosanitaire des plantations de bananes plantains en Colombie (Quindio). Diagnostic et conditions pour l'adoption d'innovations agroécologiques. Universidad Nacional de Colombia. Soutenance 2014.
- Chagüeza Y. Diagnostic agroécologique et application du système de Fertilisation Bio Organique (FBO) comme alternative à l'usage de produits agrochimiques dans les plantations de banane plantain de Colombie (Quindio). Universidad Nacional de Colombia. Soutenance 2014.
- Deloné B. Alternatives agro-écologiques à l'usage des intrants chimiques dans les bananeraies plantains. Le cas de deux régions de la Caraïbe : Guadeloupe et Haïti. Soutenance prévue en octobre 2014.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

- http://transfaire.antilles.inra.fr/IMG/pdf/doc6_Fiche_PIF_def.pdf
- http://transfaire.antilles.inra.fr/IMG/pdf/doc5_Fiche_Vermicompost_def.pdf
- http://transfaire.antilles.inra.fr/IMG/pdf/doc4_Fiche_PDC_def.pdf

PRÉSENTATIONS À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Présentation du projet le mardi 03 Juillet 2012, Domaine DUCLOS, INRA Antilles Guyane et le 10 septembre 2012, CIRAD Neufchateau. <http://transfaire.antilles.inra.fr/spip.php?article117>
- Association des producteurs de bananes plantains du Quindio : CRQ juin 2012. Armenia.
- Association des producteurs de plantains de Pijao (Quindio). Juillet 2014.

ACTION VERS LES MÉDIAS

- Présentation du projet (Guadeloupe 1ère, France Antilles) le mardi 03 Juillet 2012, Domaine DUCLOS, INRA Antilles Guyane. <http://www.guadeloupe.franceantilles.fr/actualite/economie-consommation/trois-methodes-pour-produire-de-la-banane-plantain-bio-176886.php>

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Corinne **ROBERT**
 Corinne.Robert@grignon.inra.fr
 INRA-AGROPARISTECH GRIGNON
 UMR Environnement et Grandes Cultures
 (EGC)

PARTENAIRES

INRA VERSAILLES
 UR Physicochimie et Ecotoxicologie des SoLS
 Agrosystèmes Contaminés (PESSAC)

INRA - AGROPARISTECH GRIGNON
 UMR BIOlogie et GEstion des Risques
 en agriculture (BIOGER)

INRA - UNIVERSITÉ CLERMONT II
 UMR Génétique, Diversité et
 Ecophysiologie des Céréales (GDEC)

CIRAD - INRA - IRD - MONTPELLIER SUPAGRO
 - UNIVERSITÉ MONTPELLIER 2
 UMR Développement et
 Amélioration des plantes (DAP)

ARVALIS – INSTITUT DU VÉGÉTAL

IRSTEA - MONTPELLIER SUPAGRO
 UMR Information et Technologie pour les
 Agro-Procédés (ITAP)

ADAS, UK
 High Mowthorpe, Duggleby, Malton,
 North Yorkshire

WAGENINGEN UR, PAYS BAS
 ALTERRA

**RÉDUIRE L'UTILISATION DES FONGICIDES EN ASSOCIANT
 STRATÉGIES DE TRAITEMENT OPTIMALES ET COUVERTS
 ÉCHAPPANT AUX MALADIES**

2010-2014

MOTS-CLÉS

Réduction des traitements, fongicides, architecture, échappement, date de traitement, interception, modalité d'application, septoriose, blé, impact environnemental

EN QUELQUES MOTS

Le projet ECHAP porte sur les liens entre architecture du couvert végétal, échappement aux maladies et interception et efficacité des fongicides (Figure 1). Pour cela, il inclut le développement d'un outil de modélisation qui simule l'effet de l'architecture du couvert sur (1) les épidémies, (2) l'interception et la persistance des fongicides et (3) l'effet des fongicides sur les cycles infectieux. Cet outil permet l'évaluation multicritère (agronomique, environnementale et épidémique) de scénarios variés (climat x architecture x fongicide). Des expérimentations au champ permettent de tester des stratégies de traitement associées à des architectures variées et de valider le modèle développé.

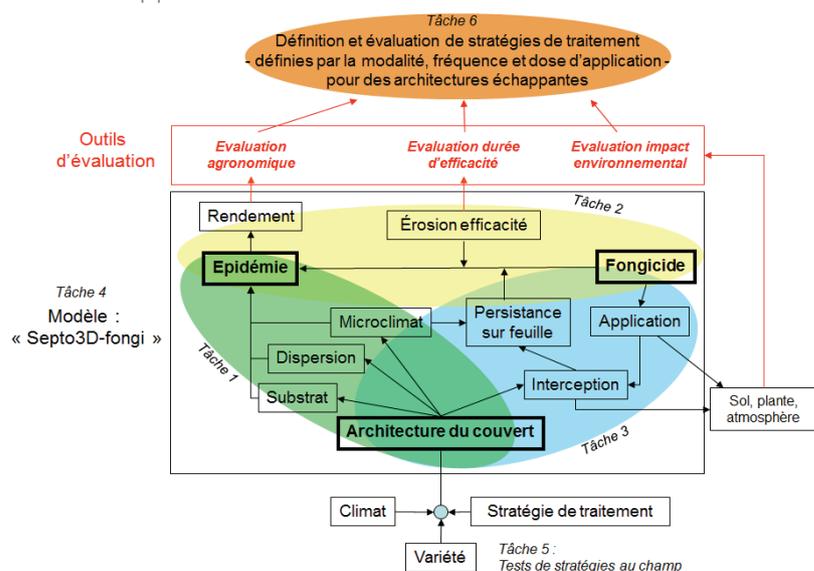


Figure 1 : Représentation de l'organisation du projet ECHAP. Les trois couleurs schématisent les trois principales interactions traitées dans le projet : en vert les interactions entre architecture du couvert et développement du champignon (tâche 1), en bleu l'effet de l'architecture des couverts sur l'interception et la persistance du fongicide sur les feuilles (tâche 3) et en jaune l'effet du fongicide sur le développement du champignon (tâche 2). Le cadre noir correspond aux contours du modèle ECHAP Septo3D-fongi développé dans le projet (tâche 4) et qui inclut les critères d'évaluation des stratégies (cadre rouge). L'outil de modélisation développé évalue par simulation les stratégies de traitement par des critères multiples (fond orange, tâche 6). Des expérimentations au champ permettent de tester l'opérationalité du projet (tâche 5).

CONTEXTE ET OBJECTIF

L'architecture des couverts joue un rôle clé dans le développement des épidémies : elle détermine la quantité de substrat, sa localisation et les distances à parcourir entre tissus infectés et tissus sains à coloniser. De plus, prendre en compte l'effet de l'architecture des couverts sur l'interception des fongicides, en interaction avec le type de matériel d'application utilisé, est une piste afin d'améliorer l'efficacité des traitements fongicides en favorisant l'accès des produits aux feuilles cibles. Une interception du

produit optimisée devrait permettre de diminuer les quantités appliquées et d'augmenter l'efficacité des traitements.

L'objectif du projet ECHAP est de quantifier l'économie de fongicides possible grâce à l'utilisation d'architectures échappantes aux maladies et qui optimisent l'interception des fongicides. Un objectif spécifique est de révéler des traits d'architecture source d'échappement et qui maximisent l'interception des fongicides (donc leur efficacité), et qui pourront nourrir l'innovation variétale. Le projet comporte également un objectif méthodologique avec le développement d'un modèle couplant le développement du couvert, le devenir des fongicides et la dynamique du pathogène. Il vise enfin à proposer une démarche d'évaluation multicritère des stratégies antifongiques intégrant l'estimation des rendements et les bilans d'impacts environnementaux des pesticides (Figure 1).



MÉTHODES

La démarche du projet associe modélisation et expérimentations.

L'outil de modélisation ECHAP est organisé autour de trois composantes : (1) l'effet de l'architecture du couvert sur les épidémies, (2) l'effet des fongicides sur les cycles infectieux et (3) l'effet de l'architecture du couvert sur l'interception et le devenir des fongicides sur les feuilles. Le modèle ECHAP permet de simuler dynamiquement un couvert de blé qui pousse, l'épidémie associée sur les différents étages foliaires en fonction du climat et de l'architecture des plantes et enfin l'interception du fongicide et son effet sur les épidémies. Une partie de l'assemblage est hébergé par la plate-forme de modélisation OpenAlea (Figure 2). De plus, une démarche d'évaluation multicritère des stratégies antifongiques est proposée. Elle intègre l'estimation des rendements, les bilans d'impacts environnementaux des pesticides et l'érosion de l'efficacité des produits. Le modèle permet de tester des scénarios variés combinant climat x architecture x traitement fongicide et d'identifier des stratégies économes en pesticides. La démarche de modélisation adoptée est générique et a vocation à s'appliquer dans le futur à divers pathosystèmes et traitements fongicides.

Parallèlement au travail de modélisation, des expérimentations en conditions contrôlées ont permis de caractériser des processus clés tels que la dispersion des gouttelettes infectieuses dans des architectures contrastées et le devenir des fongicides sur les feuilles et leur pénétration. Ces expérimentations sont utiles pour la paramétrisation de certaines composantes du modèle ECHAP. De plus, des expérimentations au champ pendant trois saisons de culture permettent de tester l'opérationnalité de stratégies de traitement associées à des architectures variées. Des notations fines d'architecture et d'épidémie ont été associées à des mesures d'interception et d'évolution de résistance des pathogènes. Les données sont également utilisées pour valider l'outil de modélisation développé.

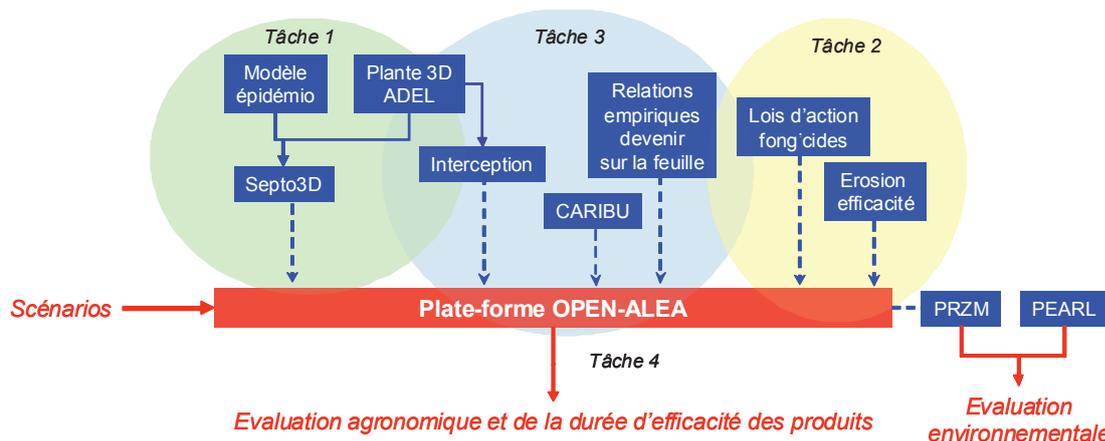


Figure 2 : Principales composantes et modèles utilisés, assemblage prévu dans le projet ECHAP et sorties attendues, en réponse à des scénarios « climat x variétés x architecture x maladie x traitements fongicides ». Les tâches 1, 2 et 3 du projet sont indiquées par un encadré vert, jaune et bleu respectivement. L'outil développé en tâche 4, schématisé en rouge, fait dialoguer les modèles issus des tâches 1, 2, et 3. Les sorties sont des évaluations agronomique et environnementale.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Les résultats du projet sont de 3 grands types :

Résultats sur les mécanismes étudiés via des expérimentations fines en conditions contrôlées

Une expérimentation en serre a permis d'obtenir des données fines de dispersion de spores pour des architectures et des pluies contrastées. Les lignées de blé utilisées sont Mercia sauvage et avec le gène rht3 (nain). Les blés nains présentent des niveaux de maladie nettement plus élevés sur les trois étages

foliaires du haut du couvert. De plus, la pluie de forte intensité n'entraîne plus de maladie que pour les blés nains, indiquant une interaction entre type de pluie et architecture (Figure 3).

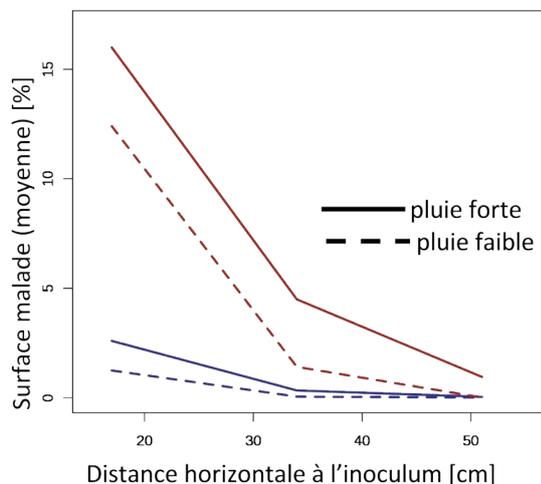


Figure 3 : Surface malade (% de nécrose due à la septoriose) des feuilles en fonction de la distance à la source d'inoculum (x) pour les deux lignées de blé Mercia (bleu) et nains rht3 (rouge) pour deux types de pluies : une pluie d'intensité forte (traits continus) et faible (traits pointillés). Les résultats sont issus d'une expérimentation en serre (Cv Soissons) où deux types de pluie ont été utilisés pour disperser des spores à partir d'une source de spores localisée dans le couvert. La surface malade correspond aux lésions issues de ces pluies sur les plantes autour de la source.

Pour caractériser la persistance des fongicides sur la feuille et leur pénétration, des expérimentations ont été réalisées avec des molécules marquées dans des systèmes développés spécifiquement pour cette étude. Elles étudient la cinétique de pénétration et de volatilisation de 3 matières actives utilisées pour contrôler le développement de la septoriose (époxyconazole, fenpropidine et chlorothalonil). Elles sont apportées sur des feuilles de blé soit pures, soit avec la formulation. Outre la faisabilité méthodologique de ces mesures, les résultats montrent que (1) les processus de volatilisation et de pénétration dépendent des propriétés physicochimiques des matières actives et que (2) la formulation favorise fortement la pénétration foliaire des produits systémiques. La photodégradation s'est avérée peu significative pour les composés et les conditions choisis d'après des expérimentations complémentaires. La description des différents processus et les paramètres cinétiques ont servi à l'élaboration d'un module spécifique au devenir des fongicides sur la feuille (cf. ci-après).

Test de l'opérationnalité du projet au champ

Les trois années d'expérimentations réalisées à Boigneville (ARVALIS) ont permis d'obtenir un jeu de données original avec des mesures fines d'architecture, d'épidémie, d'interception de produits et de rendement. Les résultats montrent que les épidémies de septoriose varient fortement avec l'année et l'architecture des variétés. Les lignées Mercia et Rht3 présentent des architectures très contrastées et, avec un climat plutôt défavorable à la maladie, les blés nains sont tout de même plus malades (Figure 4). Les mesures d'interception des fongicides montrent un effet important de l'architecture des variétés et de la date de traitement sur l'interception des produits. Par contre l'effet du volume de l'application sur l'interception par le feuillage est très faible. Ainsi l'architecture du couvert influence les épidémies et l'interception du produit de façon significative pour les trois années des expérimentations du projet.

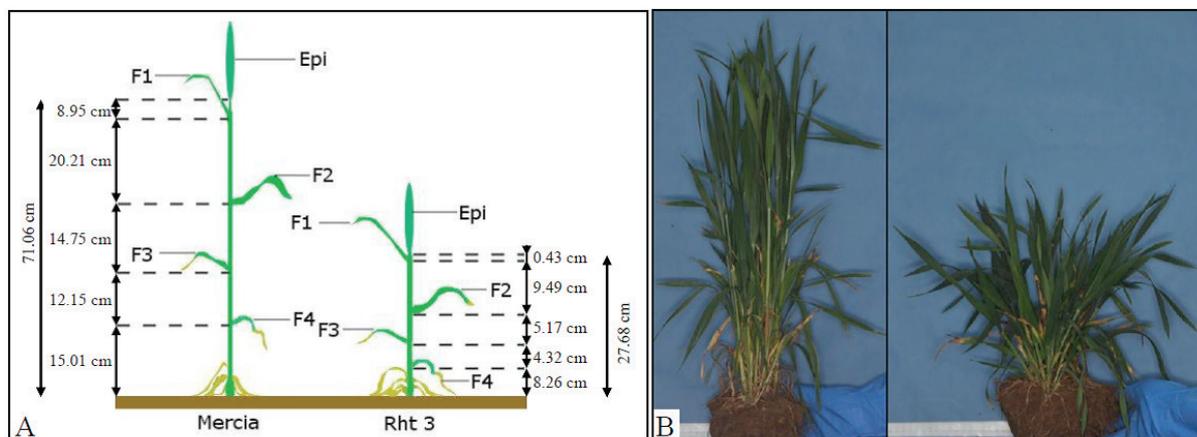


Figure 4 : (A) Représentation schématique des lignées Mercia et rht3 au stade épi complètement sorti. Les différentes feuilles du maître brin sont représentées, avec les dimensions entre les ligules. (B) Photos de bottes de blé issues de l'expérimentation au champ des lignées Mercia sauvage (à gauche) et rht3 (à droite), au stade deux-nœuds.

Développement de l'outil de modélisation

Le projet a permis d'assembler sous la plateforme unique OpenAlea les composantes nécessaires à la simulation et à l'évaluation des stratégies de réduction de fongicides pour différentes architectures de blé. Sept composantes ont été assemblées :

- développement de la plante en 3D ;
- cycle infectieux de la septoriose ;
- dispersion des spores ;
- interception du fongicide ;
- persistance du fongicide sur la feuille ;
- effet des fongicides sur le cycle infectieux ;
- érosion de l'effet du fongicide.

Le modèle est fonctionnel et il permet de simuler, pour une dynamique d'architecture de blé et un climat, le développement des épidémies sur les différents étages foliaires ainsi que l'interception de fongicides et son effet sur le cycle infectieux.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Des supports de publication professionnelle permettront la diffusion d'articles de valorisation. La communication sera axée sur 2 principaux points : (1) l'optimisation des techniques d'application des fongicides en fonction de données architecturales des couverts et (2) la diffusion des démarches d'évaluation multicritère.

Les résultats transférables sont de trois ordres : (1) optimisation de traitements fongicides pour des couverts variés, (2) caractérisation variétale par des traits architecturaux révélés pour leur caractère échappant et maximisant l'interception des pesticides et (3) transfert des outils de modélisation vers des outils plus opérationnels.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Au niveau du projet, deux actions sont en cours pour la dernière année (2014) : (1) l'évaluation des stratégies de traitement d'un point de vue agronomique et environnemental, et (2) le test du modèle avec les données des expérimentations de Boigneville. Les premières comparaisons des simulations avec les données sont encourageantes (Figure 5).

Le projet permet la modélisation dynamique du pathosystème « blé-septoriose-fongicide ». Une perspective est la généralisation de ce cadre de modélisation à des pathosystèmes variés, qui est en cours dans la thèse de Guillaume Garin (2012-2015). Des avancées en termes d'évaluation multicritère et de gestion de simulations multiples pour des systèmes dynamiques et complexes sont aussi nécessaires. Enfin, il ressort que des connaissances nouvelles sont nécessaires sur les interactions entre la feuille, son pathogène et le fongicide, en particulier sur la façon dont les propriétés de surface des feuilles influencent les interactions entre les trois composantes.

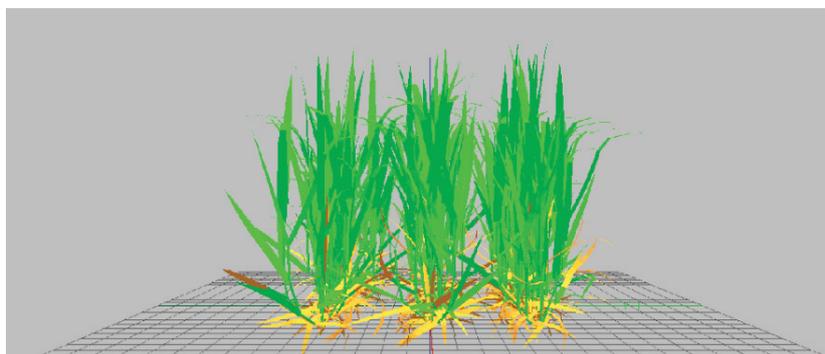


Figure 5 : Maquette issue du modèle 3D de blé pour la variété Mercia (expérimentation Boigneville, 2010).



VALORISATION

PUBLICATION SCIENTIFIQUE

- Lichiheb N., Personne E., Bedos C., Barriuso E. (2014) Adaptation of a resistive model to pesticide volatilization from plants at the field scale: Comparison with a dataset. Atmospheric Environment, 83: 260-268.

COLLOQUES

- Vidal T., Gigot C., Girardin G., de Vallavieille-Pope C., Suffert F., Huber L., Robert C., Saint-Jean S. (2014) Effet de l'architecture d'un couvert de blé et des caractéristiques pluviométriques sur la dispersion par éclaboussement de *Mycosphaerella graminicola* en conditions contrôlées, in: 10^e Rencontres de Phytopathologie - Mycologie de La Société Française de Phytopathologie. Journées Jean Chevaugéon, Aussois, France.
- Lichiheb N., Bedos C., Personne E., van den Berg E., Barriuso E. (2014) Modelling pesticides volatilization from plants at the field scale: comparison of SUR-FATM and PEARL models. IUPAC. San Francisco (USA).
- Fournier C., Pradal C., Abichou M., Andrieu B., Bancal M.-O., Bedos C., Benoit P., Chambon C., Chapuis R., Cotteux E., Mamy L., Paveley N., Pot V., Saint-Jean S., Richard C., Sinfort C., Halle A.T., van den Berg E., Walker A.-S., Robert C., (2013) An integrated and modular model for simulating and evaluating how canopy architecture can help reduce fungicide applications, in: FSPM2013 Proceedings (ISBN 978-951-651-408-9).
- Lichiheb N., Personne E., Bedos C. Barriuso E. (2013) Développement et validation d'un modèle mécaniste de volatilisation des pesticides. 2013. Journée doctorant Air de l'ADEME. Paris (France).
- Lichiheb N., Bedos C., Personne E., Benoit P., Bouhleb J., Bergheaud V., Fanucci O., Richard C., Trivella A., Barriuso E. (2013) Development and validation of a mechanistic pesticide emission model at the field scale: toward a tool for evaluating the sources of atmospheric contamination by pesticides. International Conference on Pesticide Behaviour in Soils, Water and Air University of York, UK 2nd - 4th September 2013: Presentation in the platform session on Emission and Fate of Pesticides in Air.
- Girardin G., Gigot C., Robert C., de Vallavieille-Pope C., Suffert F., Saint-Jean S. (2012) Effect of wheat canopy architecture and rain characteristics on septoria splash-borne pycnidiospore, in: Plant and Canopy Architecture Impact on Disease Epidemiology and Pest Development. Presented at the Plant and Canopy Architecture Impact on Disease Epidemiology and Pest Development, Rennes, France.
- Robert C., Abichou M., Andrieu B., Bancal M.-O., Barriuso E., Bedos C., Benoit, P., Bergheaud V., Bidon M., Bonicelli B., Chambon C., Cotteux E., da Costa J., Durand B., Fournier C., Gagnaire N., Gaudillat N., Gigot C., Gouache D., Jean Jacques J., Mamy L., Ney B., Paveley N., Periot B., Poidevin S., Pot V., Pradal C., Richard C., Saint-Jean S., Salse J., Sinfort C., Smith J., Ter Halle A., van den Berg E., Walker A.-S. (2012) ECHAP project: to reduce fungicide use by associating optimal treatment strategies and canopies promoting disease escape, in: Plant and Canopy Architecture Impact on Disease Epidemiology and Pest Development. Rennes, France.
- Girardin G., Gigot C., Robert C., de Vallavieille-Pope C., Suffert F., Saint-Jean, S. (2011) Effect of wheat canopy architecture and rain characteristics in splash dispersal of *Mycosphaerella graminicola* pycnidiospores, in: 8th International Symposium on *Mycosphaerella* and *Stagonospora* Diseases of Cereals. Mexico.

THÈSE

- Lichiheb N. (2014). Développement et validation d'un modèle mécaniste de volatilisation des pesticides à l'échelle de la parcelle: vers un outil d'évaluation des sources de contamination de l'atmosphère. UMR-EGC, INRA-AgroParis-Tech (Thèse ADEME/INRA Département EA) (soutenance octobre 2014).

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Girardin G. (2011). "Effet de l'architecture du blé et des caractéristiques de la pluie sur la dispersion par éclaboussement des pycnidiospores de *Mycosphaerella Graminicola* ». Rapport de stage, Master 2FAGE. Université Henri Poincaré & ENSIA.
- Poidevin S. (2011) « La réduction des columes de bouillie phytosanitaire a-t-elle un impact sur l'interception foliaire et l'efficacité face à *Septoria tritici* : cas de deux architectures de blé tendre d'hiver ? ». Rapport de stage. Master Biologie et Santé. Spécialité Sciences du végétal. Université Paris Sud 11, AgroParis-Tech, ENS CACHAN.

- Bouhlel J. (2012) "Etude expérimentale du comportement de fongicides appliqués sur des feuilles de blé". Mémoire de fin d'études, Chimie Analytique et Instrumentation, Faculté des Sciences de Tunis ; UMR INRA AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures de Grignon, 84 p.
- Da Costa J. (2012) "Influence de l'architecture du couvert de blé et de la technique de pulvérisation à bas volume sur l'interception foliaire du fongicide et le développement de *Septoria tritici*". Master 2 Rennes, AgroCampus.
- Danthony-Romeuf A. (2013) "Influence de l'architecture du couvert de blé et de la réduction du volume de bouillie sur l'interception foliaire d'un fongicide et le développement de *Septoria tritici*". Master 2 ENSIA, Nancy.

ARTICLE DE VALORISATION / VULGARISATION

- Perriot B., Robert C. Pulvérisation en grandes cultures : Comprendre le dépôt pour mieux cibler l'application. Perspectives agricoles (en cours de publication).

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Jean-Noël **AUBERTOT**
 Jean-Noel.Aubertot@toulouse.inra.fr
 INRA - INP TOULOUSE
 UMR AGrosystèmes et agricultures,
 Gestion des ressources,
 Innovations & Ruralités (AGIR)

PARTENAIRE

ECOLE D'INGÉNIEURS DE PURPAN

**APPROCHE SYSTÉMIQUE POUR GÉRER
 LES BIOAGRESSEURS DU BLÉ**

2010-2014

MOTS-CLÉS

Blé, bioagresseurs, modélisation, pratiques culturales, profil de dégâts, protection intégrée des cultures, situation de production

EN QUELQUES MOTS

Le projet ASPIB a contribué à mettre au point un outil générique permettant le développement de modèles représentant les profils de dégâts d'une culture donnée sous l'effet du système de culture, du pédoclimat et de l'environnement de la parcelle. Une preuve de concept est en cours de développement par application de la méthode au cas des principaux bioagresseurs du blé (Figure 1). A terme, le modèle permettra la conception de stratégies de protection intégrée du blé.



Figure 1 : Principaux bioagresseurs du blé et dégâts engendrés (de gauche à droite puis de bas en haut : piétin verse, rhizoctone, fusariose des tiges, piétin échaudage, oïdium, rouille jaune, rouille brune, septoriose, JNO (Jaunisse nanifiante orge), fusariose des épis, pucerons des épis, adventices).

CONTEXTE ET OBJECTIF

Les bioagresseurs des cultures peuvent entraîner des pertes quantitatives et qualitatives élevées. Afin de maîtriser ces pertes, les agriculteurs utilisent différents produits phytosanitaires qui ne sont pas sans risques vis-à-vis de l'environnement et de la santé publique. De plus, les populations de bioagresseurs ciblées peuvent développer des résistances aux pesticides, ce qui entraîne des pertes d'efficacité. Il apparaît donc nécessaire de repenser les stratégies de gestion des bioagresseurs dans les systèmes agricoles de manière à augmenter leurs performances sociales, environnementales et économiques. Pour ce faire, il convient de mobiliser d'autres leviers que la seule protection. De plus, il est important de souligner que les populations de bioagresseurs considérées appartiennent à cinq règnes, ce qui implique une très forte hétérogénéité de caractéristiques biologiques. Il apparaît donc essentiel que la protection des cultures repose sur une meilleure intégration verticale (combinaison de différentes méthodes de gestion des populations de bioagresseurs) et horizontale (gestion concomitante des agents pathogènes, des plantes adventices et des ravageurs).

L'objectif du projet ASPIB était de développer un outil permettant de contribuer à la conception de systèmes de culture moins sensibles aux bioagressions. La culture du blé a été retenue comme support d'étude mais la dé-

marque se veut générique, de manière à pouvoir être facilement adaptée à d'autres grandes cultures, mais aussi à l'arboriculture, la viticulture, les cultures légumières et l'horticulture.

MÉTHODES

La première étape de ce travail a été de réaliser un schéma conceptuel générique représentant le fonctionnement des agroécosystèmes : le schéma conceptuel du modèle IPSIM, Injury Profile SIMulator. L'hypothèse sous-jacente est que la combinaison d'une situation de production donnée et d'un système de culture conduit à un profil de dégâts unique.

Afin de pouvoir développer un modèle de simulation à partir du schéma conceptuel d'IPSIM et des éléments de connaissance disponibles (Figure 2), des analyses bibliographiques aussi exhaustives que possible ont été conduites et synthétisées dans des tableaux synoptiques. Ainsi, les connaissances sur les effets des pratiques agricoles et du pédoclimat sur différents bioagresseurs du blé ont été répertoriées et hiérarchisées.

Une base de données nationale sur les principaux déterminants des bioagresseurs du blé a été constituée à partir de différentes sources : résultats d'expérimentations non conçues dans le cadre de la démarche IPSIM, complétés par un diagnostic en parcelles agricoles en Midi-Pyrénées. Les modèles développés dans le cadre d'IPSIM ont été réalisés dans un premier temps à l'aide du logiciel DEXi. Il s'agit à la base d'un logiciel permettant une représentation qualitative hiérarchique pour l'aide à la décision. Pour la première fois, ce formalisme a été utilisé pour développer des modèles de simulation. D'autres versions des logiciels ont été développées sous Excel afin de mettre en œuvre la multi-simulation plus facilement et de fournir une interface permettant la traduction de variables quantitatives ou nominales en variables qualitatives, en fonction de la région française considérée.

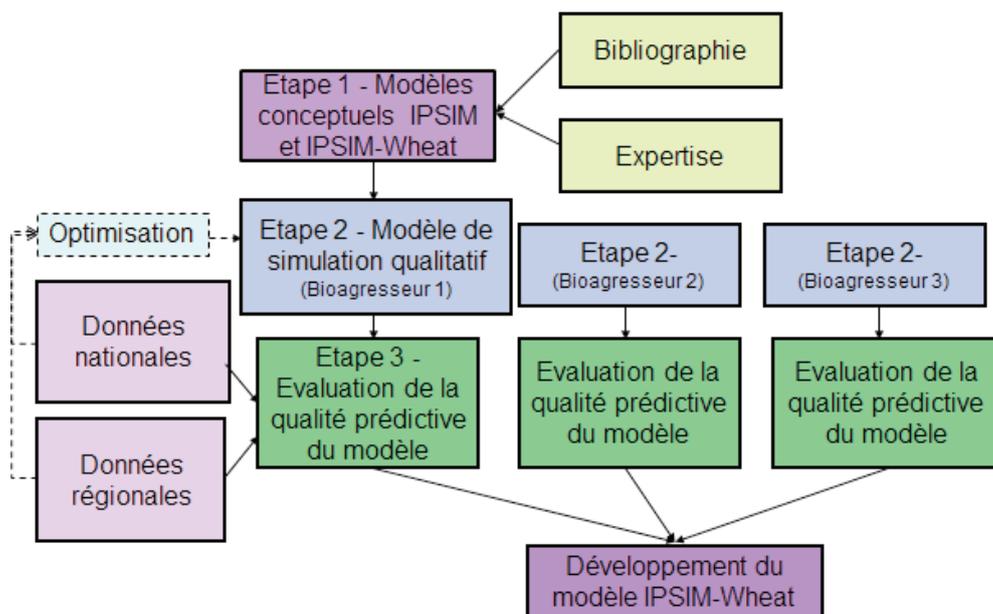


Figure 2 : Démarche suivie pour la conception du modèle IPSIM-Wheat.

PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Le travail a été réalisé dans le cadre de la thèse de M.H. Robin (El Purpan) soutenue en février 2014. Différents modèles ont été développés ou sont en cours de développement dans le cas du blé : piétin-verse, rouille brune, rouille jaune, septoriose, fusarioses, oïdium, pucerons, plantes adventives. D'autres sont en projet. Il faudra donc encore quelques années pour que le développement agricole puisse disposer d'un modèle représentant l'ensemble des principales pressions biotiques du blé pour aider à la conception de stratégies de protection réellement intégrée. Néanmoins, les modèles développés selon la méthode IPSIM (i.e. les modules d'IPSIM-Wheat) et opérationnels aujourd'hui peuvent d'ores et déjà être mobilisés pour faciliter l'intégration des méthodes de contrôle de plusieurs bioagresseurs importants du blé, dans le cadre du plan Écophyto. Les modèles développés dans le cadre d'IPSIM sont complémentaires aux modèles épidémiologiques qui permettent l'aide à la décision tactique des traitements phytosanitaires puisqu'ils abordent avant tout la question de l'intégration des méthodes de contrôle à une échelle stratégique. De plus, compte tenu de la facilité de prise en main de l'outil, IPSIM peut être également utilisé

comme un outil de communication et/ou de formation par les conseillers, voire par les agriculteurs eux-mêmes. La structure générique d'IPSIM peut être facilement adaptée à d'autres productions que la grande culture et est à la disposition des acteurs du plan Écophyto pour structurer de manière collective les connaissances disponibles et les mettre à la disposition des agriculteurs.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

IPSIM-Wheat permettra dans le futur de proposer une méthode et un outil utiles à la conception de systèmes moins sensibles aux pressions biotiques et donc moins consommateurs de pesticides. Ces outils sont intéressants comme appui à des programmes de conception ou de co-conception, d'expérimentation, ou de prototypage de systèmes innovants. Ils peuvent aussi être utilisables *a posteriori* pour diagnostiquer le niveau de performances actuelles de parcelles agricoles ou expérimentales en termes de contrôle du profil de dégâts sur le blé d'hiver. IPSIM-Wheat s'avère être un outil très intéressant de communication, animation, formation car il est facile à prendre en main et très vite opérationnel. Des interventions auprès d'étudiants ont d'ailleurs été réalisées durant l'automne 2013 et ont contribué à faire émerger des réflexions à même de pouvoir faire évoluer les modèles ; ces interventions se poursuivront en 2014-2015.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

L'effet du climat sur le développement d'un bioagresseur donné reste difficile à apprécier. Ainsi, les connaissances manquent pour construire des règles de détermination du niveau d'influence pour une année climatique donnée. Les données historiques des Services Régionaux de la Protection des Végétaux (SRPV), couplées à la base de données climatiques MétéoFrance SAFRAN, pourront être mobilisées pour établir une typologie des effets du climat sur la sévérité d'un bioagresseur (projet SMACH HISTOPEST porté par le réseau PIC, Protection Intégrée de Cultures, INRA-CIRAD).

IPSIM ayant été conçu comme un modèle générique, des adaptations sont en cours ou prévues (tourne-sol, manguier, certaines pressions biotiques du blé en Australie).

Afin d'améliorer les performances des modèles IPSIM, un algorithme sera développé dans un langage bas niveau afin d'identifier la combinaison de règles de décision à optimiser pour minimiser les erreurs de prédiction (collaboration avec l'UR MIA Toulouse).



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Aubertot J.-N., Robin M.-H. (2013) Injury profile simulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. PLoS ONE, 8: e73202.
- Robin M. H., Colbach N., Monfort F., Cholez C., Debaeke P., Aubertot J.N. (2013) Injury profile simulator, a hierarchical aggregative modelling framework to predict an injury profile as a function of cropping practices, and abiotic and biotic environment. II. Proof of concept: design and evaluation of IPSIM-Wheat-Eyespot, a model that predicts eyespot injuries on winter wheat. PLoS ONE, 8: e75829.

COLLOQUES

- "IPSIM-WHEAT, a hierarchical qualitative model to predict wheat injury profile as a function of cropping practices, soil, climate and field environment". International congress on "Pesticide Use and Risk Reduction for future IPM in Europe", Italy, Riva del Garda, 19-21 March, 2013.
- "IPSIM-WHEAT, Injury Profile SIMulator- Wheat, a hierarchical , aggregative and qualitative model to predict wheat injury profile as a function of cropping practices, soil, climate and field environment". International workshop on modelling platforms for the sustainable management of crop health (organised by The INRA/CIRAD IPM network, the European Research Group ENDURE, the European project PURE, and the «Modelling for Agriculture» Mixed Technology Network). Paris, 29 Novembre 2013.

THÈSE

- Robin (2014). Analyse et modélisation des effets des pratiques culturales et de la situation de production sur les dégâts causés par les bioagresseurs des cultures. Application au blé d'hiver. Thèse INP Toulouse.

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- INP-EIPurpan et ENSAT : 2 jours de cours/T.D autour d'IPSIM et un jour de soutenance des projets.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

- IPSIM, un premier outil pour une gestion intégrée des ennemis des cultures. INRA Presse Info octobre 2013.
- Blé, connaître les risques d'attaque de maladies. France agricole, 22/11/2013.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Nathalie COLBACH
Nathalie.Colbach@dijon.inra.fr
 INRA-AGRO SUP DIJON-UNIVERSITÉ DE
 BOURGOGNE
 UMR Agroécologie

PARTENAIRE

INRA-NANCY-COLMAR - UNIVERSITÉ DE
 LORRAINE,
 UMR Laboratoire Agronomie et
 Environnement (LAE)

**ANALYSE ET MODÉLISATION DES EFFETS DES PRA-
 TIQUES AGRICOLES SUR LES SERVICES ET DISSERVICES
 ÉCOSYSTÉMIQUES DÉPENDANT DES ADVENTICES –
 APPLICATION À L'ÉVALUATION ET LA CONCEPTION DE
 SYSTÈMES DE CULTURE ÉCONOMES EN HERBICIDES**

2013 - 2015



MOTS-CLÉS

Adventice, nuisibilité, biodiversité, régulation biologique, protection intégrée, système de culture, évaluation multicritère, modèle.



EN QUELQUES MOTS

Les adventices («mauvaises herbes») sont très nuisibles pour la production agricole mais essentielles pour la biodiversité des agroécosystèmes. Elles dépendent fortement des pratiques agricoles et du paysage dont les effets sont difficiles à évaluer au champ. L'objectif du projet FLORSYS est de développer un modèle prédisant la dynamique de la flore adventice et d'organismes associés, ainsi que leurs impacts sur la production et la biodiversité, en fonction des effets des systèmes de culture et du pédoclimat. Ce modèle servira ensuite à évaluer et améliorer des systèmes de culture existants afin de proposer des systèmes économes en herbicides, conciliant production agricole et biodiversité.



CONTEXTE ET OBJECTIF

Les adventices («mauvaises herbes») causent des pertes de rendement importantes et sont des hôtes pour d'autres bioagresseurs. Elles sont aussi la composante majeure de la biodiversité végétale sauvage des paysages agricoles, et servent de ressource trophique ou d'habitat à d'autres composantes de la biodiversité. Le contrôle des adventices est essentiellement basé sur les herbicides. Remplacer les herbicides par des méthodes alternatives sera certes bénéfique pour l'environnement mais pourra aussi affecter le rendement des cultures et la biodiversité associée aux adventices. Les adventices dépendent très fortement des pratiques agricoles au niveau du champ et du paysage dont les effets sont difficiles à évaluer au champ parce que les semences adventices survivent pendant plusieurs années dans le sol et se dispersent dans les paysages. Les modèles sont donc indispensables pour quantifier et synthétiser les effets des pratiques culturales sur la dynamique et la composition de la flore adventice, et la biodiversité associée. Les objectifs du présent projet sont:

- développer un modèle des effets des systèmes de culture sur la flore adventice et des composantes biotiques associées, de la parcelle au paysage ;
- développer une méthodologie de conception de systèmes de culture multi-objectifs à l'aide de ce modèle ;
- proposer des systèmes de culture permettant un compromis entre réduction d'herbicides, préservation de la production agricole et de la biodiversité.



MÉTHODES

Le projet combine expérimentation, modélisation et simulation. Il comprend trois axes :

1. Développer et valider un outil d'évaluation des effets des systèmes de culture sur la nuisibilité et les bénéfices de la flore adventice, en complétant le modèle existant FLORSYS (quantifiant les effets des systèmes de culture et du pédoclimat sur la dynamique adventice au niveau du champ) :

- Avec des modules et indicateurs prédisant les interactions entre adventices et d'autres composantes biotiques, nuisibles et profitables. Ces modules supplémentaires sont construits à partir d'expérimentations spécifiquement mises en place, de la littérature et de dires d'experts. Les organismes nuisibles considérés sont une plante parasite, l'orobanche rameuse (Figure 1), et un champignon pathogène, responsable du piétin-échaudage des céréales. Les organismes profitables étudiés sont des insectes et oiseaux granivores, ainsi que des insectes pollinisateurs.

- Avec des modules et indicateurs visant à mieux intégrer les freins à l'adoption des systèmes de culture innovants par les agriculteurs. Une voie consiste à développer d'autres indicateurs de nuisibilité de la flore adventice (ex. perte de rendement, problèmes de rendement), l'autre à connecter un module de règles de décision pour prendre en compte des objectifs, contraintes et raisonnement des agriculteurs.

2. Etablir un diagnostic de systèmes de culture existants et contrastés de différentes régions françaises, combinant enquêtes en exploitation agricole et évaluation multicritère avec FLORSYS. L'objectif est d'identifier ici des combinaisons de techniques culturales conciliant réduction d'herbicides, préservation de la production agricole et de la biodiversité.

3. Identifier des stratégies de gestion d'adventices multifonctionnelles conciliant réduction d'herbicides, préservation de la production agricole et de la biodiversité, en améliorant les systèmes existants successivement en fonction des critères d'évaluation.



Figure 1 : Orobanche rameuse (© Stéphanie Gibot-Leclerc, <https://www.flickr.com/photos/109410195@N05/>).



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Des expérimentations en serre ont été conduites pour étudier l'architecture racinaire de cultures et adventices (Cernay, 2013) et les relations trophiques entre le parasite orobanche rameuse et différentes plantes hôtes, colza et adventices. La biomasse des hôtes infestés est réduite de moitié, indiquant une perte de rendement probable d'au moins 50% pour le colza (Girardin, 2014). La capacité de reproduction du parasite sur les différents hôtes adventices est en cours d'étude pour déterminer le risque d'infection additionnel des cultures dû à une flore adventice résiduelle favorisée par une réduction d'usage d'herbicides.

Un module d'interaction entre adventices graminées et le champignon responsable du piétin-échaudage des céréales a été développé à partir de la littérature et connecté à FLORSYS. Les simulations montrent que le risque de maladie augmente uniquement lorsque les adventices graminées sont très mal contrôlées (Mézière et al., 2013). De plus, la plupart des techniques non-chimiques visant à contrôler les graminées (labour, semis retardé, intégration de pois de printemps dans la rotation) contribuent à limiter le pathogène.

Un module de règles de décision a été connecté à FLORSYS via la plateforme de modélisation RECORD. Des corps de règles de décision identifiés dans des systèmes de culture existants ont été simulés, en utilisant différentes séries climatiques. Leurs performances ont été comparées à celles de systèmes fixes, sans ajustements des opérations aux conditions climatiques ni aux flores adventices (Prince, 2013). Les systèmes à base de règles de décision étaient plus performants en termes de rendement en l'absence de flores adventices, mais les systèmes fixes maîtrisaient mieux la flore adventice, indiquant que les règles de décision testées visaient plutôt une maximisation du rendement potentiel et se souciaient moins de la gestion de la flore adventice.

Cinq indicateurs pour évaluer la nuisibilité des adventices pour la production agricole ont été développés à partir d'enquêtes auprès des agriculteurs. Cinq indicateurs de contribution des adventices à la biodiversité ont été développés en collaboration avec des écologues. Une étude de simulation de systèmes de culture identifiés par des enquêtes en exploitations agricoles a montré certes que la nuisibilité des adventices augmente globalement lorsque la contribution à la biodiversité augmente, mais qu'il y a plusieurs types de systèmes conciliant production agricole et biodiversité. De plus, réduire l'indice de fréquence de traitement herbicide ne réduit généralement pas la production et n'augmente globalement pas la biodiversité (Figure 2), puisque les agriculteurs compensent la réduction d'usage d'herbicides par d'autres mesures de gestion d'adventices. Les analyses continuent pour identifier les caractéristiques des systèmes conciliant réduction d'usage d'herbicides, production agricole et biodiversité.

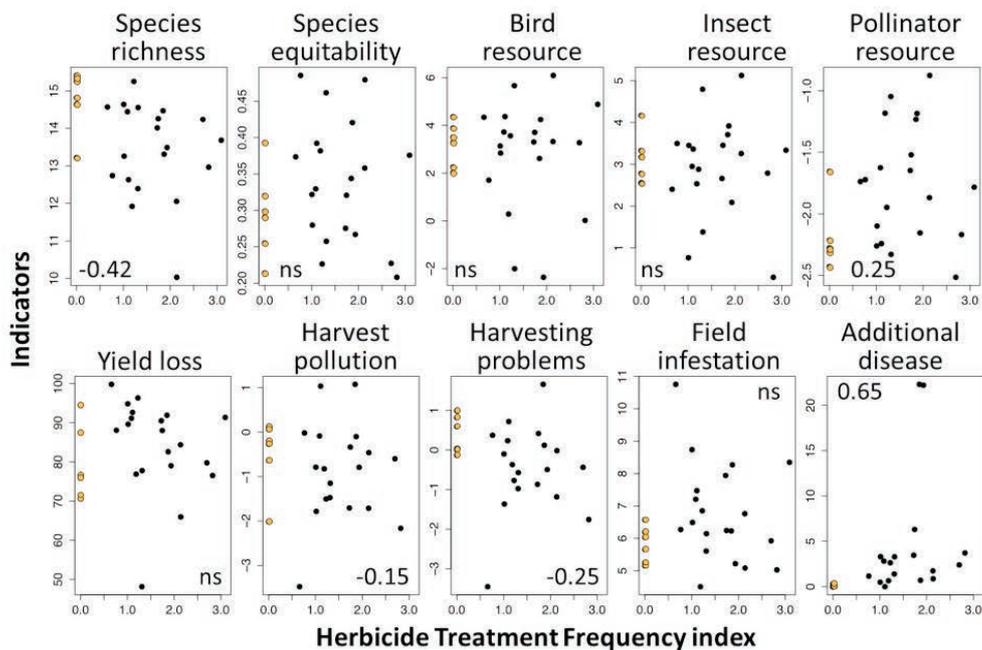


Figure 2 : Variation des indicateurs des bénéfiques et de la nuisibilité de la flore adventice en fonction de la fréquence des traitements herbicides. Valeurs pour 26 systèmes de culture (en jaune, en agriculture biologique) identifiés lors des enquêtes en exploitations agricoles (Bourgogne et Poitou-Charentes), simulées avec FlorSys (sur 32 ans, répétées pour 10 séries météorologiques différentes) (© Delphine Mézière, 2014).



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Des arbres de «conseil» seront construits, identifiant des combinaisons de techniques culturales permettant d'atteindre différentes combinaisons d'objectifs en termes d'impact de la flore adventice et du niveau d'usage d'herbicides.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

L'étude des interactions entre le parasite orobanche rameuse, les cultures et adventices, se poursuit avec de nouvelles expérimentations, afin de développer un module de dynamique du parasite. Des suivis de terrain sont en cours pour développer d'autres indicateurs d'impact de la flore adventice. Des études de simulations sont prévues pour faire évoluer les systèmes de culture déjà diagnostiqués vers un meilleur compromis entre réduction d'herbicides, production agricole et biodiversité.



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Mézière D., Lucas P., Granger S., Colbach N. (2013) Does integrated weed management increase the risk of soil-borne crop diseases? Simulation case study with a grass weed and a soil-borne cereal disease. *European Journal of Agronomy*, 47: 33-43.
- Colbach N., Biju-Duval L., Gardarin A., Granger S., Guyot S. H. M., Mézière D., Munier-Jolain N. M., Petit S. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research* (in press).

COLLOQUES

- Colbach N. (2014) The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. Workshop on Weed control with less reliance herbicides. Designing resilient cropping systems, ESA, Angers, 26-28 May 2014 .
- Colbach N., Vacher C. (2014) Travail du sol et gestion du désherbage. Colloque organisé par AVRALIS et l'INRA: Faut-il travailler le sol? Acquis et innovations pour une agriculture durable, 3 avril 2014, Paris.

- Colbach N., Biju-Duval L., Doisy D., Granger S., Guyot S.H.M., Mézière S., Mézière D. Munier-Jolain N.M., Petit S. (2013) The role of models in management and conservation of weeds. Proc. 16th International EWRS Symposium, 24-28 June 2013, Samsun, Turkey.
- Mézière D., Cordeau S., Granger S., Colbach N. (2014) How does reduced herbicide use affect biodiversity and crop production? In: Proceedings of 13th Congress of the European Society for Agronomy. Debrecen, Hungary, 25-29 August 2014.
- Colbach N., Granger S., Guyot S.H.M., Mézière D. (2013) Changing agricultural practices modifies the species and trait composition of the weed flora. A simulation study using a cropping system model. Proc. 16th International EWRS Symposium, 24-28 June 2013, Samsun, Turkey.
- Mézière D., Petit S., Granger S., Biju-Duval L., Colbach N. (2013) Proposing a set of simulation-based indicators to assess harmfulness and biodiversity resulting from weeds in agroecosystems. Proc. 16th International EWRS Symposium, 24-28 June 2013, Samsun, Turkey.
- Colbach N., Biju-Duval L., Gardarin A., Granger S., Guyot S. H. M., Mézière D., Munier-Jolain N. M., Petit S. (2013) Le rôle des modèles pour l'évaluation multicritère et la conception multiobjectif de systèmes de culture pour la gestion des adventices. In: AFPP – 22^e Conférence du COLUMA, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, France, 738-748.
- Colbach N., Moreau D., Gibot-Leclerc S. (2013) PHERASYS – un projet de modélisation de la dynamique de l'orobanche dans les systèmes de culture. Colloque «L'orobanche rameuse en France», CETIOM, Paris, France, 25 juin 2013.

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Girardin Annette (2014) Étude des relations trophiques entre plantes hôte et parasite: cas de l'orobanche rameuse. Rapport de fin d'étude d'école d'ingénieurs LaSalle, Beauvais.
- Prince Alexandre (2013) Conception et utilisation d'un module de règles de décision pour la gestion durable d'une flore adventice plurispécifique. Intégration au modèle prédictif FLORSYS. Rapport de stage, 4^{ème} année d'école ingénieur, ESA, Angers, France.
- Cernay Charles. 2013. Caractérisation expérimentale de la variabilité phénotypique du système racinaire nodulé de génotypes contrastés de pois (*Pisum sativum* L.). Mémoire M2 AgroParis-Tech « de l'Agronomie à l'Agroécologie » & fin d'études d'Ingénieur en agriculture de l'ESA, 22 p.
- Verzat Valentine. 2014. Modélisation de la répartition des assimilats au sein du système racinaire chez le pois de printemps (*Pisum sativum*) . Mémoire M2 AgroParis-Tech « de l'Agronomie à l'Agroécologie » 21 p.

ARTICLE DE VALORISATION / VULGARISATION

- Gibot-Leclerc S., Dessaint F., Le Corre V., Reibel C., Colbach N. (2013) L'orobanche rameuse, une plante parasite dont la variabilité s'avère complexe. Information sur son adaptation à de nouveaux hôtes, découverte du phénomène de facilitation, et travail de modélisation. *Phytoma* 669, 44-47.

AUTRES

- Pour une meilleure cohabitation des espèces cultivées et des mauvaises herbes (<http://www.ea.inra.fr/Toutes-les-actualites/Pour-une-meilleure-cohabitation-des-especes-cultivees-et-des-mauvaises-herbes>).
- Modules pour FLORSYS :
 - interaction entre adventices graminées et une maladie des céréales (piétin-échaudage)
 - dispersion de semences entre champs
 - calcul d'indicateurs des bénéfiques et nuisibilités de la flore adventice

RESPONSABLES SCIENTIFIQUESNicolas RIS
*Nicolas.Ris@sophia.inra.fr*Alexandre BOUT
*Alexandre.Bout@sophia.inra.fr*INRA PACA-CNRS-UNIVERSITÉ DE NICE
SOPHIA ANTIPOLIS
UMR Institut Sophia-Agrobiotech**PARTENAIRE**GROUPEMENT DE RECHERCHE EN
AGRICULTURE BIOLOGIQUE (GRAB)**ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ET
POTENTIELS EFFETS NON-INTENTIONNELS LIÉS À UNE
PLANTE MÉDITERRANÉENNE, L'INULE VISQUEUSE –
IMPLICATION EN PROTECTION INTÉGRÉE SOUS SERRES
ET EN OLÉICULTURE**

2013 - 2015

**MOTS-CLÉS**

Biodiversité, cultures sous serres, lutte biologique, oléiculture, services écosystémiques

**EN QUELQUES MOTS**

Le projet INULA vise à évaluer voire optimiser le rôle d'une plante méditerranéenne commune, l'inule visqueuse *Dittrichia viscosa* (Figure 1), pour la protection de cultures sous serres et des oliveraies. Pour cela, les biodiversités « utile » et « nuisible » de parcelles présentant des abondances d'inules variables seront comparées. Afin de prendre en compte d'éventuelles espèces morphologiquement très proches, la caractérisation des organismes s'appuiera sur des techniques de « barcoding », couplant l'usage de caractères morphologiques et moléculaires. Parallèlement, les éventuels effets non-intentionnels liés à la densification de cette plante seront évalués.



Figure 1 :
Inule visqueuse *Dittrichia viscosa* (© Edy Spagnol).

**CONTEXTE ET OBJECTIF**

Afin de répondre aux nouveaux enjeux sociétaux en termes de réduction des usages de pesticides, de nouvelles innovations sont nécessaires dans le domaine de la phytoprotection. Ces solutions alternatives induisent généralement de fait une complexification de la composante biotique des agrosystèmes et/ou de leurs alentours (utilisation de plantes de services). Dans ce contexte, le programme vise à évaluer voire optimiser les services écosystémiques rendus par l'inule visqueuse, *Dittrichia viscosa* (L.), pour la protection contre des insectes ravageurs de deux agrosystèmes *a priori* indépendants, les cultures sous serres et l'oléiculture. Cette plante méditerranéenne commune (milieux naturels, agrosystèmes, autres milieux anthropisés) est en effet suspectée de jouer un rôle important en tant que plante-relai ou source de nourriture pour différents auxiliaires. Parallèlement, ce programme veille à identifier les potentiels effets non-intentionnels liés à l'utilisation de cette plante en termes de nuisances, de limites et d'acceptabilité. Aussi bien d'un point de vue écologique qu'agronomique, le « maillage » du paysage méditerranéen assuré par l'inule visqueuse aboutit à une situation tout à fait originale dans laquelle les biodiversités « utiles » et « nuisibles » de deux cultures *a priori* très différentes sont au final probablement inter-dépendantes, conditionnées par les pratiques culturales et impactées par des pratiques de gestion sur des compartiments anthropisés non-agricoles.

**MÉTHODES**

Le projet INULA s'articule autour de 3 volets complémentaires :

Volet « Botanique »

Quatre actions sont programmées dans le cadre de ce volet :

- Un travail de synthèse bibliographique sur la biologie de l'inule visqueuse, *D. viscosa*.

- La mise en place d'un suivi phénologique de l'inule dans 3 habitats contrastés.
- Une étude expérimentale portant sur le rôle de la taille de *D. viscosa*, sur sa phénologie et l'entomofaune qu'elle abrite.
- Un travail de caractérisation moléculaire de l'inule.

Volet « Oléiculture »

Trois actions séquentielles sont programmées :

- Un travail de sélection de sites favorables présentant des pratiques culturales et des abondances d'inules contrastées.
- Des échantillonnages, sur galles de *Myopites stylata* sur *D. viscosa* et sur olives ;
- L'identification des espèces d'*Eupelmus* présentes sur des bases morphologiques et/ou moléculaires.

Parallèlement, une 4ème action vise à comprendre le rôle au champ d'une espèce d'*Eupelmus* (*E. confusus*).

Volet « Cultures sous serres »

Les trois premières actions sont identiques à celles du volet « Oléiculture » :

- Prospection de sites.
- Echantillonnage.
- Identification des différents taxons sur des critères morphologiques et moléculaires.

Parallèlement, une expérimentation visant à comprendre la dispersion des bioagresseurs et des auxiliaires au sein de l'agrosystème est envisagée.



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

D'une façon générale, les campagnes de sélection de sites (oliveraies et serres) ont fait apparaître des densités d'inules en moyenne faibles, avec peu de sites « remarquables » en termes de densités et potentiellement donc d'intensité des services écosystémiques. Cette situation a conduit à renforcer l'investissement sur la prospection de sites et à élargir la zone d'étude (inclusion de la Ligurie, en particulier).

Le travail d'échantillonnage et de caractérisation morphologique et/ou moléculaire s'est déroulé sans difficultés inattendues majeures. L'analyse des résultats est encore en cours mais les premières informations incitent à questionner le rôle effectif des deux genres d'auxiliaires principaux (Hyménoptères parasitoïdes du genre *Eupelmus* en oliveraies, Figure 2 ; Hémiptères prédateurs du genre *Macrolophus* en cultures sous serres, Figure 3), du fait de l'existence d'espèces morphologiquement très proches mais présentant des écologies différentes.

Compte-tenu des acquis, plusieurs livrables associés à INULA ont été produits, couvrant l'éventail du public visé : recherche, filières agricoles mais également grand public. Le projet INULA s'est révélé être un « support » de communication particulièrement intéressant pour nourrir des discussions sur des thèmes d'actualité tels que la biodiversité, la lutte biologique, les services écosystémiques, l'entomologie appliquée, etc.

Les tentatives pour trouver des co-financements complémentaires à INULA ont malheureusement échoué ce qui est regrettable pour (i) le suivi long terme des sites et (ii) l'analyse des résultats sous l'angle « Ecologie du paysage ».



Figure 2 : Hyménoptère parasitoïde du genre *Eupelmus* (© Edy Spagnol).



Figure 3 : Hémiptère prédateur du genre *Macrolophus* (© Ortigaamica).



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Les méthodes alternatives évaluées dans le cadre d'INULA relèvent principalement de la lutte biologique par conservation. L'essentiel du transfert est attendu au profit des conseillers agricoles ou des producteurs. A noter toutefois que les connaissances acquises dans le cadre d'INULA sur les auxiliaires principaux (*Macrolophus* voire *Eupelmus*) peuvent également intéresser les sociétés productrices d'auxiliaires pour optimiser l'efficacité de leurs produits.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

En l'état, l'analyse des premiers résultats incite à « modérer » les espoirs placés sur les deux genres d'auxiliaires principaux (*Eupelmus* en oliveraies et *Macrolophus* en protection des cultures), du fait de l'existence d'espèces morphologiquement très proches mais présentant des écologies différentes. La recherche et l'exploitation des déterminants de ces variations interspécifiques paraîtraient prioritaires.



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Al Khatib F., Fusu L., Cruaud A., Gibson G., Borowiec N., Ris N., Rasplus J.Y., Delvare G. (2014) An integrative approach for species discrimination in the *Eupelmus urozonus* complex (Hymenoptera: Eupelmidae), with the descriptions of eleven new species from the West Palearctic. *Systematic Entomology* (in press).
- Parolin P., Bresch C., Ottenwalder L., Ion-Scotta M., Brun R., Fatnassi H., Poncet C. (2013) False yellowhead (*Dittrichia viscosa*) causes over infestation with the whitefly pest (*Trialeurodes vaporariorum*) in tomato crops. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 1: 201-2017.
- Parolin P., Ion Scotta M., Bresch C. (2013) Notes on the phenology of *Dittrichia viscosa*. *Journal of Mediterranean Ecology*, 12: 27-35.
- Parolin P., Ion Scotta M., Bresch C. (2014) Biology of *Dittrichia viscosa*, a Mediterranean ruderal plant. *Phyton – International Journal of Experimental Botany* (in press).

COLLOQUE

- Ris N. (2013) Biodiversités « utile » et « nuisible » - l'exemple de la lutte biologique. Colloque « L'Entomologie en France : son utilité publique », novembre 2013, Société Entomologique de France (MNHN, Paris).

THÈSE

- Al Khatib F. (2011-2015) « Apports des marqueurs moléculaires à la systématique, biogéographie et écologie des espèces euro-méditerranéennes du genre *Eupelmus*-implications pour leur utilisation en lutte biologique ». Co-encadré par N. Ris (INRA, UMR ISA) et G. Delvare (CIRAD, UMR CBGP), ED SIBAGHE, Montpellier.

ARTICLE DE VULGARISATION / VALORISATION

- Ris N., Ion Scotta M., Al Khatib F., Lambion J., Warlop F., Bout A. Biodiversités « utile » et « nuisible » dans les agrosystèmes : importance pour la lutte biologique par conservation. *Bulletin de la Société Entomologique de France* (in press).

PRÉSENTATIONS À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Journée Restitution «Mouche de l'olive» - INRA - Sophia Antipolis - 10 Janvier 2013.
- Workshop franco-italien INULA - INRA - Sophia Antipolis - 10 Avril 2013.
- Réunion de travail dédiée à la lutte biologique contre la Mouche de l'olive. – INRA. - Sophia Antipolis - 6 janvier 2014

AUTRES

- Site Web : <https://www6.paca.inra.fr/inula>
- Communications "grand public" : Printemps des chercheurs - Place Garibaldi - Nice - 31 Mai et 01 Juin 2013. Fête de la science – Lycée Horticole d'Antibes et Campus SophiaTech – Vendredi 11, Samedi 12 et Dimanche 13 octobre 2013.



SESSION 2

FREINS ET LEVIERS SOCIO-ÉCONOMIQUES À L'ADOPTION DE PRATIQUES ÉCONOMES EN PESTICIDES



VINPEST - Une évaluation expérimentale des consentements à la réduction de l'utilisation des pesticides dans le vin (APR 2009)
Angela SUTAN, ESC Dijon



AVERSIONRISK - Rôle de l'aversion au risque des agriculteurs dans l'utilisation de pesticides et implications pour la régulation (APR 2009)
Douadia BOUGHERARA, INRA - Montpellier SupAgro - CNRS - Université de Montpellier I



PRUNUS - Réalités et perspectives de l'écologisation en arboriculture fruitière, à partir du cas des vergers d'abricotiers et pêchers (APR 2011)
Claire LAMINE, INRA Avignon



PSYCHOPEST - Représentations sociales des pesticides et changements de pratiques chez les agriculteurs français (APR 2011)
Karine WEISS, Université de Nîmes

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES

Angela **SUTAN**
angela.sutan@escdijon.eu
 ESC, DIJON
 Laboratoire d'Expérimentation en Sciences
 Sociales et Analyse des Comportements
 (LESSAC)

Sylvie **ISSANCHOU**
Sylvie.Issanchou@dijon.inra.fr
 INRA-CNRS-UNIV. BOURGOGNE, DIJON
 Centre des Sciences du Goût
 et de l'Alimentation (CSGA)

PARTENAIRES

INRA - IVRY
 Alimentation et Sciences Sociales (ALISS)

UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ
 Centre de recherche sur les stratégies économiques
 (CRESE)

BUREAU INTERPROFESSIONNEL DES VINS DE BOURGOGNE
 (BIVB)

UNE ÉVALUATION EXPÉRIMENTALE DES CONSENTEMENTS À LA RÉDUCTION DE L'UTILISATION DES PESTICIDES DANS

LE VIN

2009-2014



MOTS-CLÉS

Consentements, économie expérimentale, vin, pesticides.



EN QUELQUES MOTS

Le projet VINPEST repose sur l'hypothèse que la performance d'une exploitation viticole peut être envisagée sous d'autres angles que celui du rendement de la vigne, mais cela passe par des incitations ciblées pour les producteurs et les consommateurs de vin : en particulier, une vigne performante est aussi une vigne qui a une performance environnementale. Se pose alors la question de la manière dont ces incitations fonctionnent, par qui et comment devraient-elles être mises en œuvre?



CONTEXTE ET OBJECTIF

Première question : comment inciter les producteurs à s'impliquer durablement dans la réduction de l'utilisation des pesticides ? Puisque l'utilisation des pesticides équivaut à une assurance de coût faible et qui garantit un rendement certain, plus on monte dans la gamme des appellations, moins le producteur a intérêt à réduire son utilisation de pesticides. Ainsi, le producteur devra avoir la certitude que les consommateurs ou les pouvoirs publics fourniraient une assurance alternative : soit les consommateurs acceptent de payer une prime pour les vins sans pesticides, soit les pouvoirs publics concèdent des aides importantes à la mise en place de productions respectueuses de l'environnement. Quelles sont les informations qui ont un effet sur le comportement du producteur, qui l'incitent à le modifier dans le sens de la réduction de l'utilisation des pesticides, et à croire que cela sera suivi d'une valorisation par les consommateurs ou d'un appui par les pouvoirs publics ?

Seconde question : comment inciter les consommateurs à prendre en compte la réduction des pesticides dans la production du vin ? Comment valorisent-ils l'engagement environnemental d'un producteur ? Il s'agira de valider les caractéristiques souhaitées par les consommateurs par des méthodes implicatives et de révéler les cycles de consentement des consommateurs autour des vins sans pesticides, sur la base de leur perception de l'utilisation des pesticides dans la production du vin.



MÉTHODES

L'économie expérimentale : L'économie expérimentale se définit comme l'utilisation de l'expérimentation comme méthode d'investigation des décisions en économie. Cette discipline consiste donc à créer, dans un cadre contrôlé par le chercheur (un contrôle rendu possible par l'expérimentation), des situations économiques réelles impliquant des participants, de façon à pouvoir observer leurs comportements économiques. Les décisions des participants et leurs réactions face à une variation des paramètres environnementaux constituent un ensemble de données qui font ensuite l'objet d'analyses et de tests statistiques.

Consentement à payer (CAP) : Le CAP se mesure à travers des expériences pour évaluer le consentement à payer des individus pour des produits porteurs d'attributs de croyances, dans le cadre d'expériences de laboratoire, dont le protocole est basé sur des enquêtes d'opinion, et

des expériences de terrain, selon la méthode classique de révélation des consentements à payer des consommateurs avant/après dégustation et information sur les produits. L'information communiquée aux consommateurs peut être décomposée en plusieurs sous-informations permettant ainsi d'évaluer leurs propres valeurs et leurs importances dans la valeur globale du produit.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Résultat 1 : Des engagements avancés sont déclarés par les producteurs.

Résultat 2 : Lorsqu'on demande aux producteurs s'ils sont prêts à réduire la consommation de produits phytosanitaires dans les mois à venir, ils s'avèrent être 7% à ne pas souhaiter le faire.

Résultat 3 : En termes d'efficacité contre les risques épidémiques, 41% des producteurs estiment que la solution la plus efficace reste l'utilisation des produits phytosanitaires.

Résultat 4 : Quand on ne communique pas sur les efforts environnementaux du passé, ceux-ci ne peuvent pas constituer des points d'ancrage.

Résultat 5 : En réalité, les producteurs choisissent le bien public à effet réel beaucoup plus souvent (70%) que les autres parties prenantes ne se l'imaginent.

Résultat 6 : Placés face aux enjeux du développement durable, soumis à la pression d'une nécessaire orientation vers une production durable, à laquelle ils ne peuvent plus répondre par de l'agriculture intensive, les producteurs se doivent d'innover. Il existe deux dimensions devant être prises en considération quant à l'impact d'une innovation environnementale sur un producteur : le profit économique et le statut (le rang) dans la communauté que celui-ci confère au producteur. Si la pratique écoresponsable touche différemment le statut et le profit, son adoption peut être problématique, et n'est sûre que dans le cas d'un double impact positif.

Résultat 7 : La mise en place d'un magasin expérimental et d'un magasin virtuel montre en premier lieu qu'à prix égal les démarches environnementales et en particulier la biodynamie suscitent l'intérêt des consommateurs. En effet, les parts de marché des vins en agriculture biologique (AB) et en biodynamie sont nettement plus élevées que sur le marché en réalité. Cette différence peut-être due à un désir de connaître ce type de vins. Quoi qu'il en soit la mauvaise connaissance des démarches environnementales n'aide pas les consommateurs à positionner leur choix par rapport à la caractéristique environnementale noyée au milieu des autres caractéristiques. Cependant, lorsque le signal est limité (information non brouillée) et que l'offre est suffisamment claire avec une présence forte des vins issus d'un type de production moins consommateur de pesticides, les consommateurs semblent prêts à acheter des vins respectueux de l'environnement.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Leçon 1 : Avant d'essayer de modifier le comportement des producteurs, il faut identifier les marqueurs de statut.

Leçon 2 : Plutôt que de simplement vérifier si les modifications proposées sont économiquement rentables et respectueuses de l'environnement, il est crucial de comprendre comment les modifications proposées interagissent avec des dimensions de statut pertinentes.

Leçon 3 : Accroître la visibilité des innovations socialement souhaitables augmente leur capacité à accroître le statut.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Tout d'abord, est-il possible de concilier une démarche d'innovation en termes de développement durable avec les règles du marché ? Ensuite, qu'en est-il du statut ? Peut-on concilier innovation singulière et conservation du statut ? Si les producteurs adoptent des innovations aussi pour préserver un statut ou pour l'améliorer, et rejettent celles qui ne leur confèrent plus ce statut, il est possible que ces producteurs préfèrent rester dans l'océan rouge, en face de leurs concurrents.



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Bonescu M., Bratu D., Ginon E., Sutan A. (2013) Apports de l'expérimentation dans l'étude de la réception en SIC : le cas des étiquettes de vin. *Journal of Communication Studies*, 6, 1(11).
- Ginon E., Ares G., Issanchou S., dos Santos Laboissière L. H. E., Deliza R. Identifying motives underlying wine purchase decisions: Results from an exploratory free listing task with Burgundy wine consumers. *Food Research International* (in press).

- Ginon E., Ares G., dos Santos Laboissière L. H. E., Brouard J., Issanchou S., Deliza R. Logos indicating environmental sustainability in wine production: An exploratory study on how do Burgundy wine consumers perceive them. Food Research International (in press).

COLLOQUES

- Sutan A., Grolleau G., Vranceanu R. Intergenerational public good games. LEW, London et AM Workshop
- Sutan A., Grolleau G. (2013) Using behavioural economics insights to foster the consumption of sustainable products. 134th EEA Seminar on Labels on sustainability: an issue for consumers, producers, markets and NGOs, Paris, March 2013.
- Ares G., Ginon E., Issanchou S., Sutan A., Deliza R. (2011) Influence of age on French consumers' environmentally sustainable behaviour. Consumer 11 - Consumer behaviour for a sustainable future, Bonn, Germany, 18-20 July 2011.
- Ginon E., Ares G., Issanchou S., Sutan A., Deliza R. (2011) How do French consumers perceive organic labels in wine? 1st International Conference on Organic Food Quality and Health Research (FQH 2011), Prague, Czech Republic, 18-20 May 2011.
- Ginon E., Bazoche P., dos Santos Laboissière L. H. E., Brouard J., Issanchou S. (2013) Evaluating consumers' sustainable choice of wine: A store experiment. 10th Pangborn Symposium. Rio de Janeiro, Brazil, 11-15 August 2013.
- Ginon E., dos Santos Laboissière L. H. E., Ares G., Issanchou S., Deliza R. (2013) Logos on environmental sustainability in wine production: How do Burgundy consumers perceive them? 134th EAAE Seminar, Paris, France, 21-22 March 2013.
- Oenometrix, Lyon, juin 2014.
- Ginon E., Bazoche P., dos Santos Laboissière L. H. E., Brouard J., Issanchou S. (2013) Evaluating consumers' willingness to buy environmentally friendly wines: A store experiment. Eurosense 'A Sense of Life', 2014, Copenhagen, Denmark.

THÈSE

- Court M. (2013) Comment les viticulteurs envisagent l'avenir de la biodynamie? Thèse professionnelle, ESC Dijon.

ARTICLE DE VALORISATION / VULGARISATION

- Asselineau A., Galia F., Grolleau G., Sutan A. (2013) L'avenir de l'agriculture se joue dans un océan bleu. La Tribune, Mars 2013.

AUTRE

- Installation «Le vin de demain – le vin de deux mains» (Figure 1). Une installation interactive sous forme de jeu de découverte des modes de production du vin. Ceci correspond à l'investissement des producteurs dans le bien public.

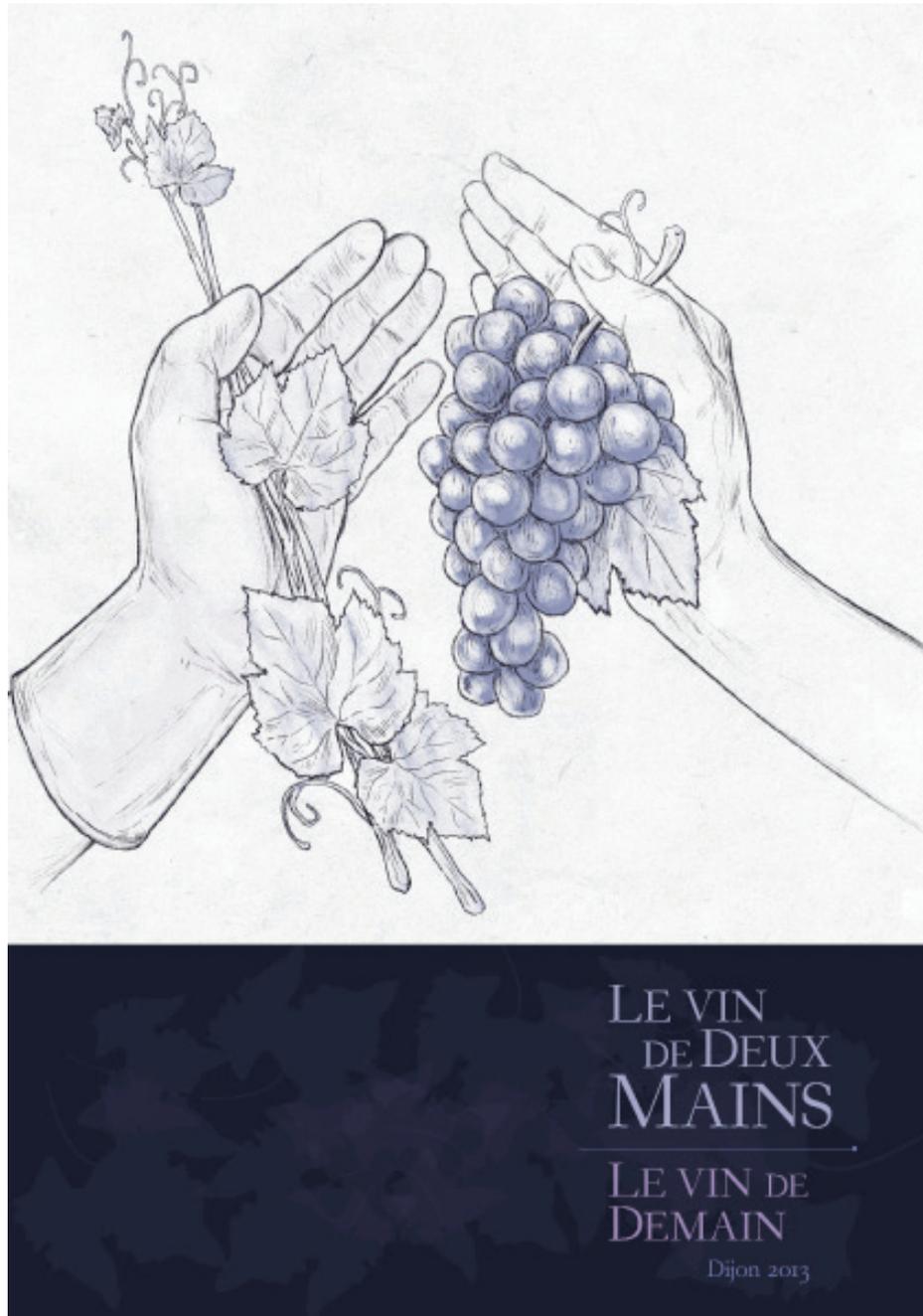


Figure 1 : Installation «Le vin de demain – le vin de deux mains», réalisée dans le cadre du projet Vinpest.

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES

Douadia **BOUGHERARA**
douadia.bougherara@supagro.inra.fr
INRA - MONTPELLIER SUPAGRO - CNRS -
UNIVERSITÉ MONTPELLIER I
UMR Laboratoire Montpellierain d'Économie
Théorique et Appliquée (LAMETA)

PARTENAIRES

INRA-AGROCAMPUS RENNES
UMR Structures et Marchés Agricoles,
Ressources et Territoires (SMART)

INRA, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE I
UMR Économie des Ressources Naturelles
(LERNA)

CNRS-UNIVERSITÉ DE RENNES 1
UMR Centre de recherche en économie et
management (CREM)

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE COMMERCE DE BREST

RÔLE DE L'AVERSION AU RISQUE DES AGRICULTEURS DANS L'UTILISATION DE PESTICIDES ET IMPLICATIONS POUR LA REGULATION

2010-2014



MOTS-CLÉS

Effet « assurance » des pesticides, aversion au risque, aversion à l'ambiguïté, choix de production, gestion du risque, assurance, économie expérimentale



EN QUELQUES MOTS

L'objectif du projet AVERSIONRISK est de mesurer les préférences des agriculteurs vis-à-vis du risque puis de déterminer leur impact sur les choix d'intrants et l'adoption d'une assurance. D'abord, un effet « assurance » des pesticides est mis en évidence. Il est donc intéressant de mesurer les préférences pour le risque et pour l'incertitude. Deux méthodes sont utilisées (préférences révélées et expériences économiques). Une fois ces préférences mesurées, elles sont intégrées dans un modèle de simulation de l'adoption d'assurance. Enfin, le lien entre préférences pour le risque, usage de pesticides et assurance est étudié à l'aide d'une expérience économique en laboratoire.



CONTEXTE ET OBJECTIF

L'utilisation « excessive » de pesticides par les agriculteurs peut trouver sa justification dans un comportement de production rationnel notamment de gestion des risques. Les pesticides sont des intrants qui sont considérés comme agissant à la fois sur les rendements moyens et sur la variabilité des rendements. Ceci distingue les pesticides d'autres intrants et justifie de s'intéresser aux préférences des agriculteurs pour le risque. D'ailleurs, la question de la gestion du risque est plus générale, les décisions des agriculteurs ayant toujours été marquées par le risque et l'incertitude ; le problème devient plus crucial du fait de la mondialisation et des préoccupations environnementales.

L'objectif global de ce projet est de mesurer les préférences des agriculteurs pour le risque et pour l'incertitude et de mettre en évidence l'impact de ces préférences sur l'utilisation de pesticides et l'adoption d'assurance. Il s'agit également de dégager les enseignements à en tirer pour le design de politiques de réduction de l'usage de pesticides.

Les travaux sont organisés en trois volets : (1) tester le rôle des pesticides dans la fonction de production, notamment leur impact sur la variance des rendements (l'effet « assurance ») ; (2) mesurer les préférences des agriculteurs vis-à-vis du risque ; (3) examiner l'impact de ces préférences sur le comportement des agriculteurs.



MÉTHODES

Les méthodes utilisées tirent leur originalité de l'échantillon étudié, du niveau de contrôle de l'environnement économique ou du type de modélisation économique.

La micro-économétrie sur données de production

Deux bases de données (Réseau d'information comptable agricole - RICA, données Centre d'économie rurale « Meuse ») et deux méthodes d'estimation sont mobilisées : (1) l'impact des pesticides sur la moyenne et la variance des rendements est estimé à travers des fonctions de production ; (2) les préférences vis-à-vis du risque des producteurs sont estimées par une approche structurelle.

Les expériences de terrain (field experiments)

Ici, les paramètres de l'environnement économique sont mieux contrôlés qu'en situation réelle. Les agriculteurs font des choix entre des loteries plus ou moins risquées (les probabilités sont connues, Encadré 1) ou ambiguës (les probabilités sont inconnues, Encadré 2) et sont rémunérés en fonction de leurs choix. Deux enquêtes relativement lourdes ont été réalisées (Loiret, 30 agriculteurs ; Champagne, 198 agriculteurs) en collaboration avec Arvalis Institut du Végétal et deux coopératives. L'infrastructure de l'Université de Rennes 1 (LABEX) a été mobilisée.

Encadré 1 : Qu'est-ce que l'aversion au risque ?

Testez-vous! Est-ce que j'aime le risque?
Que préférez-vous, A ou B?
A- Recevoir 500€
B- Jouer à pile ou face: vous gagnez 0€ si PILE et 1 000€ si FACE
Vous avez du goût pour le risque si vous choisissez l'option B. En moyenne, l'espérance de gain de l'option B est de 500€, soit le même gain que l'option A. L'option B est plus risquée. Vos choix révèlent vos préférences pour le risque.

Encadré 2 : Qu'est-ce que l'aversion à l'ambiguïté ?

Testez-vous! Est-ce que j'aime l'ambiguïté?
Les urnes A, B, C et D sont identiques. Elles contiennent toutes 90 boules:
30 boules ● et 60 boules ● et ● dans des proportions inconnues

1) Dans quelle urne préférez-vous tirer une boule, A ou B?
Urne A- Vous gagnez 10€ si ● est tirée
Urne B- Vous gagnez 10€ si ● est tirée

2) Dans quelle urne préférez-vous tirer une boule, C ou D?
Urne C- Vous gagnez 10€ si ● ou ● est tirée
Urne D- Vous gagnez 10€ si ● ou ● est tirée



Vous n'aimez pas les situations ambiguës si vous choisissez l'urne A puis l'urne D. Choisir A implique que vous percevez la probabilité de tirer ● comme supérieure à la probabilité de tirer ●. Mais, choisir D implique que vous percevez la probabilité de tirer ● comme inférieure à la probabilité de tirer ●. Cette incohérence s'explique par une aversion pour les situations ambiguës (l'ambiguïté vient ici du fait qu'on ne connaît pas les proportions exactes de ● et de ●). Vos choix révèlent vos préférences pour l'ambiguïté.

Les expériences économiques en laboratoire

Ici, les paramètres de l'environnement économique sont totalement contrôlés. Le lien entre préférences pour le risque, usage de pesticides et adoption d'assurance est examiné. Les sujets, des étudiants, sont mis en conditions de production agricole grâce à la définition d'une fonction de production impliquant plus ou moins de risque. Les décisions sont rémunérées. L'infrastructure de l'Université de Montpellier 1 (LEEM) a été mobilisée.

La simulation de politiques sur données de production

La simulation permet de déterminer l'impact des caractéristiques de la demande sur la contractualisation d'une assurance récolte. La base « Meuse » est ici utilisée : 186 producteurs de colza sur 12 ans (1992-2003). Il s'agit de simuler une assurance récolte basée sur le rendement individuel.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Quatre résultats principaux sont présentés. Il reste à terminer l'exploitation de l'expérience en laboratoire qui a été réalisée à la toute fin du projet et qui est en cours de traitement.

Les pesticides : un effet « assurance »

Il s'agit ici de déterminer l'impact de l'intrant pesticide sur la moyenne et la variance des rendements en estimant une fonction de production. Deux types de bases de données sont considérés. Sur données RICA, différents modèles sont testés. Les pesticides diminuent significativement le risque de rendement dans cinq cas sur huit, ils sont non significatifs dans deux cas et agissent comme un facteur d'augmentation du risque dans un cas sur huit. Sur données « Meuse », les pesticides réduisent de façon significative le risque de production, et ce avec un caractère plus marqué pour une culture plus intensive en pesticides tel le colza.

L'estimation structurelle des préférences des agriculteurs pour le risque

L'objectif est d'estimer les préférences vis-à-vis du risque des producteurs de céréales en France. L'approche structurelle permet de prendre en considération simultanément la technologie de production, les décisions des exploitants en matière de choix d'intrants et leurs préférences vis-à-vis du risque. L'application porte sur les données du RICA. Les céréaliers français, sur la période 2002-2007, présentent une aversion pour le risque significative mais relativement modérée. Ils n'apparaissent pas comme averses

au risque de perte (« downside risk ») et semblent plutôt caractérisés par des préférences de type DARA (l'aversion absolue au risque décroît avec le niveau de richesse).

L'estimation structurelle des préférences par field experiment

L'objectif était d'estimer à partir de choix de loteries et d'un modèle structurel les préférences des agriculteurs. Les résultats indiquent que les agriculteurs sont averses au risque (plus en Champagne que dans le Loiret). Ils ont tendance à surestimer les faibles probabilités dans le risque et à sous-estimer les fortes (en Champagne seulement). Les agriculteurs sont averses à la perte : ils perçoivent plus fortement le désagrément d'une perte que l'agrément d'un gain de même ampleur. Enfin, les agriculteurs sont averses à l'ambiguïté. Ce travail a donné lieu à de nombreux traitements additionnels notamment sur l'analyse de l'hétérogénéité des préférences.

La sous-contractualisation en assurance agricole : le rôle des caractéristiques de la demande

La littérature s'est beaucoup intéressée aux raisons de la sous-contractualisation de l'assurance agricole sans considérer la demande. Le consentement à payer de l'agriculteur pour s'assurer est calculé sous deux hypothèses selon que l'assureur anticipe bien ou mal les préférences des agriculteurs pour le risque. Les résultats indiquent que le consentement à payer sous l'hypothèse d'une mauvaise anticipation est statistiquement inférieur au consentement à payer sous l'hypothèse d'une bonne anticipation.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Le projet a donné lieu à un transfert vers les professionnels. L'expérience de terrain a été réalisée en étroite collaboration avec Arvalis Institut du Végétal. De plus, il est envisagé une ou deux publications dans une revue professionnelle. Enfin, deux outils développés dans le cadre de ce projet de recherche peuvent être utilisés par les concepteurs de politiques publiques (le modèle de simulation de l'adoption d'assurance, l'expérience en laboratoire).



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Il s'agit d'abord de terminer l'analyse des travaux engagés dans le projet (expérience en laboratoire). Ensuite, des extensions sont envisageables. Le modèle de simulation de l'adoption d'assurance ne prend pas en compte l'impact de l'assurance sur le comportement de production. Le modèle serait donc enrichi s'il intégrait une partie « production ». L'expérience de laboratoire est très prometteuse. Elle permettra à terme l'évaluation et le design de politiques publiques isolées ou combinées.



VALORISATION

PUBLICATION SCIENTIFIQUE

- Bougherara D., Gassmann X., Piet L. (2011) A structural estimation of French farmers' risk preferences: an artefactual field experiment, Working Paper SMART-LERECO, 21 pp

COLLOQUES

- Gassmann X. (2011) Eliciting farmers' risk preferences, Séminaire des doctorants, INRA UMR1302 SMART, Rennes.
- Bougherara D., Gassmann X., Piet L. (2011) Eliciting risk preferences: A field experiment on a sample of French farmers. Congress of the European Association of Agricultural Economics, "Change and Uncertainty Challenges for Agriculture, Food and Natural Resources", Aug. 30-Sept. 2, Zürich, Switzerland.
- Bougherara D., Gassmann X., Piet L. (2011) Eliciting risk preferences : A field experiment on a sample of French farmers. September 30, INRA Workshop on Experimental Economics and Public Policy.
- Bougherara D., Gassmann X., Piet L. (2011) Eliciting farmers' risk preferences. Workshop « Field experiments », ASFEE – LAMETA – Université de Montpellier 1, Montpellier, November 18th, 2011.
- Gassmann X. (2012) Eliciting farmers risk preferences: a review. Séminaire d'Economie de la Production, INRA, 19 sept 2012.
- Bougherara D., Gassmann X., Piet L. (2012), Eliciting farmers' risk and ambiguity preferences in the loss and gain domain, présenté à : (i) la conférence de l'Association Française d'Economie Expérimentale, (ASFEE), Montpellier, 31 mai

2012 ; (ii) la conférence internationale de l'Economic Science Association (ESA), New-York, 22 juin 2012 ; (iii) la conférence Foundations and Applications of Utility, Risk and Decision Theory (FUR XV), Atlanta, 2 juillet 2012.

- Bougherara D., Piet L. (2014) The impact of farmers' risk preferences on the design of an individual yield crop insurance. Workshop "Farmers' Risk Preferences: Elicitation and Use", March 11th 2014, Agrocampus, Rennes, France.
- Bougherara D., Piet L. (2014) The impact of farmers' risk preferences on the design of an individual yield crop insurance, Congress of the European Association of Agricultural Economics (EAAE), Ljubljana, Slovenia, 26-29 August.
- Nauges C., Thomas A., 2014, Structural estimation of risk preferences of French farmers, Workshop "Farmers' Risk Preferences: Elicitation and Use", March 11th 2014, Agrocampus, Rennes, France

THÈSE

- Gassmann X. (2014) Eliciting farmers' risk and ambiguity, preferences using field experiments. Thèse de doctorat en sciences économiques, soutenue le 10 mars 2014, Université de Rennes 1, Rennes.

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Bougherara D., Piet L. Interventions ponctuelles annuelles dans le master PRAME sur les méthodes expérimentales de mesure des préférences pour le risque, Agrocampus, Université de Rennes 1.
- Bougherara D., Piet L. Initiation des agriculteurs de la coopérative de Puiseaux à la notion de préférences pour le risque et de comportement face au risque le 24/01/2011.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

- Bougherara D., Leveau V., Nicoletti J-P., Piet L., Travers M. (2011) Aversion au risque: A prendre en compte dans la gestion des risques ? Poster présenté au colloque Blé Tendre Arvalis Institut du Végétal « Améliorer les performances Gérer les variabilités Pour une production compétitive, maîtrisée et écologiquement intensive », 16 mars 2011.
- Bougherara D., Leveau V., Gassmann X., Piet L., Reynaud A. (2014) Etude sur les comportements des agriculteurs face au risque et à l'incertitude, Rapport final de l'enquête INRA-Arvalis Institut du Végétal pour Vivescia.

MÉTHODOLOGIES

- Nauges C., Reynaud A., Thomas A. Note sur la méthodologie d'estimation des préférences vis-à-vis du risque à partir de données de production.
- Bougherara D., Nauges C. Protocole d'économie expérimentale permettant l'évaluation de l'impact de politiques sur le comportement de production des agriculteurs (utilisation d'intrants, niveau de production, allocation des terres).
- Bougherara D., Piet L. Modèle de simulation de l'impact des préférences des agriculteurs pour le risque sur le comportement d'adoption d'assurance par les agriculteurs.

PRÉSENTATIONS À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Bougherara D., Leveau V., Nicoletti J-P., Piet L. (2011) Mesure de l'aversion au risque des agriculteurs de la coopérative de Puiseaux : Premiers résultats de l'enquête commune INRA-Arvalis, restitution à la Coopérative de Puiseaux, 24/01/2011.
- Bougherara D., Gassmann X., Leveau V., Piet L. (2012) Mesure de l'aversion au risque des agriculteurs de Vivescia : Premiers résultats de l'enquête commune INRA-Arvalis, Journée de restitution à la coopérative Vivescia, 16 juillet 2012.
- Trois présentations de Xavier Gassmann dans le cadre d'un comité de thèse incluant Jesús Anton, Senior Economist à l'OCDE en charge des politiques de gestion du risque en agriculture.

AUTRES

- Organisation d'un workshop académique et professionnel : Farmers' Risk Preferences: Elicitation and Use, Workshop, March 11th 2014, INRA, Rennes.
- Restitution auprès des agriculteurs enquêtés (198 agriculteurs) sous la forme de courrier individuel résumant les résultats moyens de l'enquête et leurs données.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Claire **LAMINE**
 clamine@avignon.inra.fr
 INRA AVIGNON
 UR Écodéveloppement

PARTENAIRES

INRA AVIGNON
 UR Génétique et Amélioration des Fruits et
 Légumes (GAFL)

INRA GOTHERON
 Unité expérimentale de Recherches Intégrées
 (UERI)

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE LA DRÔME

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE L'ARDÈCHE

COMITÉ STRATÉGIQUE FRUITS RHÔNE-ALPES

ASSOCIATION D'ORGANISATIONS DE PRODUCTEURS
 NATIONALE (AOPN) ABRICOT

FREDON RHÔNE-ALPES

RÉALITÉS ET PERSPECTIVES DE L'ÉCOLOGISATION EN ARBORICULTURE FRUITIÈRE. POUR UNE APPROCHE INTÉGRANT CONCEPTION VARIÉTALE, REDÉFINITION DES PRATIQUES CULTURALES, ET COORDINATION AU SEIN DU SYSTÈME AGRI-ALIMENTAIRE, À PARTIR DU CAS DES VERGERS D'ABRICOTIERS ET PÊCHERS

2013 - 2015



MOTS-CLÉS

Système socio-technique, transitions, réduction des pesticides, idéotypes variétaux, pratiques culturales, interactions variété/conduite, protection, vergers, *Prunus*, transitions pêcheur-abricotier



EN QUELQUES MOTS

Le projet PRUNUS, en s'appuyant sur le cas des vergers de *Prunus* en Rhône-Alpes, a pour objectif d'analyser les effets de verrouillage et les leviers de transition vers une écologisation des pratiques agricoles. En effet, l'écologisation des pratiques (comme leur intensification) repose sur l'articulation d'un ensemble de maillons : le choix variétal, l'agencement du verger, sa conduite, les modes de mise en marché et d'organisation, etc. C'est pourquoi une approche combinant sciences sociales, agronomie et génétique est proposée, articulant une analyse rétrospective de l'évolution du secteur, un diagnostic de la situation actuelle et une démarche prospective avec les partenaires professionnels des filières et des politiques publiques.



CONTEXTE ET OBJECTIF

L'évolution récente du verger de *Prunus* (déclin du pêcheur, substitution partielle par l'abricotier) pose une double question : Quelles perspectives en termes de viabilité économique des exploitations et de la filière, dans un contexte de crise fruitière ? Quels impacts en termes de gestion phytosanitaire et de perspectives de réduction d'intrants (difficultés ou leviers, accompagnement souhaitable) ?

L'hypothèse du projet est que ce cas des abricotiers et pêcheurs permet d'explorer la question de la (re)conception de vergers « durables », englobant ici le choix variétal, l'agencement du verger, la conduite culturale et les évolutions plus larges nécessaires dans le système agri-alimentaire (incluant les opérateurs des filières - le « système agro-alimentaire »- ainsi que l'ensemble des acteurs concernés : recherche, conseil, consommateurs, société civile et politiques publiques).

Pour explorer cette hypothèse, une approche intégrée de la question de la (re)conception et de la gestion des vergers est proposée, en associant sociologues, économistes, agronomes et généticiens. L'hypothèse faite est que l'extension du verger d'abricotiers, si elle s'appuyait sur une vision beaucoup plus intégrée de la triple dimension variété, conduite agronomique et adaptation du système agri-alimentaire (types de marché et de commercialisation, mais aussi de conseil et accompagnement, politiques publiques), pourrait se réaliser avec une utilisation moindre de produits phytosanitaires.



MÉTHODES

Un groupe de réflexion associant des acteurs professionnels, du conseil, des filières et des politiques a été construit pour toute la durée du projet. Dans la première phase du projet (2013), les évolutions du verger de pêcheurs et abricotiers ont été analysées rétrospectivement dans les différents

territoires de Drôme Ardèche, et aux différents niveaux du système socio-technique (offre variétale, stratégies des exploitations, pratiques, circuits de commercialisation, conseil, etc.). Les grandes étapes de cette trajectoire et les effets de verrouillage qui se sont dessinés au fil du temps ont été retracés. Ce travail a été réalisé à partir d'une analyse socio-historique sur base documentaire et d'entretiens divers (responsables professionnels, conseillers, chercheurs, agriculteurs) et d'une analyse de la structure du verger avec les bases de données et enquêtes alors disponibles : base FREDON (Fédération régionale de défense contre les organismes nuisibles), enquête SCEES (Service central des enquêtes et études statistiques, Ministère de l'agriculture) sur les vergers 2007-2012, RGA-2010 (Recensement général agricole).

La phase en cours (mi 2013 à mi 2015) est une phase de diagnostic :

- Analyse de l'organisation de la filière et de ses formes et modalités de gouvernance ;
- Analyse des trajectoires et élaboration d'une typologie d'exploitations ;
- Analyse des stratégies de protection actuelles et de leurs évolutions en cas de changement d'espèce fruitière ;
- Analyse des changements de pratiques et processus d'apprentissage au sein d'un réseau de fermes inscrites dans le dispositif Dephy (Écophyto 2018).

Elle donnera lieu à une synthèse argumentée sur l'influence de l'évolution des vergers sur les pratiques et la réduction des pesticides.

Enfin la dernière phase (2e semestre 2015) visera à travailler collectivement, sur la base de séminaires du groupe de réflexion associant différents acteurs du système agri-alimentaire, pour proposer des scénarios d'évolution du verger et des pratiques et proposer des idéotypes variétaux destinés à une production durable. L'objectif est aussi d'aboutir à une proposition de dispositifs d'expérimentation à mettre en œuvre.



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Evolution du verger de *Prunus* en Rhône-Alpes

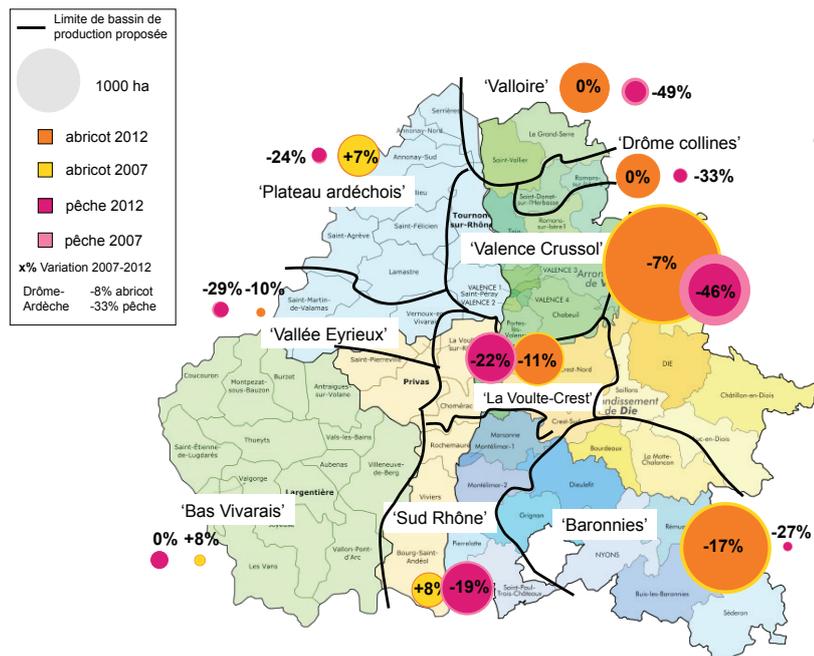


Figure 1 : Evolution du verger de *Prunus* en Rhône-Alpes entre 2007 et 2012.

Le verger de *Prunus* en Drôme-Ardèche a connu une forte évolution sur la période 1997-2007 : la pêche perd plus de la moitié de ses surfaces (6800 à 3100 ha) et du nombre de ses exploitations, et cette évolution se prolonge sur la période 2007-2012 (moins de 2000 ha en 2012), la sharka (maladie virale) représentant environ le quart de ces arrachages (données FDGDON26). Le secteur de la plaine de Valence, où se situait la plus forte concentration de pêcheurs, est le plus touché. Pour l'abricot, la légère progression (+4%) de 1997 (6600 ha) à 2007 (6850 ha), en partie due à des replantations après arrachage du pêcher, s'accompagne également d'une diminution du nombre d'exploitations (-27%). Pour la période 2007-2012, les surfaces d'abricot diminuent toutefois (-8%), avec des dynamiques différentes selon les bassins de production (Figure 1). La variété Bergeron prédomine (38,5% des surfaces en 2012). Enfin, les exploitations où la mixité pêche et abricot est présente voient leurs surfaces de pêche diminuer moins drastiquement que celles où seule la pêche est produite (Drôme 2007-2012, -29% vs.

-56%). La comparaison des pratiques de protection entre pêche et abricot et l'analyse des évolutions liées au transfert d'une espèce à l'autre semblent conforter l'hypothèse de possibles réductions d'intrants (données d'enquêtes en cours d'analyse).

Analyse socio-historique

Pour essayer d'expliquer la « course à l'innovation variétale » qui caractérise la pêche et dans une moindre mesure l'abricot, l'évolution de l'amélioration variétale a été retracée, depuis les années 1960 jusqu'à aujourd'hui, dans son interaction avec les autres éléments du système socio-technique : évolution du marché, organisation des acteurs de la filière, politiques publiques, stratégies et pratiques des exploitations agricoles. Ainsi, l'analyse a montré comment l'extension du verger dans les années 1980, largement permise par des politiques publiques d'aménagement, allait de pair avec une forte rupture dans les pratiques techniques et un allongement du calendrier de production, lequel, combiné avec une segmentation croissante en type de produits (pêche jaune/blanche, nectarine etc.), a entraîné une forte extension de la gamme variétale (Figure 2). De fait, le modèle d'innovation variétale est devenu de plus en plus guidé par l'aval, dont la pression augmente avec un contexte de plus en plus concurrentiel. La question est alors celle des possibles bifurcations dans cette trajectoire socio-technique.

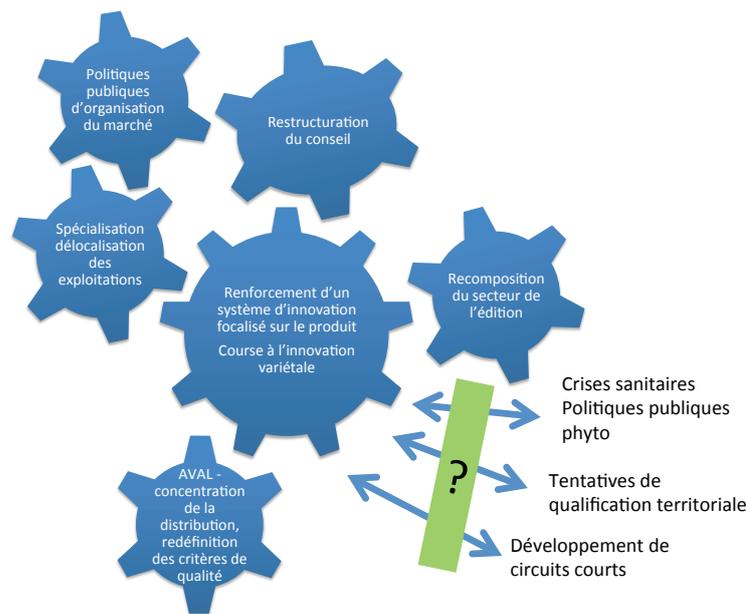


Figure 2 : Interdépendances au sein du système socio-technique.

A partir d'un cadre d'analyse basé sur les théories des transitions et l'analyse des controverses, il a été montré que l'incapacité des pouvoirs publics à réellement infléchir les évolutions dans un sens plus environnemental tenait à la fois aux fortes interdépendances dans ce système, à l'inertie des rapports de force entre acteurs, au pas de temps des cultures pérennes, aux stratégies de retour rapide sur investissement et aux critères d'excellence scientifique ne favorisant pas jusqu'à récemment les approches intégrées en génétique. L'importance de nouvelles « arènes de transition » dans lesquelles des acteurs de différents niveaux du système socio-technique, certains plus « mainstream », d'autres plus « alternatifs » peuvent construire des analyses et projets partagés, a également été démontrée (communication SISA).



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Dans ce projet, le transfert n'est pas conçu de manière descendante, même si les résultats seront valorisés dans des supports professionnels (revues, formations). Une animation de projet a été mise en place d'entrée de jeu, permettant d'associer les partenaires à la construction des questions, des enquêtes et des scénarios d'évolution. Si les analyses sont menées par les chercheurs, les résultats sont discutés avec l'ensemble des partenaires. La première phase a d'ailleurs déjà donné lieu à des projets d'articles pour différents supports (scientifiques et professionnels), en co-écriture avec les partenaires.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Outre l'analyse des enquêtes producteurs, les prochaines étapes concernent l'organisation de la filière et de ses formes et modalités de gouvernance. Il s'agira aussi d'identifier des leviers systémiques qui serviront à co-construire des scénarios de (re)conception de vergers et d'idéotypes durables dans la fin du projet.



VALORISATION

COLLOQUES

- Lamine C. (2014) The complex relationships between breeding strategies and sustainable agriculture: a fruit tree case study. SISA2, Paris, 22-23 May 2014.
- Lamine C., Audergon JM., Penvern S., Simon S., Pluvinage J. (2014) From genetics to marketing (... and through complex connexions and interdependencies): an integrative approach of the ecologisation of fruit production. IFSA congress, April 2014, Berlin.

EXPERTISE

- Participation aux journées de conception de systèmes, vergers de fruits à noyaux, avec le CTIFL, participation au CSU.

PRÉSENTATIONS À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Journée GIS Fruits, janvier 2014.
- Présentation du projet PRUNUS aux Journées SMACH de décembre 2013.

AUTRE

- Groupe de réflexion multi-partenaires interne au projet

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Karine WEISS
 Karine.weiss@unimes.fr
 UNIVERSITÉ DE NÎMES
 Laboratoire de Psychologie Sociale (LPS)

**REPRÉSENTATIONS SOCIALES DES PESTICIDES ET
 CHANGEMENTS DES PRATIQUES CHEZ
 LES AGRICULTEURS FRANÇAIS**

2013 - 2015



MOTS-CLÉS

Représentations sociales, noyau central, pesticides



EN QUELQUES MOTS

Le projet PSYCHOPEST vise en premier lieu à mettre en évidence les représentations sociales (RS) des pesticides chez des agriculteurs et des élèves de lycées agricoles français, sur trois terrains présentant des problématiques différentes : Bretagne, Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA, Figure 1) / Languedoc – Roussillon (LR) et Martinique. Dans l'état actuel des connaissances, il s'agit d'une étude préliminaire indispensable, qui permettra de mieux comprendre les attitudes des publics concernés et d'envisager des leviers pour des changements de pratiques.



Figure 1 : Plateau de Valensole (Alpes de Haute-Provence, PACA) (© Florence Carreras, INRA).



CONTEXTE ET OBJECTIF

Dans le contexte écologique, économique et social actuel, le recours systématique aux pesticides engendre aussi bien des inquiétudes que des alertes sur les plans sanitaires et environnementaux. En effet, la contamination des sols, de l'eau et de l'air d'une part, ainsi que les impacts sanitaires sur les consommateurs et les agriculteurs eux-mêmes d'autre part, sont à même de remettre en cause l'utilisation actuelle des pesticides. La forte pollution qu'ils engendrent pour n'atteindre que faiblement les nuisibles responsables des attaques de culture - nuisibles de plus en plus résistants aux produits utilisés - pose question. Ainsi, il convient de s'interroger sur la balance avantages/inconvénients des pesticides au regard de la persistance de leur utilisation. Dans la mesure où l'on souhaite obtenir un changement d'intention voire de comportement de la part des utilisateurs, il est primordial, dans un premier temps, de s'attacher à repérer les éléments constitutifs de la représentation qu'ont ces utilisateurs des pesticides. Dans cette optique, les objectifs opérationnels du projet PSYCHOPEST sont :

- Mettre en évidence les représentations sociales des pesticides.
- Démasquer les éléments cachés de la représentation sociale des pesticides.
- Repérer les agriculteurs les plus motivés pour un changement de pratiques afin d'organiser par la suite une campagne de communication, dont l'objectif est d'obtenir des changements effectifs de comportement dont les agriculteurs seront acteurs.



MÉTHODES

Le projet est découpé en trois phases successives :

Phase 1 : Détermination des représentations sociales des pesticides et des risques associés

Deux méthodes complémentaires sont employées sur un panel constitué d'agriculteurs et d'étudiants en lycées agricoles des régions PACA/LR, Bretagne et Martinique : (1) Une analyse d'évocations : La personne interrogée est invitée à produire tous les mots ou expressions qui lui viennent à l'esprit lorsqu'on évoque les pesticides. Elle est ensuite invitée à classer les mots évoqués en fonction de leur importance pour évoquer les pesticides. (2) Des entretiens semi-directifs : Ces entretiens permettent de préciser certains éléments des représentations sociales. Ces deux ensembles d'outils seront utilisés successivement avec l'ensemble des participants de la phase 1. Cependant, l'échantillon sera divisé en deux, avec, pour une moitié des participants, l'utilisation d'une consigne de substitution lors de la tâche d'évocations libres et des entretiens, afin de vérifier l'existence d'une zone muette, c'est-à-dire d'éléments cachés du discours. En d'autres termes, cela reviendra à la mise en œuvre suivante : 1) Une moitié de l'échantillon répondra en son nom propre, consigne standard (« que pensez-vous de... ? »), 2) L'autre moitié répondra au nom de son groupe d'appartenance, consigne de substitution (« à votre avis, que pensent les agriculteurs de... ? »).

Phase 2 : Mise en évidence de la hiérarchie des cognitions

La deuxième phase de la recherche consistera à préciser la hiérarchie des cognitions constituant les représentations sociales mises en évidence dans la phase 1. La technique employée est celle du test d'indépendance au contexte: il s'agit de remettre en cause des éléments repérés en phase 1, afin de vérifier s'ils font partie ou non du système central de la représentation.

Phase 3 : Définition d'un processus de communication engageante

Les deux premières phases ayant permis de mettre à jour les représentations sociales des pesticides et la hiérarchie de leurs éléments constitutifs, il s'agira alors de définir, à partir de ces éléments, un processus de communication pertinent.



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Les premiers résultats offrent de nombreuses hypothèses de structure qui méritent d'être validées dans la phase 2 du projet. Néanmoins, des points de similitudes entre la Martinique et la Bretagne apparaissent d'ores et déjà. En effet, que ce soit pour les agriculteurs ou les étudiants, l'ensemble des items qui composent le noyau central (i.e. les éléments les plus importants de la représentation) des RS sont assez similaires, avec notamment :

- (1) la prédominance des aspects négatifs dus à l'utilisation des pesticides ;
- (2) l'apparition d'items n'apparaissant pas en consigne standard relatifs à l'importance de l'utilisation des pesticides pour mener une culture et assurer un rendement à l'agriculteur ;
- (3) la prise en compte de la notion de protection des cultures chez les étudiants qui diffère de celle des agriculteurs qui parlent eux de « mener une culture ».

En revanche, les agriculteurs du sud de la France se distinguent bien des agriculteurs des deux autres terrains. Une distinction qui s'exprime au travers de la non-présence d'item relatif à l'ensemble des risques liés à l'utilisation des pesticides, si ce n'est lors de la consigne de substitution. Cette différence pourrait être imputée à l'environnement et *a fortiori* aux pratiques agricoles associées. Les agriculteurs du sud de la France étant moins stigmatisés, utilisant moins de pesticides que les agriculteurs bretons qui sont eux plus soumis à cette image « d'agriculteurs pollueurs ». C'est notamment ce que révèle l'analyse des premiers entretiens. Dès lors, la prise en compte de ce contexte permet de mieux comprendre la présence supérieure d'items relatifs aux risques environnementaux et sanitaires chez les agriculteurs bretons que chez les agriculteurs du sud de la France.

Il s'agit de sensiblement la même chose pour les agriculteurs martiniquais qui sont associés aux nombreuses conséquences de l'utilisation du chlordécone. La population martiniquaise étant extrêmement impliquée dans ce vaste problème de santé publique, les actions de prévention envers les agriculteurs se retrouvent dans la structure de la RS, notamment avec les dimensions de règles et de connaissances d'utilisation.

Pour les étudiants : (1) les deux types de consignes engendrent peu de différences dans les structures des RS ; cette absence de différence pourrait s'expliquer par la non existence de zone muette chez cette population qui est encore en formation et pas complètement immergée dans les problématiques pratiques liées à l'utilisation des produits phytosanitaires et (2) l'ensemble des items renvoie à des aspects très normés relevant des risques et au besoin de diminution et/ou d'alternatives. L'ensemble des entretiens étant en cours d'analyse, les résultats seront affinés à l'aune des nouveaux éléments. De plus la phase 2 du projet permettra de valider l'ensemble des hypothèses mises en exergue lors de la phase 1.

PERSPECTIVES DE TRANSFERT

L'ensemble des résultats finaux permettra d'organiser des campagnes de communication auprès des instances telles que les chambres d'agricultures, afin d'accompagner les changements des pratiques des agriculteurs sur des dimensions plus pertinentes pour cette population, l'objectif étant que les agriculteurs deviennent acteurs de ce changement et non de simples spectateurs.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

La suite de la recherche correspond à une mise en place de communication engageante à l'instar des fermes Dephy. Prendre en considération la relation entre les agriculteurs et le reste de la population semble également être une perspective de recherche à explorer. En effet, les agriculteurs rencontrés ont fait part de l'importance pour eux de s'intéresser également à l'image que la population a de leur métier, afin de mieux pouvoir expliquer les contraintes et avantages du travail d'agriculteur.

VALORISATION

COLLOQUES

- Zouhri B. et al. (2013). Psychopest-Écophyto 2018 : représentation sociale des pesticides et changements de pratiques chez les agriculteurs français. Rencontres Agro-Risque Pôle Risque-Terralia. Avignon, France, 5 septembre.
- Zouhri B. (2014). Participation au groupe de travail « Quels besoins en recherche et développement nécessaires sur les produits de biocontrôle ». Forum sur le biocontrôle. Paris, France, 22 avril.
- Zouhri B. et al. (2014) Représentation sociale des pesticides chez la agriculteurs français : étude comparative de trois régions. 44^e colloque du Groupe Français des Pesticides. Schoelcher, Martinique, 24-28 Mai.

EXPERTISE

- Expertise des questionnaires du projet « Biocontrôle et Mobilisation du réseau des coopératives pour l'Expérimentation et la diffusion » (BMOTIVED) dirigé par Maryll Pasquet et Emmanuel Servonnat, INVIVO, Agrosolution.



SESSION 3

MODALITÉS D'INTERVENTION DES POLITIQUES PUBLIQUES POUR FAVORISER LES CHANGEMENTS DE PRATIQUES



ECCOTER - Evaluation des mesures agroenvironnementales à enjeu « eau/pesticides»
(APR 2009)
Françoise VERNIER et Sylvain ROUSSET, Irstea Bordeaux



COUD'POUCE - COmportement et Usage Des pesticides : POUr des Contrats Environnementaux innovants (APR 2011)
Sophie THOYER, INRA - SupAgro Montpellier - CNRS - Université de Montpellier I



ALTERPHYTO - Approches juridiques des protections alternatives contre les ennemis des cultures (APR 2011)
Philippe BILLET, Université de Lyon III



DidacPhyto - Vers un enseignement de savoirs agronomiques de référence, opératoire pour des pratiques agricoles compatibles avec le Plan Écophyto (APR 2011)
Paul OLRÉY, AgroSup Dijon

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES

Françoise **VERNIER**
francoise.vernier@irstea.fr
 Sylvain **ROUSSET**
 IRSTEA BORDEAUX
 UR Environnement Territoires et Infrastructures
 (ETBX)

PARTENAIRES

INRA-AGROPARISTECH, GRIGNON
 UMR Agronomie

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE POITOU-CHARENTES

LES MESURES AGROENVIRONNEMENTALES À ENJEU «EAU/PESTICIDES» : ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE L'IMPACT DE MODIFICATIONS DES PRATIQUES AGRICOLES PAR MODÉLISATION INTÉGRÉE À PARTIR DE SCÉNARIOS D'ÉVOLUTION

2010 - 2014



MOTS-CLÉS

Mesures agroenvironnementales territorialisées (MAET), évaluation des politiques publiques (*ex ante*), modélisation intégrée, coût-efficacité, indicateurs spatialisés, scénarios d'évolution de l'agriculture



EN QUELQUES MOTS

Le projet développe une approche de modélisation intégrée, pour l'évaluation *ex-ante* de scénarios spatialisés de mise en place de mesures agro-environnementales territorialisées (MAET) sur des territoires à enjeu eau/pesticides. Cette approche est basée sur un référentiel commun de description des milieux, des systèmes et des pratiques agricoles. Elle combine des indicateurs spatialisés (Indice de fréquence de traitement - IFT, PREMA, Arthur, indicateur composite) et un modèle agro-hydrologique pour l'évaluation environnementale des scénarios, ainsi qu'un modèle bioéconomique pour le calcul des coûts privés associés. L'objectif est de pouvoir localiser à l'échelle du sous-bassin versant les scénarios les plus « coût-efficaces ».



CONTEXTE ET OBJECTIF

Le soutien à l'agroenvironnement avec les MAET a constitué un élément très important du Plan de Développement Rural National. La reconquête de la qualité des milieux lancée par la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau, le plan d'action sur les captages Grenelle et le plan Écophyto 2018 sont autant de politiques publiques qui demandent des méthodes opérationnelles pour l'évaluation des plans d'action. La territorialisation maintenant affirmée de ces politiques, l'approche par scénarios pour la réalisation des plans d'action, la considération des coûts associés aux mesures proposées, plaident également pour des approches de modélisation intégrée et spatialisée que le projet Eccoter s'est attaché à développer.

Le projet se propose d'apporter des avancées méthodologiques sur les méthodes d'évaluation *ex-ante* de MAET à enjeu eau/pesticides. Son objectif est de développer une approche intégrée par modélisation (agro-hydrologique et bioéconomique) et indicateurs agro-environnementaux spatialisés, pour l'évaluation environnementale et économique de scénarios agricoles et l'appui à la décision publique. Ces scénarios, établis en concertation avec les acteurs locaux à partir de l'examen de mesures agro-environnementales à enjeu « qualité de l'eau/pesticides », combinent la mise en œuvre localisée de mesures agro-environnementales, des changements de système ou de pratiques et la mise en place d'aménagements (bandes enherbées et localisation de prairies).



MÉTHODES

L'approche intégrée (Figure 1) permet de coupler des indicateurs agroenvironnementaux spatialisés et une modélisation agro-hydrologique semi-distribuée (SWAT) pour l'évaluation de l'« efficacité » environnementale, puis utilise la programmation mathématique pour le calcul des coûts privés associés aux scénarios. Une approche typologique par type de sol, rotation

et culture permet de modéliser les systèmes agricoles et les pratiques associées.

Le scénario de référence correspond aux pratiques actuelles. Les scénarios alternatifs peuvent combiner deux scénarios « élémentaires » (scénario de référence et scénario « tout MAET » par exemple) ou localiser des MAET dans des zones sensibles. Les scénarios, traduits spatialement en successions culturales et pratiques associées, constituent une référence commune pour les indicateurs et les modèles. Des indicateurs de pression (par molécule), d'intensité des pratiques (IFT) et de risque potentiel de transfert (indicateur Arthur et indicateur composite développé par l'équipe Irstea) sont calculés pour chaque scénario. Les indicateurs sont calculés à l'échelle de l'ilot RPG (Registre Parcellaire Graphique) puis agrégés à l'échelle du sous-bassin pour une analyse conjointe des résultats. Le modèle agro-hydrologique SWAT intègre les pratiques spatialisées à l'échelle de l'unité de réponse hydrologique (HRU) via le programme GENU2 développé par l'équipe Irstea. Les transferts de 10 molécules représentatives sont modélisés sur une période de 27 ans. Les transferts et le devenir des molécules sont calculés en phase sol à l'échelle de la HRU, puis dans le cours d'eau. Le bilan est à l'échelle du sous-bassin. La même unité spatiale (HRU) est utilisée pour la modélisation des coûts privés associés, permettant ainsi d'identifier les scénarios les plus « coût-efficaces » vis-à-vis de la pression exercée sur la ressource (indicateurs) et des concentrations dans les cours d'eau calculées à partir des flux modélisés par SWAT.

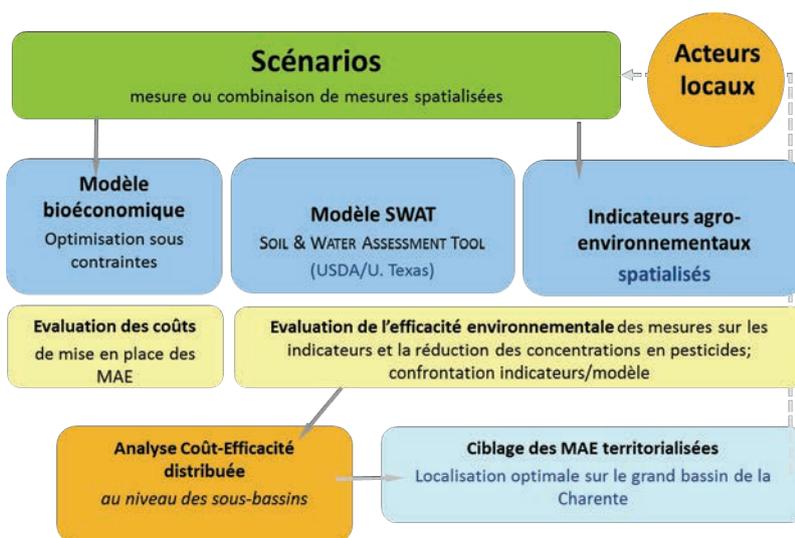


Figure 1 : Démarche générale du projet ECCOTER.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

La méthode a été appliquée au bassin versant du Né (Charente, Figure 2) et plusieurs scénarios évalués. Un scénario de référence a été défini avec, pour les 3 grands types de sol présents, les successions culturales et la description complète d'un itinéraire technique (ITK) pour les cultures composant une succession. Un outil d'enregistrement des pratiques a été développé pour l'échange avec les acteurs locaux. Puis six scénarios alternatifs ont été décrits, avec mise en place de mesures à enjeu eau (Phyto04 et Phyto10). Ces scénarios sont un compromis entre le souhait des acteurs de tester certaines hypothèses et le souhait de l'équipe de tester des scénarios diversifiés et tranchés pour développer la méthode.

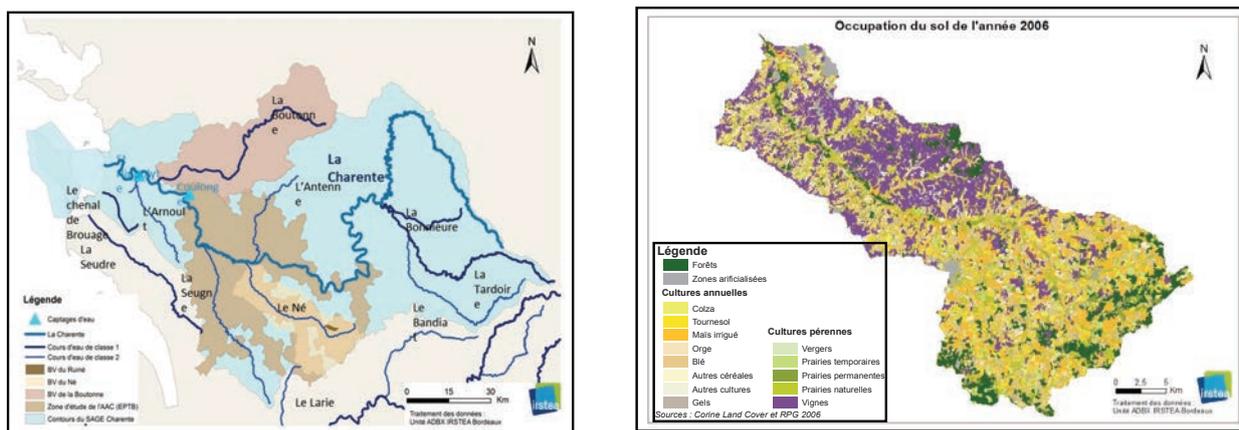


Figure 2 : Bassins versants emboîtés (Ruiné, Né, Charente) et occupation du sol du bassin du Né.

Un programme utilisant le logiciel R a été développé pour le calcul des indicateurs. Les résultats (Tableau 1) montrent qu'il est possible de discriminer significativement les scénarios à l'aide des indicateurs choisis. Les scénarios les plus efficaces (S2, « tout MAET » et S3B, tout MAET avec de surcroît 20% de la vigne en « bio ») permettent de réduire l'IFT herbicide respectivement de 44 et 47% tandis que l'IFT hors herbicide est réduit de 32 et 39%. Cette proportion tombe à 5 ou 10% si l'on introduit seulement 25% de MAET ou 20% de vigne bio. Le scénario S9, dit « intensif » conduit à une augmentation de l'IFT herbicide de 40% et hors herbicide de 20%. La spatialisation des résultats (ilot, sous-bassin) permet une meilleure localisation potentielle des mesures.

	IFT			PREMA									
	Herbicide	Hors Herbicide	Azote	Glyphosate	S-metolachlore	Acetochlore	Isoproturon	Mancozebe	2-4-MCPA	Metaldehyde	Aclonifen	Chlorpyriphos-ethyl	Tebuconazole
S0	1,27	9,04	86,55	460,55	126,99	127,06	125,57	1548,48	31,64	47,07	240,77	130,38	52,14
S9	41,89	20,08	-0,12	120,56	39,89	0,04	12,82	0,00	0,00	69,58	-86,80	0,00	100,00
S1A	-6,40	-4,83	-3,32	-7,32	0,85	-23,39	-7	0,00	-2,40	-16,63	-11,47	-15,19	15,19
S2	-44,36	-31,93	-27,09	-51,09	-5,92	Absence	Absence	0,00	-41,72	Absence	-84,08	-99,97	100,00
S3A	-3,98	-10,37	-3,52	-10,49	-0,04	0,01	0,02	-11,70	0,03	-0,01	-0,03	-11,69	-11,70
S3B	-47,11	-39,24	-29,48	-56,82	-5,96	Absence	Absence	-11,70	-41,44	Absence	-84,09	-99,97	76,60
S4	-14,54	-2,30	-15,24	-1,77	-17,10	-39,18	-14,61	0,00	-9,74	-27,08	-20,99	-0,01	0,00

Tableau 1 : Résultats de l'efficacité environnementale des scénarios évaluée par les indicateurs.

Le modèle SWAT reproduit correctement les débits du Né (confrontation aux chroniques mesurées, Figure 3) ainsi que le niveau de contamination dans le cours d'eau selon les données disponibles. Les scénarios les plus efficaces (S2 et S3B) permettent un gain d'environ 4 µg/l toutes molécules confondues contre 2,5 µg/l pour les scénarios intermédiaires (25% MAET) ou la localisation des prairies en bord de cours d'eau (S4) (Tableau 2). En fonction de l'objectif, il est possible de localiser les scénarios les plus efficaces pour réduire l'IFT ou la pression, ainsi que l'impact correspondant sur les concentrations dans le cours d'eau.

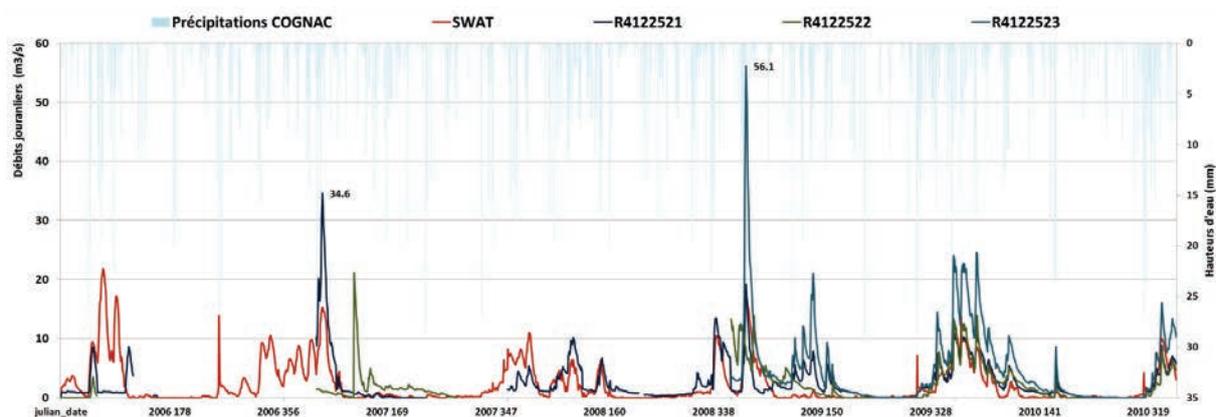


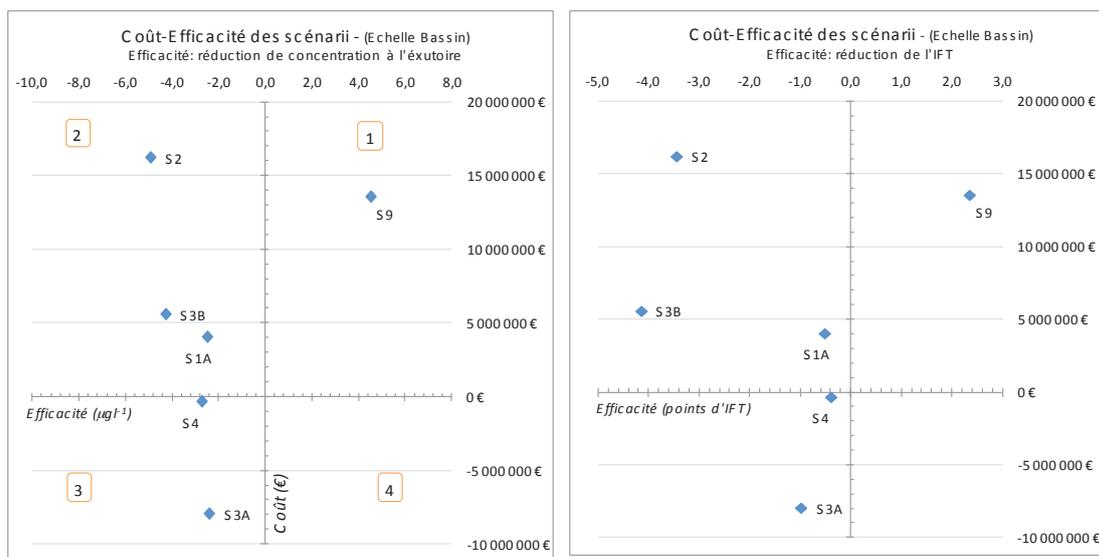
Figure 3 : Validation de 2006 à 2010 aux débits journaliers disponibles aux stations hydrométriques de la banque hydro (commune de Salles d'Angles).

Scénario	Glyphosate	S_metolachlore	2-4-MCPA	Acetochlore	Aclonifene	Chlorpyriphos-ethyl	Isoproturon	Mancozebe	Metaldehyde	Tebuconazole
S0	0.10	3.01	0.02	0.81	0.53	0.02	1.37	0.15	1.37	0.02
S2	0.08	2.17	0.00	Absence	0.08	0.00	Absence	0.08	Absence	0.04
S9	0.64	3.90	0.02	0.68	0.03	0.02	2.75	0.14	3.66	0.05
S1A	0.08	2.71	0.01	0.79	0.48	0.02	1.23	0.13	1.23	0.02
S3A	0.11	2.84	0.02	0.81	0.52	0.01	1.37	0.13	1.33	0.01
S3B	0.05	2.82	Absence	Absence	0.08	0.00	Absence	0.13	0.21	0.01
S4	0.10	2.70	0.02	0.81	0.50	0.02	1.33	0.13	1.23	0.02

Tableau 2 : Résultats de l'efficacité environnementale des scénarios évaluée par le modèle SWAT (concentrations moyennes simulées à l'exutoire).

La modélisation bioéconomique a permis d'évaluer les coûts privés directs de mise en place des scénarios à l'échelle des sous-bassins et du bassin versant. Les coûts moyens annuels calculés varient entre 0 et 170 € par hectare de mesure implantée. La somme actualisée de ces coûts, calculée sur la période simulée par le modèle SWAT, a été mise en regard de leur efficacité (Figure 4) évaluée vis-à-vis soit des objectifs intermédiaires de réduction des pressions polluantes (IFT), soit des objectifs finaux

(baisse des concentrations à l'exutoire du bassin). Ainsi, les scénarios les plus « coût-efficaces » sont les scénarios S2 et S3B, suivis par les scénarios S1A (25% MAET) et S4 (prairies localisées en bord de cours d'eau). Ce classement n'intègre cependant pas les coûts publics de mise en place des mesures. Les coûts de transaction peuvent être considérés comme identiques entre scénarios et ne pas être pris en compte.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

La méthode et les outils développés sont actuellement testés dans un contexte plus opérationnel d'appui à la mise en œuvre d'un programme d'actions sur une zone d'aire d'alimentation de captage (AAC) Grenelle 2 et pour la mise en œuvre du schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) Charente. Ce projet, financé par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, a pour objectif une application de la méthode en appui aux programmes d'actions et l'évaluation des possibilités de transfert aux gestionnaires locaux.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Les travaux menés sur un indicateur composite permettant de calculer un risque potentiel de transfert à l'échelle du bassin versant sont à poursuivre. Plusieurs perspectives peuvent être citées : intégration plus poussée des échelles spatiales pour la sélection des zones d'action, intégration du changement climatique via la modélisation agro-hydrologique, ajout des coûts publics de mise en place de la mesure, mise en place d'un entrepôt de données dédié pour l'analyse des résultats...

VALORISATION

La méthodologie mise en œuvre dans le cadre du projet ECCOTER a été présentée à différents opérateurs lors de réunions de travail ; elle a été présentée lors d'un séminaire sur l'évaluation des MAE DCE organisé par Irstea et lors de séminaires extérieurs (séminaire Polldiff'eau en 2013) ainsi qu'à une journée d'échanges avec les acteurs locaux en avril 2014 (St Hippolyte) qui a réuni une quarantaine de personnes. Un séminaire de restitution dédié au projet ainsi qu'au projet Maeveau qui lui est lié a été organisé en juin 2014 sur le site de Bordeaux Sciences Agro : il a réuni une soixantaine de personnes, (scientifiques, administrations et acteurs de terrain) sur trois demi-journées. Des articles de vulgarisation (revue bio, revue de l'agence de l'eau Adour Garonne) ainsi qu'un article dans la revue de l'Irstea se sont fait l'écho de ces travaux. Enfin, les travaux en cours ont fait l'objet de communications dans des colloques scientifiques et des publications sont en cours.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Vernier F., Miralles A., Pinet F., Carluer N., Gouy V., Molla G., Petit K. (2013) EIS Pesticides: An environmental information system to characterize agricultural activities and calculate agro-environmental indicators at embedded watershed scales. *Agricultural Systems*, 122: 11-21.
- Lescot J.M., Bordenave P., Petit K., Leccia O. (2013) A spatially-distributed cost-effectiveness analysis framework for controlling water pollution. *Environmental Modelling & Software*, 41: 107-122.
- Lescot J.M., Bordenave P., Leccia O., Petit K. (2013) Contrôle des pollutions diffuses par les pesticides : une approche coût-efficacité spatialement distribuée. *Economie Rurale*, 333: 123-150.
- Boithias L., Sauvage S., Srinivasan R., Leccia O., Sanchez-Perez J. M. (2014) Application date as controlling factor of pesticide transfers to surface water during runoff events. *Catena*, 119: 97-103.

COLLOQUES

- Lescot J.M., Leccia O., Vernier F. (2013) Challenges for integrated assessment and Cost-Effectiveness analysis of mitigation measures for controlling water pollution . Transboundary water management across borders and interfaces: present and future challenges. TWAM2013 International Conference 16-20/03/2013, Aveiro, PRT. 5 p.
- Lescot J.M., Bordenave P., Petit K., Leccia O., Sanchez-Perez J.M., Sauvage S., Probst J.L. (2011) Cost-effectiveness analysis for controlling water pollution by pesticides using SWAT and bio-economical modeling. 2011 International SWAT Conference Soil and Water Assessment Tool 15-17/06/2011, Toledo, ESP. 16 p.
- Vernier F., Leccia O., Galichet B., Kuentz V., Petit K., Scordia C., Minette S., Papin F., Rethoret H., Paulet S., Espalieu D. (2013). Une méthode de modélisation intégrée de scénarios d'évolution de l'agriculture pour l'aide à la décision publique : application à une zone à enjeu « pesticides » dans le bassin de la Charente. 43^e congrès du Groupe Français des Pesticides 29-31/05/2013, Albi, 2 p.
- Vernier F., Espalieu D. (2013). Modélisation intégrée de scénarios d'évolution de l'agriculture pour l'aide à la décision publique : application à des zones à enjeux « eau » dans le bassin de la Charente. Séminaire Poll'diff eau 18-19/09/2013, Paris, 1 p.
- Leccia O., Vernier F., Galichet B. (2013) Modeling the dynamics of agricultural and practice changes with GENLU2 – a SWAT application. SWAT Conference, July 2013, International SWAT conference – Toulouse, 17-19/07/2013.
- Leccia O., Chatelier M. (2014) Modélisation des transferts d'azote du sol à la nappe par couplage SWAT (Irstea) – MARTHE (BRGM) : application sur le bassin de la Boutonne. Juillet - Séminaire COTE & FLUX : Echanges / flux de nutriments et de contaminant entre les compartiments des écosystèmes et impact sur leur fonctionnement – Bordeaux 13p.
- Chatelier M., Leccia O. Vernier F., Bichot F. (2013) Modélisation spatialisée des transferts d'azote par couplage SWAT(Irstea) et MARTHE(BRGM) : exemple du bassin de la Boutonne. 19^e journées techniques du Comité Français d'hydrogéologie de l'Association Internationale des hydrogéologues, Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources. Quoi de neuf ?, 30/05/- 02/06/2013, Bordeaux.

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Formation à Bordeaux Sciences-agro (option gestion des espaces ruraux).
- Formation des acteurs locaux à l'usage du modèle SWAT (session dans le cadre du projet).

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

- Espalieu D. (2014) Revue de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.
- Revue bio Poitou Charentes (2013).

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Présentation et restitution des résultats du projet (ETPB – Agence de l'eau Adour-Garonne – chambres d'agriculture).

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Sophie **THOYER**

thoyer@supagro.inra.fr

INRA - MONTPELLIER SUPAGRO - CNRS -
UNIVERSITÉ MONTPELLIER I

UMR Laboratoire Montpellierain
d'Economie Théorique et Appliquée
(LAMETA)

**COMPORTEMENT ET USAGE DES PESTICIDES :
POUR DES CONTRATS ENVIRONNEMENTAUX INNOVANTS**

2012-2015



MOTS-CLÉS

Economie comportementale, psychologie, sociologie, droit, design de contrats agro-environnementaux, mesures agro-environnementales territorialisées, normes sociales, évaluation, gouvernance, pratiques agricoles, herbicides, viticulture, acceptabilité



EN QUELQUES MOTS

Le projet COUD'POUCE mobilise les outils de l'économie publique et de l'économie comportementale pour d'une part évaluer la pertinence et l'impact réel des mesures agro-environnementales territorialisées de réduction des pesticides, et d'autre part proposer et analyser des designs de contrats alternatifs, plus efficaces et susceptibles d'entraîner une adhésion forte des agriculteurs. Le projet étudie aussi la façon dont les programmes d'action dans les aires d'alimentation de captage (AAC) sont perçus par les agriculteurs et s'inscrivent dans la gouvernance territoriale pour impulser des évolutions durables des pratiques de recours aux pesticides.



CONTEXTE ET OBJECTIF

Les principaux outils mobilisables pour lutter contre la pollution diffuse dans les AAC et les bassins versants prioritaires sont les programmes d'action non agricoles et agricoles, ces derniers s'appuyant, entre autres, sur les mesures agro-environnementales territorialisées (MAET). Les analyses passées soulignent la faible adoption des MAET de réduction de pesticides, les doutes soulevés quant à leur réelle efficacité, ainsi que les situations conflictuelles dans lesquelles s'enlisent de nombreux programmes d'action. Les évolutions de comportement en matière d'usage de pesticides (Figure 1) peinent à s'installer et à se pérenniser. La réforme de la politique agricole commune (PAC) pour la période 2014-2020, ainsi que la première échéance de la directive-cadre sur l'eau (DCE) (2015), renforcent le besoin de (i) se doter d'outils méthodologiques pour évaluer l'impact des contrats agro-environnementaux sur les pratiques des agriculteurs ; (ii) mieux comprendre les freins et les leviers de l'action territoriale pour la réduction des pesticides ; (iii) repenser les modèles d'intervention publique (en particulier les MAE).

Le projet analyse comment les biais comportementaux peuvent limiter ou renforcer la portée des outils d'intervention publique destinés à inciter les agriculteurs à adopter des pratiques plus économes en pesticides. La compréhension fine des effets de comportement est mobilisée pour proposer des dispositifs innovants, visant à renforcer l'efficacité de l'action publique, à améliorer son acceptabilité et à mieux évaluer et communiquer sur ses effets.



MÉTHODES

Le projet COUD'POUCE est fondé sur l'économie comportementale tout en associant aussi la sociologie et le droit. Il est structuré autour de trois axes de travail :

- Le premier axe est un bilan des MAET de réduction des pesticides. Il développe deux approches : (i) une enquête qualitative recueillant les avis des agriculteurs et des animateurs/agents de l'Etat, sur les MAET existantes ; (ii) une analyse quantitative des effets des MAET



Désherbage des vignes un rang sur deux (© Sophie Thoyer)



Parcelle de vignes non dés herbée (© Sophie Thoyer)



Désherbage chimique des vignes (© Sophie Thoyer)

Figure 1 : Trois formes de dés herbage des parcelles de vignes.

sur les changements de pratique des agriculteurs en reconstituant la situation contrefactuelle (quelles auraient été les pratiques en l'absence de contractualisation) par une méthode « d'expérience naturelle ».

- Le deuxième axe s'appuie sur ce bilan pour proposer des designs alternatifs de contrats agro-environnementaux susceptibles d'améliorer la contractualisation. Trois types de méthodes sont mobilisés : (i) une méthode de modélisation des choix, par une enquête de préférence déclarée, qui permet de mesurer l'intérêt des agriculteurs pour des dispositifs incitatifs renforçant l'engagement collectif ; (ii) l'économie expérimentale, en laboratoire avec des étudiants, et sur le terrain avec des agriculteurs, pour tester l'efficacité générique de ces dispositifs ; (iii) une méthode de recherche-action consistant à participer à la mise en place d'un dispositif innovant pilote pour suivre et évaluer l'efficacité de ce dispositif et proposer des améliorations.
- Le troisième axe élargit l'analyse à l'ensemble des acteurs impliqués dans la construction des programmes d'action sur les AAC: il s'appuie sur des études de cas contrastées d'AAC dans différentes régions en France pour identifier les conditions d'émergence d'une norme locale de pratiques moins utilisatrices de pesticides.



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Premier axe : L'enquête nationale sur le bilan des MAET a été conduite de février à mai 2013, en concertation étroite avec le Bureau des actions territoriales et agro-environnementale (BATA) du Ministère de l'Agriculture. Elle a donné lieu à des restitutions auprès du groupe de travail interministériel sur l'élaboration du cadrage national des MAET pour la programmation 2014-2020, à un document de synthèse de 4 pages diffusable auprès des Directions régionales de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (DRAAF), et à une base de données riche de 700 réponses et mobilisée par des évaluateurs privés ou publics. La méthode des effets de traitement, permettant de mesurer la contribution de la contractualisation à la réduction de l'Indice de fréquence de traitement (IFT), a été testée sur un échantillon de 130 viticulteurs en Languedoc-Roussillon. Il a ainsi été démontré que l'effet moyen de la contractualisation des mesures Phyto 4 et Phyto 10 (réduction de l'usage des désherbants chimiques) en 2011 était une réduction de 42% de l'IFT herbicide. Cette première étape a également permis de valider une méthode de suivi-évaluation des MAET qui sera formalisée dans la deuxième partie du projet.

Deuxième axe : Plusieurs types de contrats innovants ont été analysés. Une enquête de modélisation des choix conduite avec les chambres d'agriculture du Languedoc-Roussillon, avec 310 répondants-viticulteurs, a permis de démontrer l'intérêt de certaines catégories de viticulteurs pour des dispositifs de bonus conditionnel valorisant leur engagement collectif à l'échelle d'un territoire (Figure 2). La suite du projet permettra de continuer à explorer l'intérêt des contrats présentant une dimension collective par de l'économie expérimentale et des enquêtes sur des terrains où des expériences innovantes se mettent en place.

Par ailleurs, une expérience pilote de mise en place d'appels à projets agro-environnementaux a été suivie, en collaboration étroite avec le service agriculture de l'Agence de l'eau Artois-Picardie : les résultats obtenus sur les 4 années d'expérimentation ont été évalués et une enquête auprès de l'ensemble des agriculteurs ayant participé à cet appel à projets va être engagée pour la deuxième période du projet, afin d'analyser leurs motivations et faire des recommandations d'amélioration.

Troisième axe : Une analyse historique de la mise en place de programmes d'action dans trois AAC en Languedoc-Roussillon a été conduite ; elle montre l'importance de l'animation et de l'implication des élus dans le succès du dispositif. Une deuxième série d'études de cas sera réalisée durant l'été 2014, et étendue à la Région Midi-Pyrénées.

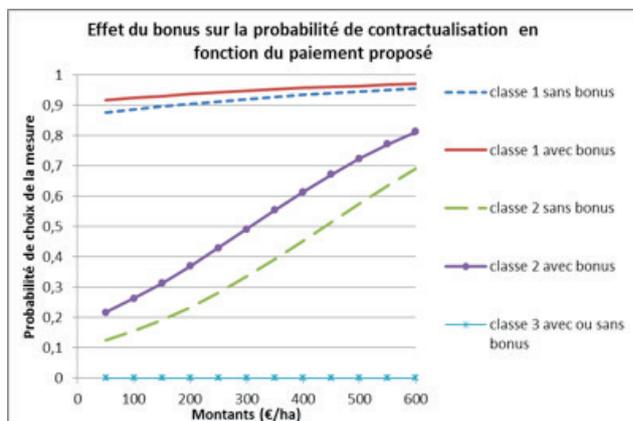


Figure 2 : Effet du bonus sur la probabilité de contractualisation en fonction du paiement proposé (1: agriculteurs «convaincus» ; 2: agriculteurs «sceptiques» ; 3: agriculteurs «irréductibles»).



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

- Bilan des MAET et base de données mobilisable pour l'évaluation *ex-post* du programme de développement rural hexagonal (PDRH) et par ceux qui mettent en œuvre les volets agro-environnementaux des plans de développement rural régionaux (PDRR).
- Propositions pour des contrats collectifs valorisant l'engagement collectif – Evaluation de l'intérêt des enchères agro-environnementales.
- Nombreuses communications auprès des acteurs locaux impliqués dans les MAET et collaboration suivie avec les services des Ministères en charge de l'Agriculture et de l'Ecologie.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

- Une thèse en cours sur action collective et normes sociales dans les AAC.
- Trois articles en cours de soumission.
- Trois mémoires de recherche ou rapports de stage en 2014.
- Une enquête menée auprès de 50 à 70 agriculteurs en zone AAC pour évaluer les biais comportementaux liés à l'usage des pesticides.
- Des expériences de laboratoire et de terrain sur l'impact des normes sociales sur les choix d'usage des pesticides.



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Kuhfuss L., Jacquet F., Préget R., Thoyer S. (2012) Le dispositif des MAET pour l'enjeu eau : une fausse bonne idée ? *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement/Review of Agricultural and Environmental Studies*, 93: 395–421.
- Kuhfuss L., Préget R., Thoyer S. (2014). Préférences individuelles et incitations collectives : quels contrats agroenvironnementaux pour la réduction des herbicides par les viticulteurs ? *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement/Review of Agricultural and Environmental Studies*, 95: 111-143.

COLLOQUES

- Séminaire Ecoprod –INRA SAE2 « Changements de pratiques et adoption de nouvelles technologies par les agriculteurs », 18-19 septembre 2012, Montpellier, France
- 6èmes Journées de Recherche en Sciences Sociales INRA – SFER - CIRAD, 13-14 Décembre, 2012, Toulouse School of Economics Toulouse, France
- International Workshop “Mechanism Design and the Environment”, 8-9 May 2013, Royal Society of Edinburgh, Scotland
- 5th EAAE PhD Workshop, 29-31 May 2013, Leuven, Belgique
- European Association of Environmental and Resource Economists (EAERE),

20th Annual Conference, 26-29 June, 2013, Toulouse.

- 7èmes Journées de Recherche en Sciences Sociales INRA – SFER - CIRAD, 12-13 Décembre 2013, Angers.
- 6e Journées Scientifiques de la Vigne et du Vin, 15-16 mai 2013, Montpellier.

THÈSES

- Kuhfuss L. (2014) Contrats agro-environnementaux : évaluation et dispositifs innovants en France ». Soutenance prévue le 20/12/2014.
- Le Coënt P. Allocation et design de contrats agro-environnementaux ». Thèse démarrée le 01/10/2013.

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Encadrement de stagiaires en fin de cursus ingénieur agronome et en master 2 :
 - Le Coënt P. « Collective agri-environmental contracts. Efficiency and effectiveness », Mémoire de recherche M2R A2D2 (Agriculture Alimentation et Développement durable, Montpellier Supagro), 82p, sept. 2013.
 - Michaud A. « Analyse du dispositif MAEt », Mémoire de fin d'études d'ingénieur de spécialisation ISAAM (Bac+6, Montpellier Supagro), 72p, sept. 2013.
 - Richard J. « Gouvernance et changements de pratiques dans les aires d'alimentation de captages », Mémoire de Master 2, Droit et gestion de l'environnement et du développement durable, Université de Montpellier I, 127p, sept. 2013.

EXPERTISES

- Participation à l' « Etude de faisabilité des Engagements Unitaires à IFT modifié », menée par Solagro, rapport final, 185p, juillet 2013.
- Partenaires du projet Val-Terr, mené par le bureau d'étude Envilys, sur la pérennisation des actions agro-environnementales dans les territoires à enjeu eau, financement Aide à l'Innovation de la Région L-R.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

- Kuhfuss L., Menu M.-F., Préget R., Thoyer S. (2012) Une alternative originale pour l'allocation de contrats agro-environnementaux : l'appel à projets de l'Agence de l'eau Artois – Picardie. POUR, Revue du groupe de recherche pour l'éducation et la prospective, 213, 97-111.
- Kuhfuss L., Préget R., Thoyer S. (2014) Quels contrats agro-environnementaux pour réduire les herbicides en viticulture ? Résultats d'une enquête en Languedoc-Roussillon. Le Progrès Agricole et Viticole (Actes des 6e journées scientifiques de la Vigne et du Vin) (à paraître).
- Synthèse 4 pages – à diffuser via le BATA : « Bilan de la mise en oeuvre des MAET en France (2007-2012) Synthèse des résultats d'une enquête nationale menée en 2013 » 4p.

PRÉSENTATIONS À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- 8 octobre 2012 : Présentation des résultats de l'enquête sur le bonus collectif aux chambres d'agriculture du Languedoc-Roussillon, Montpellier.
- 21 juin 2013 : Présentation des résultats de l'enquête nationale sur les MAET au séminaire de Villarceaux organisé par le BATA (Ministère de l'Agriculture).
- 22 juin 2013 : Présentation de la synthèse de l'enquête pour la région Poitou Charentes, séminaire organisé par la Draaf Poitou-Charentes pour les partenaires régionaux des programmes agro-environnementaux, Poitiers.
- 25 octobre 2013 : Présentation des résultats préliminaires de Coud'Pouce au séminaire final du projet POPS (ANR), FIAP Jean Monnet, Paris.
- 17 mars 2014 : Présentation du projet Coud'Pouce à la réunion des animateurs de programmes agro-environnementaux à enjeu eau du Languedoc-Roussillon (La Redorte, Aude).

AUTRES

- Base de données de deux enquêtes nationales sur le bilan des MAET (2007-2013) et les perspectives d'évolution :
 - Enquête agriculteurs : 763 répondants.
 - Enquête animateurs et agents de l'Etat : 259 répondants – Base de données ou extractions de résultats fournis sur demande.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Philippe BILLET
 phbillet_sfde@yahoo.fr
 UNIVERSITÉ DE LYON 3
 Institut de droit de l'environnement

PARTENAIRES

CNRS - UNIVERSITÉ DE RENNES 1
 Institut de l'Ouest: Droit et Europe (IODE)

UNIVERSITÉ LYON 3
 Institut de recherches philosophiques

APPROCHES JURIDIQUES DES PROTECTIONS ALTERNATIVES CONTRE LES ENNEMIS DES CULTURES

2013 - 2015

MOTS-CLÉS

Produits phytosanitaires, alternatives, droit de l'environnement, droit rural, alternative biologique, alternative mécanique

EN QUELQUES MOTS

L'objectif du projet Alterphyto est de mieux comprendre les impératifs et modalités de la définition d'une réglementation spécifique aux produits et techniques alternatifs aux produits phytosanitaires (préparations naturelles peu préoccupantes, techniques mécaniques, prédateurs par insectes auxiliaires... Figure 1), en vue de la mise en place d'une réglementation adaptée, à même d'en assurer l'efficacité de la mise en œuvre. L'étude consiste à analyser les modalités juridiques de promotion et de mise en œuvre des modes alternatifs de protection des cultures.



Figure 1 : Produits et techniques alternatifs aux produits phytosanitaires : piqûre d'*Aphidius matricariae* sur puceron (© Jacques Gambier), coccinelle (*Cryptolaemus montrouzieri*) prédatrice de cochenilles (*Pseudococcines*) (© Gabriel Iperti, INRA), piège à phéromones (© Charles Descoins, INRA).

CONTEXTE ET OBJECTIF

Il s'agit, dans le contexte du plan Écophyto, en vue de favoriser le recours aux alternatives aux pesticides :

- d'analyser les modalités juridiques de la mise en œuvre des modes alternatifs de protection des cultures ;
- de s'interroger sur la place réservée aux alternatives dans les autorisations de mise sur le marché (AMM) ;
- d'effectuer une évaluation environnementale pour justifier une alternative écologique, consistant à imposer une pesée globale des intérêts en jeu sur le fondement de la théorie du bilan coûts/avantages (sans négliger aucun des intérêts en jeu, dont notamment les services écosystémiques perturbés) ;
- d'identifier les incohérences du droit existant et donner des pistes pour un nouveau droit favorable à des pratiques alternatives ;
- d'identifier les différentes pistes d'intervention juridique : régulation, interdiction, promotion et contractualisation.



MÉTHODES

La recherche s'appuie sur les compétences des équipes de juristes spécialistes en droit rural et en droit de l'environnement et de l'équipe de philosophes, avec une dominante "éthique et développement durable". Il n'y a pas, volontairement, d'association formelle à d'autres disciplines (exception faite d'un docteur vétérinaire/contrôleur sanitaire) pour ne pas perdre l'unité de la réflexion et éviter une intégration trop artificielle. La conduite du projet repose sur la confrontation des hypothèses développées, dans le cadre de séminaires communs fermés associant d'autres disciplines intéressées afin de confronter les études et hypothèses des juristes et philosophes avec les autres sciences (biologistes, agronomes, pédologues, sociologues, écologues, chimistes, géographes, économistes). Il s'agit principalement d'envisager le droit comme force de promotion des techniques alternatives au lieu de le contenir dans un statut de frein, imposant de revisiter sous cet angle tous les textes afin de voir dans quelles mesures le régime des produits phytosanitaires crée une situation de quasi-monopole et d'interdiction d'usage des alternatives et comment il est possible de lever les obstacles à leur usage. Le droit est-il simplement un instrument d'accompagnement d'autres politiques (incitations conventionnelles, financières...) ou peut-il constituer un instrument à part entière, déterminant d'un changement des usages ?

Elle mobilise les techniques de recherche propres aux juristes, à savoir recherche et analyse :

- des textes légaux et réglementaires (analyse critique de la réglementation nationale et de l'Union européenne, en confrontant les motifs de l'adoption des textes, les modalités de leur mise en œuvre et les résultats obtenus ; recherche historique pour analyser et comprendre la façon dont le droit a perçu l'émergence de ces alternatives puis les a formalisées) ;
- de la doctrine universitaire et administrative (recension des articles rédigés sur les thématiques du projet, avec mise en exergue des critiques et des solutions proposées ; inventaire et analyse des rapports officiels et des circulaires, qui expliquent les textes en vigueur et émettent des recommandations sur leur mise en œuvre, en insistant particulièrement sur les rapports parlementaires) ;
- de la jurisprudence (recension et analyse des décisions de justice rendues tant sur la légalité des autorisations de mise sur le marché que sur les conditions d'application des produits avec leurs conséquences en termes de santé des utilisateurs, ou les condamnations pour commercialisation de produits alternatifs non autorisés formellement, recension et analyse des commentaires de ces décisions).



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Une première étude, « Les acteurs concernés par les pesticides et leurs alternatives en matière agricole » (A. Pomade, mai 2014, 64 p.), s'est attachée à identifier les personnes concernées par les produits phytosanitaires afin de déterminer leur rôle effectif ou possible dans le choix des moyens alternatifs, tant en ce qui concerne leur utilisation, leur exploitation et leur développement. Plusieurs questionnements constituent l'axe de cette recherche : les victimes des pesticides, tout d'abord, conduisent à s'interroger sur la convergence du droit positif, de la jurisprudence et des études scientifiques en ce qui concerne leur identification, leur rôle et leur poids dans l'action publique. Les promoteurs des alternatives aux pesticides ensuite questionnent, non pas sur leur motivation, difficilement palpable en droit, mais sur les alternatives proposées et leur confrontation avec le droit positif. Cette étude met en évidence le rôle d'abord restreint puis de plus en plus actif de ces victimes (tiers comme utilisateurs), leur délaissement initial par les pouvoirs publics puis leur prise en considération qui va conduire à une prise de conscience des risques liés aux pesticides et à une évolution de la réglementation (embryonnaire, mais réelle). Elle fait des acteurs concernés par les pesticides la pierre angulaire des voies d'action en faveur des alternatives non chimiques en dehors du domaine agricole (action volontaire des acteurs concernés et protection des acteurs exposés).

Une deuxième étude, « Substitution par les auxiliaires naturels » (Ph. Billet, février 2014, 14 p.), présente une analyse du régime juridique de la détention et de l'emploi des prédateurs naturels de certains ennemis des cultures. Elle met en évidence les contraintes juridiques qui pèsent sur ce mode alternatif et les difficultés du contrôle de son emploi et de limitation des risques associés.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

- Accompagnement des parties prenantes du processus décisionnel en matière de produits phytosanitaires et méthodes alternatives, pour mieux mesurer et intégrer les enjeux environnementaux, ainsi que les attentes du secteur agricole et de la société civile : il s'agit, par le biais de publications universitaires, de participations à des colloques et des séminaires, de fonder des argumentaires à même de justifier l'évolution de la réglementation.

- Proposition des clefs d'une réglementation adaptée: il ne s'agit pas tant de rédiger des propositions de réglementation que de mettre en évidence les motifs d'une révision de la réglementation existante et les principes qui doivent être pris en compte en vue de son évolution en faveur des techniques alternatives.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Recherches parallèles :

- Stage Master 2 dans le cadre du Labex IMU (5 mois) : « Approche spatiale des expositions aux pesticides dans l'air : quelle prise en compte des risques en santé publique et environnement dans les documents et autorisations d'urbanisme ? » (en cours).
- Expora II : EXposition des POpulations aux pesticides et Risques en santé environnement par voie aérienne : espaces, milieux et aménagements en Rhône-Alpes (partenariat Environnement-Ville-Société - UMR 5600 / Institut de droit de l'environnement – Ecole des Hautes études en santé publique de Rennes) (en cours).



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Billet Ph. (2013) Le ciel est bleu, la mer est verte... Environnement et DD, août-sept. Focus n° 147.
- Billet Ph. (2014) Bio v. Phyto, ou l'agriculture biologique à l'épreuve des traitements obligatoires. Environnement et DD, avr., Focus n° 36.

COLLOQUES

- Billet Ph. (2014) Table ronde du colloque « Gestion et protection des ressources en eau potable », Ecole nationale supérieure Vétérinaire et Sciences Po, 26 mars 2014.
- Billet Ph. (2014) Le régime juridique des services écosystémiques rendus par les pollinisateurs. In « Comment articuler les Paiements pour Services Environnementaux aux autres instruments politiques et économiques, dans les pays du Sud et du Nord ? », Atelier International Pesmex Montpellier, 11-13 juin 2014.
- Billet Ph. (2013) Les alternatives aux pesticides, regards croisés. Séminaire organisé par A. Langlais (IODE) : 18 déc. 2013, Station biologique de Paimpont (rencontre entre juristes, biologistes et géographes).

THÈSE

- Thevenot G. La construction d'une agriculture et d'une alimentation durable: le rôle du droit. L'exemple de la protection phytosanitaire. Thèse dir. I. Doussan, Nice (soutenance prévue fin 2014).

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Billet Ph. Cours de Droit des produits phytosanitaires, dans le cadre d'un cours de droit des risques (M2 Risque et environnement et M2 Droit de l'environnement- 2013 et 2014).

AUTRE

- Valorisation des premiers résultats dans le cadre du projet de recherche « Propolis » : Protection des organismes pollinisateurs et des populations face aux incidences sanitaires et écologiques (financement Plateforme Environnement et santé Rhône-Alpes Envitéra) (réalisation Institut de droit de l'environnement – Ecole des Hautes études en santé publique de Rennes), Mai 2013.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Paul **OLRY**
 p.olry@agrosupdijon.fr
 AGROSUP DIJON
 Unité Développement Professionnel et Formation

PARTENAIRES

ENFA-TOULOUSE - UNIVERSITÉ DU MIRAIL
 UMR Education, Formation, Travail, Savoirs
 (EFTS)

SUPAGRO MONTPELLIER

**VERS UN ENSEIGNEMENT DE SAVOIRS AGRONOMIQUES
 DE RÉFÉRENCE, OPÉRATOIRE POUR DES PRATIQUES
 AGRICOLES COMPATIBLES AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO**

2012 - 2015

 **MOTS-CLÉS**

Didactique, questions socialement vives, agronomie, formation initiale professionnelle, stages

 **EN QUELQUES MOTS**

Les savoirs scientifiques concernant les alternatives agro-écologiques en production végétale grandes cultures sont en voie de stabilisation. Leur traduction / diffusion pose de nouveaux problèmes de mise à portée de ces savoirs et des raisonnements qui les mobilisent : comment sont-ils discutés, questionnés à l'occasion des formations ? Comment les formaliser, les organiser pour mieux les transmettre (c'est-à-dire les didactiser) ? Les exploitations agricoles des établissements d'enseignement, le public des enseignants et des élèves en stage sont les cibles des tâches conduites au cours du projet DidacPhyto.

 **CONTEXTE ET OBJECTIF**

Se situant dans une période de redistribution et de reconstruction des pratiques sociales de référence en agriculture, un des intérêts du projet est d'identifier :

- d'une part, les savoirs pratiques et opératoires développés par l'expérience, et en particulier ceux qui sont inclus dans les pratiques, qui ne se s'énoncent pas comme des concepts scientifiques ;
- d'autre part, les pratiques innovantes des agriculteurs et des enseignants pouvant être modélisées et capitalisées pour l'enseignement.

Le but est d'identifier les contenus et les situations d'enseignement favorisant une évolution des pratiques agricoles. Les actions engagées portent sur :

- une analyse de l'évolution de la controverse sur l'usage des produits phytosanitaires, à partir d'une enquête socio-épistémologique ;
- une description analytique du savoir prescrit dans les nouveaux programmes d'agronomie des futurs BTS Analyse Globale de l'Exploitation Agricole et Bac Pro Gestion des Exploitations Agricoles pour identifier ce qui change dans l'enseignement de la réduction des produits phytosanitaires ;
- l'analyse des savoirs d'action d'agriculteurs et de directeurs d'exploitations agricoles dans la visée de les intégrer au savoir agronomique de référence et dans les pratiques d'enseignement ;
- l'analyse de l'évolution des représentations d'élèves après un enseignement, lors des stages en exploitation agricole, avec pour objectif de comprendre ce qui contribue à construire les pratiques phytosanitaires.

Le cadre d'analyse d'ensemble est celui d'une didactique saisie dans ses outils existants ou à concevoir, selon des conditions favorables à l'acquisition de compétences professionnelles.

 **MÉTHODES**

La méthodologie articule plusieurs étapes :

- une analyse bibliographique relative à la didactique des sciences et des savoirs technologiques (Prévoist, Martinand, 2012) ;
- une analyse des logiques d'engagement propres aux questions controversées du changement agro-écologique en particulier les savoirs, les risques perçus et les postures épistémologiques, dans les

programmes de formation diplômante de l'enseignement agricole. La méthodologie consiste dans l'élaboration d'une cartographie des controverses et l'analyse de ces dernières (Cancian, Simmoneaux, 2014) ;

- une enquête qualitative par entretiens semi-directifs auprès d'élèves (Bac Pro Conduite et gestion de l'exploitation agricole - CGEA) en situation de stage, étudiant le recours qu'ils font aux savoirs qu'on leur enseigne, dans la réalisation des tâches qui leur sont confiées dans l'exploitation. Ces entretiens permettent d'identifier des situations qui seront à observer dans un second temps (2014-2015). Par la suite, les méthodes d'observations, d'instruction au sosie, suivies de confrontations croisées (méthodes usitées en ergonomie) seront mobilisées.

Les traitements des données sont majoritairement qualitatifs : dans un premier temps, ils mobilisent des techniques d'analyse documentaire, puis d'analyse de contenus des entretiens semi-directifs, visant à repérer des systèmes de représentations des professeurs et élèves quant aux savoirs enseignables/enseignés désignés comme relevant de l'agro-écologie ; les observations et leurs verbalisations associées seront codées et traitées selon la méthode prédicat/argument. Le prédicat décrit l'activité ; l'argument peut décrire le contexte, le but. L'activité des agriculteurs (et de stagiaires) est codée sous la forme de séquences de prédicats, qui peuvent à leur tour être classées dans des classes d'activité (recherche d'information, interprétation, planification, gestion des risques, planification, etc.). Le traitement de ces données (si l'échantillon s'y prête) est ensuite statistique.



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Il est encore prématuré, compte tenu de la date de démarrage du projet (janvier 2013), de parler de résultats intermédiaires. Toutefois, les résultats pressentis concernent l'orientation des pratiques pédagogiques dans les établissements publics locaux d'enseignement agricole (EPLA), ainsi que l'abondement des préconisations pour la mise en œuvre des référentiels. A ce stade, seules quelques observations sont présentables, en espérant leur consolidation rapide.

Le premier constat qui peut être établi est celui de la déconnexion des agendas, entre l'appropriation des résultats de la recherche et les attentes d'un enseignement « prêt à dispenser » que provoque le plan « apprendre à produire autrement » dans l'enseignement agricole. Or, de nombreuses tentatives sont déjà mises en place en ce qui concerne la transmission de savoirs agro-écologiques, comme en témoigne le colloque de SupAgro Florac en juillet 2014 sur ce thème. Ainsi, l'agenda du transfert de savoirs est sur un rythme plus lent que celui des attentes du système d'enseignement, dont les expérimentations locales sont seulement mises à l'étude par le présent projet.

Le deuxième constat porte sur la nécessaire conception d'un dispositif conjoint entre enseignement et développement agricole. En effet, un enseignement soucieux des principes et démarches agro-écologiques ne peut rivaliser avec une approche plus conventionnelle (portée par des techniciens agricoles) touchant les parents des élèves auxquels sont enseignés d'autres connaissances. Il semble ne pas y avoir d'approches concertées et abouties à ce jour, sinon qu'une réflexion apparaît plus que nécessaire sur la formation à des approches alternatives si celles-ci concernent aussi le monde de l'enseignement.

Le troisième et dernier constat porte sur la relative fragilité des notions et concepts utilisés, du point de vue du savoir à enseigner. En effet, tout enseignement répond à un programme, établi sur des buts partagés. Or, le statut et la fonction de termes présentés parfois comme des concepts, parfois comme des notions (par ex. agro-écologie), ne facilitent pas la conception de séquences d'enseignement, tant ils semblent plutôt relever de questions socialement vives.

Bien qu'encore peu solides à ce stade du projet, ces trois constats seront mis à l'épreuve dans les mois à venir.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Les perspectives de transfert sont anticipées au travers de trois participations aux projets CASDAR Stratégie (« Produire autrement avec les démarches stratégiques dans le conseil et la formation agricoles »), CHANGER (« Echanger sur le métier de conseiller : pour accompagner plus efficacement les agriculteurs dans le changement en productions végétales ») et au réseau mixte technologique (RMT) « Systèmes de culture Innovants », action 4 (2014-2018) :

- le premier projet concerne la réflexion stratégique des exploitations des EPLA ;
- le deuxième concerne l'accompagnement de dispositifs de transmission entre pairs des pratiques de conseil agro-économiques en intrants ;
- le troisième vise spécifiquement les enseignants d'agronomie des lycées agricoles dans la prise en compte des enjeux agro-environnementaux.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Sur les trois plans :

- une analyse critique des savoirs de référence relatifs à l'agro-écologie en lien à une approche par l'étude des controverses travaillées en situation ;
- une perspective de recherche sur l'analyse des curriculums, ainsi que celle des transpositions didactiques à opérer et formaliser dans les programmes et référentiels, intégrant des innovations agronomiques et des innovations pédagogiques produites sur les terrains ;
- un programme de recherche sur la construction des relations de tutelle pour des apprentissages de savoirs professionnels en situations d'incertitude.



Un tour de plaine « à froid », la discussion des références (© Paul Olry).



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Simonneaux L., Cancian N. (2013) Enseigner pour produire autrement : l'exemple de la réduction des pesticides. *Pour*, 219: 115-129.
- Cancian N., Simonneaux L. (2014). Des cartographies de la controverse sur l'usage des pesticides : un préalable à la révélation d'indicateurs des points de vue d'enseignants en agronomie et d'élèves en bac pro CGEA et en BTS APV. *Les Cahiers d'Esquisse*, 5: 94-101.
- Auricoste, C.; Cerf, M.; M.; Doré, T.; Olry, P. (2013). Accompagner le changement de pratiques des conseillers agricoles en mobilisant un dispositif de conception-évaluation de formation : l'exemple de la formation Conseiller demain en agronomie. *AES*, 3 (2): 93-100.
- Guillot, M-N ; Cerf, M. ; Petit, M-S, Olry, P.& Omon , B., (2013). Développer les capacités des conseillers à agir en grande culture. *Economie Rurale*, 337: 59-74.
- Métral, J-F. & Olry, P. (2013). Un stage formateur : pour qui? Pour quoi? In V. De Briant et D. Glayman. *Le stage : formation ou exploitation ?* Rennes : Presses Universitaires.

COLLOQUES

- Prévost P., Martinand J-L. (2012) L'agronomie, une discipline d'enseignement technologique à enjeux didactiques. Communication au colloque de l'AMSE, 3-5 juin, Reims.
- Métral J-F. (2014). Les représentations de la progressivité en agronomie. Colloque RPDP, Caen.

THÈSES

- Cancian N. Réduction de l'usage des pesticides et modélisation du raisonnement agro-écologique socio-économique: appuis et obstacles à l'enseigner à produire autrement. Thèse ENFA, UMR EFTS, Université de Toulouse 2 (débutée en 2010).
- Marie-Noëlle Guillot. L'accompagnement par la formation des conseillers de chambre engagés dans le conseil à la double performance. Thèse AgroSup Dijon, Université de Bourgogne (débutée en 2010).

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Formation Résolia-AgroParistech Parcours « Conseiller demain en agronomie », Spécialisation cultures assolées.

ARTICLES DE VALORISATION / VULGARISATION

- Cerf M., Olry P. & al. (2012). Les métiers d'agent de développement agricole en débat : comment accompagner des agriculteurs qui changent leurs façons de cultiver en grandes cultures ? Innovations agronomiques 20, 101-121.
- Olry P. (2013). Un chantier de développement des compétences des conseillers agricoles dans l'accompagnement des transitions agro-environnementales. POUR, n°219, 95-119.

SESSION 4

PRISE EN COMPTE DES TRANSFERTS DE PESTICIDES DANS LES DIFFÉRENTS COMPARTIMENTS DE L'ENVIRONNEMENT



MIRIPHYQUE - Mise au point de descripteurs du risque de contamination des eaux de surface par les phytosanitaires à l'échelle du bassin versant (APR 2009)
Nadia CARLUER, Irstea Lyon-Villeurbanne



MODAPEX - Modélisation de la dispersion aérienne des pesticides et des niveaux d'exposition à l'échelle du paysage (APR 2009)
Yves BRUNET, INRA Villenave d'Ornon



ECoPESt - Evaluation et comparaison des performances environnementales de systèmes de culture innovants conçus pour réduire l'usage des pesticides (APR 2011)
Laure MAMY, INRA Versailles

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Nadia **CARLUER**
nadia.carluer@irstea.fr
IRSTEA LYON-VILLEURBANNE
UR Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions

PARTENAIRES

IRSTEA - AGROPARISTECH -
CIRAD MONTPELLIER
UMR Territoires, environnement, télédétection
et information spatiale (TETIS)

IRSTEA CLERMONT-FERRAND
UR Technologies et systèmes d'information
pour les agrosystèmes (TSCF)

INRA - AGROPARISTECH GRIGNON
UMR Environnement et Grandes Cultures
(EGC)

INRA - AGRO CAMPUS RENNES
UMR Sol Agro et hydrosystèmes
Spatialisation (SAS)

ARVALIS INSTITUT DU VÉGÉTAL

UNION DES INDUSTRIES DE PROTECTION
DES PLANTES (UIPP)

MISE AU POINT DE DESCRIPTEURS DU RISQUE DE CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE PAR LES PHYTOSANITAIRES À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT. PRISE EN COMPTE DES DIMENSIONS SPATIALES ET TEMPORELLES. APPUI À L'ÉVALUATION ET À LA GESTION DU RISQUE

2009 - 2014



MOTS-CLÉS

Modélisation, indicateur, bassin versant, zones tampons, dynamique temporelle, distribution spatiale, indicateur biologique, base de données, entrepôts de données



EN QUELQUES MOTS

Le projet cherche à construire une méthode d'évaluation du potentiel de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires à l'échelle du petit bassin versant (BV), qui inclue les dimensions spatiales et temporelles. L'idée centrale est d'agréger à l'échelle du BV les flux de phytosanitaires modélisés à l'échelle de la parcelle, en intégrant l'influence des éléments du paysage sur les flux transférés, pour aboutir à des descripteurs statistiques du risque de contamination à l'exutoire. Les travaux ont été menés sur deux petits BV où les données sont nombreuses mais de qualité variable. L'objectif à terme est d'appliquer la méthode développée à des bassins plus vastes.



CONTEXTE ET OBJECTIF

La directive cadre sur l'eau (DCE) requiert d'atteindre le « bon état » des masses d'eau avant 2015 et impose donc la mise en œuvre d'actions pertinentes en termes de diagnostic des causes et de réduction de la contamination. L'Etat français s'est doté d'outils pour respecter la directive ; le plan Écophyto est l'un de ces outils. Il prévoit le développement d'indicateurs de risque permettant d'évaluer la réduction de l'impact des produits phytosanitaires sur les différents compartiments de l'environnement et sur la santé. En parallèle au développement d'indicateurs pour quantifier la réduction des usages, qui constitue l'objectif phare du plan, la mise au point de méthodes permettant de caractériser le risque de contamination de la ressource en eau induit par les transferts de pesticides est donc nécessaire. C'est l'objectif du projet Miriphyque, qui cherche à développer une méthode d'évaluation du risque de contamination des eaux de surface à l'échelle du petit bassin versant. Il tente de surmonter les limites souvent rencontrées dans la mise en œuvre des indicateurs, qui par nature rendent difficilement compte des interactions spatiales et temporelles des processus sur un bassin versant, sans que la méthode mise au point ait la complexité d'un modèle complet de devenir des pesticides à l'échelle du BV. L'accent est notamment mis sur la prise en compte des éléments du paysage, fossés, routes, talus... susceptibles d'influencer significativement le devenir des pesticides entre la parcelle et le réseau hydrographique.



MÉTHODES

Le projet est structuré en trois axes :

1/ La modélisation aux différentes échelles d'intérêt :

- (i) à l'échelle locale des éléments du paysage, parcelle ou aménagement ;
- (ii) à l'échelle du BV, pour transférer les flux simulés localement d'une façon réaliste, intégrant l'influence de l'organisation spatiale du BV.

Cette modélisation s'appuie sur les modèles MACRO à l'échelle de la parcelle, VFSSMOD pour les zones tampons végétalisées et CMF (Catchment Modelling Framework) pour le routage à l'échelle du BV. Une réflexion approfondie a été menée sur les paramètres et les scénarios (climatiques et de traitements phytosanitaires) à utiliser, ainsi que sur l'intérêt de données supplémentaires acquises sur les sols d'un BV.

2/ L'organisation des données disponibles sur le BV au sein d'un Système d'Information Environnementale (SIE) et des chroniques simulées dans un entrepôt de données spatio-temporelles. Cette étape a supposé d'élaborer une méthode pour découper le BV en éléments surfaciques et tronçons élémentaires homogènes (Figure 1) pour les caractéristiques influentes. Les connexions topologiques entre éléments ont été déterminées pour pouvoir représenter les échanges de flux. Le stockage des chroniques simulées dans les entrepôts facilite par ailleurs leur remobilisation pour le passage à l'échelle du BV.

3/ L'agrégation des résultats de modélisation acquis à l'échelle locale pour atteindre celle du BV ; l'analyse statistique des résultats obtenus, à l'échelle des éléments du paysage puis du bassin, pour un grand nombre de scénarios. Cette étape a permis de juger de la sensibilité des modèles, tant aux données qu'à leur variabilité spatiale et temporelle (climat, traitements phytosanitaires), et d'élaborer un descripteur du risque de contamination à l'échelle du BV, du type Concentration-Durée-Fréquence. Les travaux ont porté sur deux petits BV aux caractéristiques contrastées (Bretagne et Beaujolais), afin de juger de la capacité de l'outil obtenu à rendre compte des variations interannuelles du risque de contamination dans des contextes agro-pédo-climatiques variés.

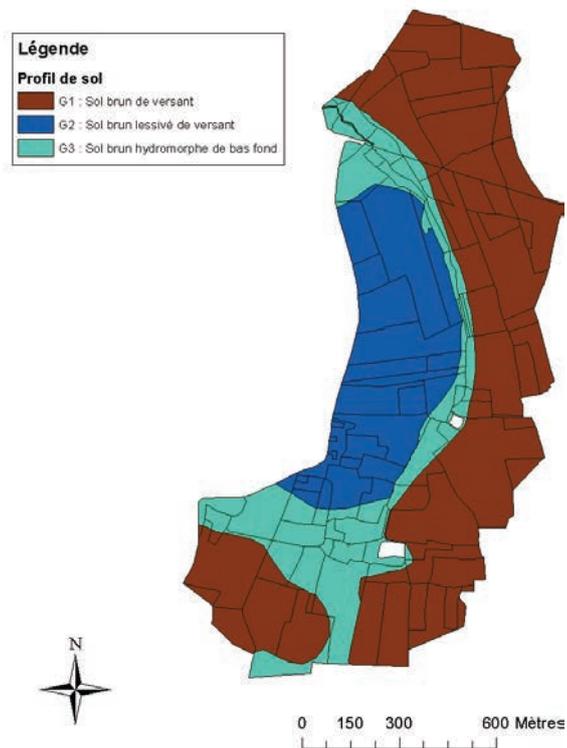


Figure 1 : Unités surfaciques homogènes sur le bassin de la Fontaine du Theil (Bretagne).



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

La réflexion sur les scénarios de modélisation à réaliser sur chacun des bassins d'application a permis d'élaborer une typologie des parcelles (sol, pente, occupation du sol) et des traitements (substances, dates, doses) limitant le nombre de situations types à simuler à l'échelle de la parcelle. Cela permet d'envisager à terme le passage à des BV plus vastes. La modélisation d'un grand nombre de cas a été réalisée grâce au logiciel CeMaFor (Figure 2), développé dans le cadre de Miriphyque, qui effectue un très grand nombre de simulations et facilite ensuite leur interprétation.

Les travaux de modélisation à l'échelle de la parcelle ont permis d'évaluer l'influence sur les résultats du modèle MACRO : d'une part, d'une connaissance précise des pratiques culturales sur le bassin breton, en regard du climat réel de l'année, et d'autre part d'une caractérisation fine des sols (hydrodynamiques et vis-à-vis du devenir des pesticides) sur le bassin beaujolais. Cette étude a mis en évidence la forte variabilité des transferts simulés en fonction des occurrences [application/précipitations/état d'humidité des sols] et la nécessité de simuler un grand nombre d'années afin de balayer la gamme des possibles de façon suffisante pour caractériser le risque de transfert. Elle a aussi montré qu'une typologie des années climatiques basée sur le seul cumul de pluie annuel ne suffit pas. Ces points peuvent dès maintenant être pris en compte dans l'élaboration d'indicateurs du risque de contamination. Les simulations réalisées sur le bassin du Beaujolais (cf. exemple en Figure 3), avec des jeux de paramètres (propriétés physico-chimiques des sols et des substances) issus soit de mesures de terrain soit de fonctions de pédotransfert ou de paramètres de la littérature ont confirmé l'intérêt de s'appuyer sur des mesures.

La structuration des chroniques simulées avec MACRO dans des entrepôts de données a permis de réaliser une analyse de sensibilité, de mieux caractériser l'influence de certains paramètres et d'identifier ceux sur lesquels porter l'effort d'acquisition de données. Les méthodes développées sont transposables à d'autres modèles de simulation. L'organisation des données au sein d'un SIE a facilité le calcul d'un grand nombre d'indicateurs de risque de contamination à l'échelle de la parcelle pour les deux BV, dans le cadre de deux projets complémentaires. Les chroniques simulées pourraient également être facilement remobilisées pour calculer des indicateurs basés sur la modélisation à l'échelle locale et pouvant donc inclure la variabilité temporelle des processus.

Les méthodes développées pour découper un BV en éléments homogènes et caractériser les connexions topologiques entre ces éléments (surfaciques et linéaires) permettent, sans même avoir recours à une modélisation à l'échelle du BV, de visualiser les éléments connectés au réseau hydrographique ou dont, au contraire, les flux sortants pourront être interceptés par une zone tampon.

La modélisation à l'échelle du BV (à finaliser) permettra de compléter cette représentation des processus en combinant à la fois les aspects spatiaux et temporels.

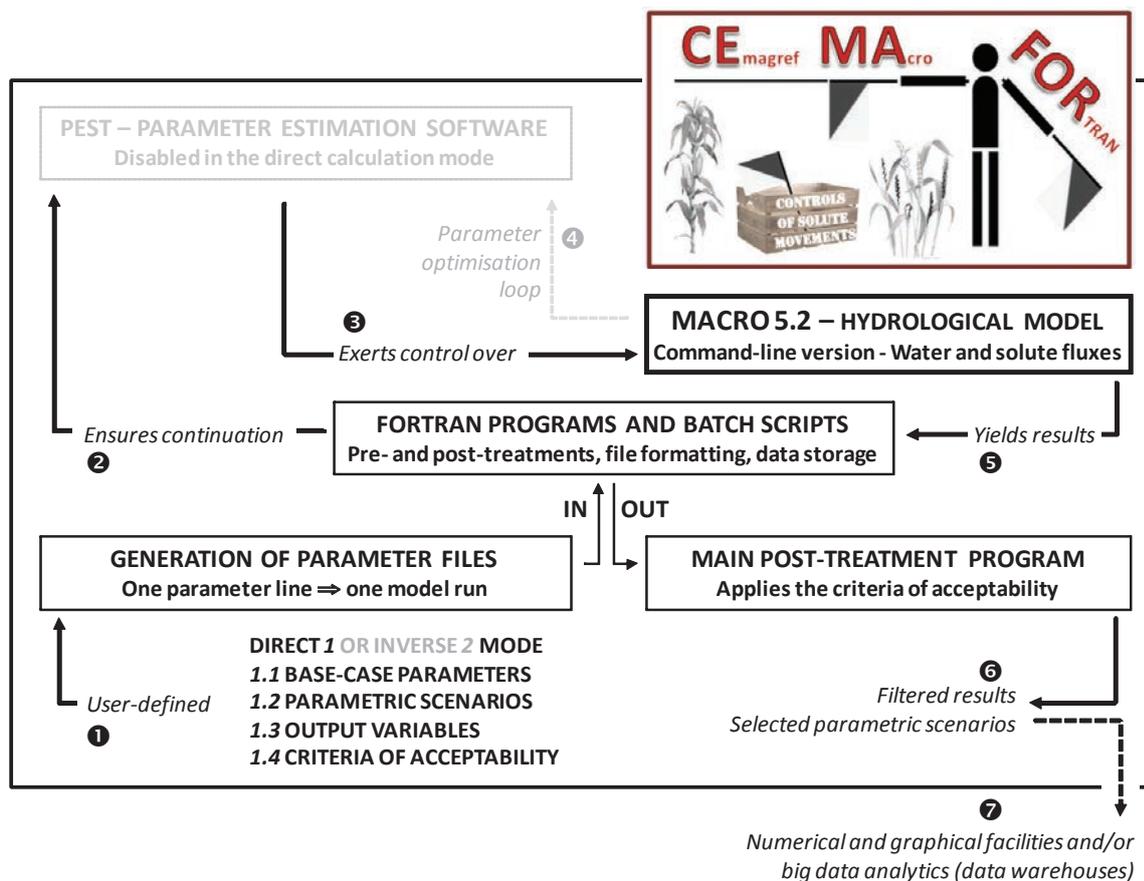


Figure 2 : Organigramme du logiciel CeMaFor.

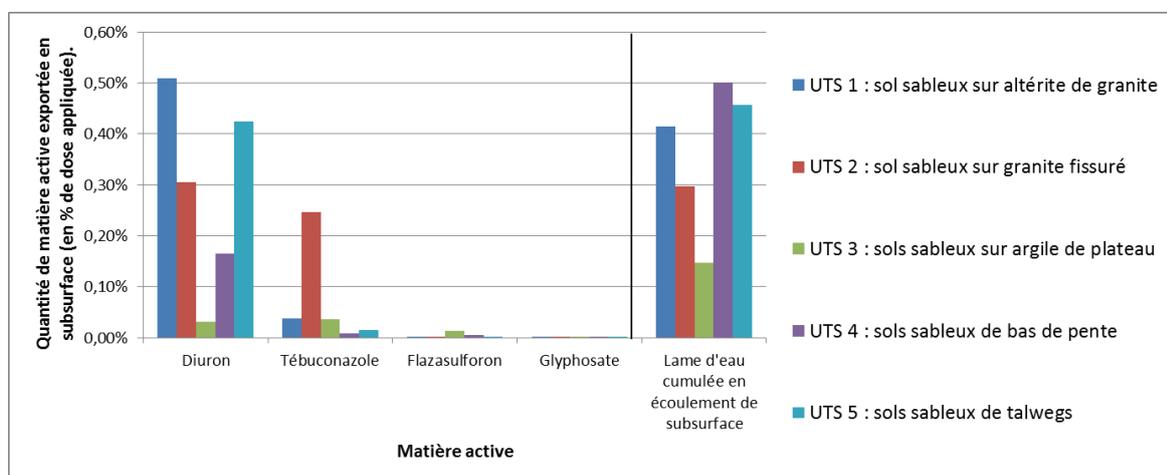


Figure 3 : Exportation de produits phytosanitaires par écoulement de subsurface, en pourcentage de la dose appliquée. En fonction du pesticide et de l'unité typologique de sol (UTS). Année 2008, pente de 7%. Bassin de la Morcille (Beaujolais).



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Le SIE peut être utilisé pour calculer efficacement des indicateurs « classiques », puis les agréger selon plusieurs dimensions, par exemple à une échelle spatiale ou sur une période donnée. CeMaFor permet d'investiguer, sur un site donné, les paramètres et données les plus influents pour MACRO et ainsi d'optimiser l'effort d'acquisition de données. Il est déjà utilisé dans d'autres applications « intensives » de MACRO.

Les méthodes de découpage de l'espace et de détermination des connexions intégrant l'influence des éléments du paysage méritent d'être affinées pour identifier, sur un BV, les zones les plus contributives aux transferts.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

La modélisation CMF mérite d'être consolidée et la représentation des éléments du paysage affinée. Cela permettra d'explorer un grand nombre de scénarios climat/occupation du sol/pratiques phytosanitaires sur un BV et de déterminer les facteurs influant sur l'aléa.

Il serait fondamental d'intégrer un modèle de décision des acteurs agricoles pour construire des scénarios de traitement cohérents. Cela suppose de travailler sur des BV plus grands incluant la majorité des parcelles des exploitations.



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Bouilil K., Pinet F., Bimonte S., Carluer N., Lauvernet C., Cheviron B., Chanet J.-P. (2013) Guaranteeing the quality of multidimensional analysis in datawarehouses of simulation results: Application to pesticide transfer data produced by the MACRO model. *Ecological Informatics*, 16: 41-52.
- Cheviron B., Carluer N., Dairon R., Pinet F., Corot M., Moeys J. A software and framework to use the automated MACRO model for pesticide fate scenarios: application to a cultivated undrained plot in a poorly-gauged site. (En préparation pour *Environmental Modelling and Software*).

COLLOQUE

- Carluer N., Gouy V., Lauvernet C., Miralles A., Pinet F., Bimonte S., Gascuel-Oudou C., Grimaldi C., Coquet Y., Benoit P., Réal B., Maillet-Mezeray J., Marquet N., Guyot C. (2011) Building risk indicators of surface water contamination by pesticides at the small catchment scale. Taking in account spatial and temporal dimensions. Support for risk assessment and management: MIRIPHYQUE project. Innovative approaches for the management of environmental risks from plant protection products, Montpellier, France

MÉTHODOLOGIE

- Cheviron, B., Carluer N., Moeys J. (2012) Controlling solute movements with CeMafor. Tutorial du logiciel CeMaFor, permettant de coupler Pest (logiciel d'analyse de sensibilité) et MACRO (modèle de simulation des transferts de pesticides dans les sols).

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE**Yves BRUNET**

brunet@bordeaux.inra.fr
INRA Villenave d'Ornon
UR Ecologie Fonctionnelle et Physique de
l'Environnement (EPHYSE)

PARTENAIRES

IRSTEA - MONTPELLIER SUPAGRO
UMR Information et Technologie pour les
Agro-Procédés (ITAP)

MODÉLISATION DE LA DISPERSION AÉRIENNE DES PESTICIDES ET DES NIVEAUX D'EXPOSITION À L'ÉCHELLE DU PAYSAGE

2010-2013

**MOTS-CLÉS**

Pesticides, exposition, turbulence, dispersion atmosphérique, simulation des grandes échelles, système d'Information géographique, viticulture, vigne

**EN QUELQUES MOTS**

Le projet MODAPEX a permis de développer des outils de simulation pour calculer la dispersion aérienne de pesticides à partir de leur lieu d'émission (buses d'un pulvérisateur). Ces outils, évalués vis-à-vis de données expérimentales collectées pour l'occasion, prennent explicitement en compte les caractéristiques de la végétation et les hétérogénéités du paysage. La combinaison de calculs menés à l'aide de la technique LES (Large Eddy Simulation, ou encore simulation des grandes échelles) et de la plateforme de simulation BatchDriftX permet ainsi de réaliser des cartographies de contamination par les pesticides à l'échelle d'une petite région (niveaux d'exposition dans l'air et au sol).

**CONTEXTE ET OBJECTIF**

La pollution de l'air par les pesticides est un phénomène avéré, suspecté d'avoir des incidences sur les écosystèmes et la santé publique. Lors des traitements phytosanitaires, une partie des produits pulvérisés se disperse dans l'atmosphère ; les concentrations aériennes observées dans l'environnement apparaissent ainsi comme une signature de l'activité agricole pendant la période de mesure. Ce problème est particulièrement important dans les zones viticoles car la vigne fait partie des cultures les plus consommatrices en pesticides. Une modélisation de la dispersion atmosphérique s'avère indispensable pour évaluer correctement les concentrations aériennes et les dépôts, permettant ainsi de mieux comprendre les phénomènes de contamination aérienne par les pesticides et alimenter les systèmes d'aide à la décision relatifs aux risques d'exposition.

Le projet MODAPEX visait à développer des outils de simulation permettant le calcul à fine échelle de la dispersion aérienne de pesticides à partir de leur lieu d'émission (buses d'un pulvérisateur), en prenant explicitement en compte les caractéristiques de la végétation et les hétérogénéités du paysage. L'objectif novateur était de développer une modélisation mécaniste (à vocation générique), à faible pas de temps (représentant explicitement l'effet des fluctuations turbulentes), capable de prendre en compte l'émission du jet et son interaction avec la végétation, et apte à calculer la dispersion à l'échelle de petites régions.

**MÉTHODES**

À l'échelle de la parcelle, le modèle atmosphérique ARPS (Advanced Regional Prediction System) a été choisi comme base de l'outil de simulation de la dispersion aérienne de pesticides. Au cours de précédents travaux le code a été adapté aux écoulements au sein de canopées végétales, et largement validé dans de tels contextes. Un module lagrangien a été intégré pour traiter le transport aérien et le dépôt de gouttelettes issues d'une pulvérisation. L'utilisation de la technique de résolution LES garantit la prise en compte explicite des tourbillons actifs dans le transport turbulent,

permettant un calcul instantané des champs de vitesse et de concentration. La dispersion instantanée d'aérosols de diverses caractéristiques peut ainsi être simulée, depuis une buse d'appareil et à l'intérieur d'un domaine tridimensionnel englobant une portion de paysage d'hétérogénéité quelconque (Figure 1).

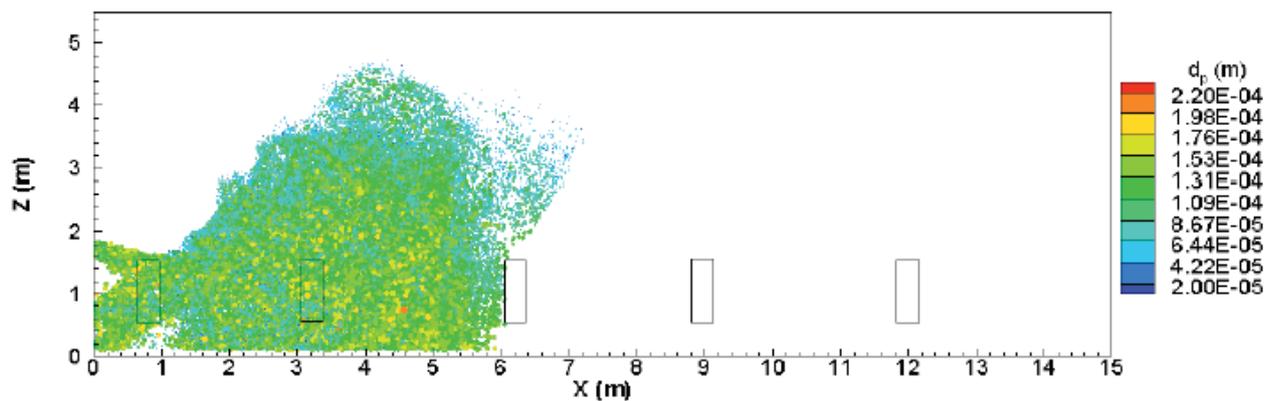


Figure 1 : Simulation du nuage de gouttelettes émises lors d'une pulvérisation à deux jets, 6 secondes après le début de l'émission (Chahine, 2011). Les rectangles représentent la section verticale des rangs de vigne et les couleurs le diamètre des gouttelettes.

Deux campagnes expérimentales ont été menées dans le but d'évaluer le modèle développé : l'une dans le vignoble bordelais visait à tester la qualité des simulations des champs de vent et de turbulence; l'autre, menée sur vigne artificielle à Montpellier, a fourni des données quantitatives relatives aux pertes aériennes lors de pulvérisations (Figure 2).

L'introduction des sorties du modèle à l'échelle de la parcelle dans la plateforme de simulation BatchDriftX a permis de réaliser des cartographies de contamination par les pesticides à l'échelle d'une petite région (Figure 3).



Figure 2 : Pulvérisation sur la parcelle expérimentale de vigne artificielle (©Yves Brunet).

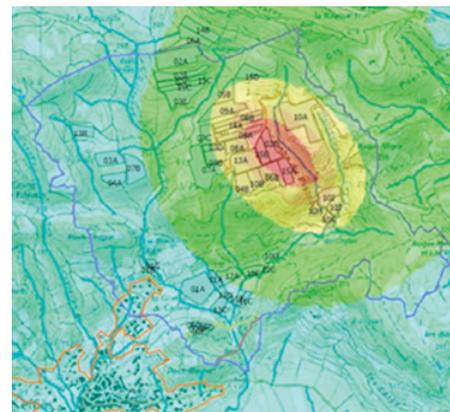


Figure 3 : Cartographie des champs simulés de concentration en pesticides sur le bassin versant de Neffies (Hérault), après une pulvérisation réalisée sur le plateau.



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Les premiers résultats à mettre en avant sont d'ordre méthodologique :

- introduction de particules lagrangiennes dans un code atmosphérique en mode LES, permettant de simuler le transport d'un nuage de pesticides émis par pulvérisation ;
- simulation dans ce code du jet lui-même, en sortie de buse ;
- couplage de ce modèle avec un code de transport à plus longue distance, permettant d'estimer la propagation du nuage de pesticides à l'échelle de plusieurs kilomètres.

Un deuxième ensemble de résultats tient à l'évaluation du code numérique à l'échelle d'une parcelle de vigne, à l'aide de données expérimentales acquises pendant le projet :

- validation du modèle dynamique dans le cas d'un vignoble des Graves (Gironde), avec très bonne restitution des champs de vent et de turbulence, aussi bien à l'échelle des rangs qu'à celle de la parcelle ;
- validation de la dynamique du jet en sortie de buse, sur les composantes axiale et transversale ;
- évaluation plus délicate, compte tenu de la difficulté des mesures expérimentales et de la représentation de la pulvérisation dans le code, de la dispersion des pesticides sur une petite parcelle

de vigne artificielle à Montpellier ; la structure spatiale des pertes aériennes et des dépôts au sol est correctement reproduite, avec des valeurs numériques s'écartant parfois des mesures.

Enfin, quelques résultats partiels ont été obtenus sur les transferts atmosphériques en vignoble et la dispersion de pesticides :

- à courte distance, la dispersion de pesticides dans les rangs de vigne est fortement dominée par le vent induit par le pulvérisateur plutôt que par les conditions de vent atmosphérique ;
- les pertes aériennes peuvent être fortement variables selon les conditions de pulvérisation (type et réglage du pulvérisateur). Dans trois des quatre cas testés elles sont faibles, mais dans un des cas elles semblent beaucoup plus fortes ;
- pour un même pulvérisateur, ces pertes dépendent également de la structure du vignoble, une vigne à faible densité foliaire entraînant des pertes plus importantes ;
- les traitements assistés par l'air nécessitent ainsi une orientation optimale des diffuseurs de jets d'air, ces derniers favorisant la dérive. La méthode de forçage des conditions aux limites retenue offre la possibilité d'optimiser les pulvérisateurs en testant l'impact de leurs orientations, d'autant que les jets d'air sont finement résolus avec ARPS ;
- un vent dans l'axe des rangs est susceptible d'entraîner le nuage de pesticides à des distances sensiblement plus fortes qu'un vent perpendiculaire ;
- l'impact sur la dispersion aérienne d'une haie brise-vent située en aval de la parcelle traitée est réel. Une haie tend à capter une partie du nuage de pulvérisation, mais aussi à en diriger une partie vers le haut ; cette dernière peut alors diffuser à plus longue distance, mais à de faibles concentrations.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

Ce projet de recherche avait clairement une vocation « amont », dans la mesure où il visait à élaborer une méthodologie de simulation de la dispersion aérienne d'un nuage de pesticides pendant la pulvérisation, apte à quantifier les niveaux d'exposition en aval de la parcelle traitée. Un code numérique a été réalisé et évalué, la possibilité de réaliser des applications pratiques a été démontrée (influence du réglage du pulvérisateur, de la présence de haies, etc).



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Le modèle de dispersion à fine échelle est susceptible d'améliorations, par la prise en compte de l'évaporation des aérosols, de la volatilisation des produits pendant leur dispersion ou après leur dépôt, ainsi que des transformations chimiques éventuelles. La prise en compte de la géométrie complète des pulvérisateurs est également un facteur d'amélioration potentielle des simulations. Le modèle régional doit également pouvoir être amélioré de manière à prédire directement des niveaux d'exposition.



VALORISATION

PUBLICATION SCIENTIFIQUE

- Chahine A., Dupont S., Sinfort C., Brunet Y. (2013) Wind flow dynamics over a vineyard. *Boundary-Layer Meteorology*, 151: 557-577.

COLLOQUES

- Brunet Y. (2013) La dispersion aérienne des pesticides : nouvelles tendances en modélisation. Séminaire scientifique Envirohonalp « Pesticides dans l'air, impact sur la santé et les écosystèmes », Lyon, 6 février 2013 (conférence invitée).
- Brunet Y. (2012) MODAPEX : modélisation de la dispersion aérienne de pesticides et évaluation des niveaux d'exposition à l'échelle du paysage. Séminaire du programme de recherche « Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des pesticides », Dijon, 24-25 octobre 2012.
- Chahine A., Dupont S., Brunet Y., Sinfort C. (2012) Numerical simulation of pesticide dispersal at the scale of rows and vineyards. *Atmos'Fair*, Lyon, 26-27 September 2012.
- Chahine A., Dupont S., Brunet Y., Sinfort C. (2012) Experimental and numerical study of pesticide dispersal from vineyards. *International Advances in Pesticide Application 2012, Aspects of Applied biology*, 114, Wageningen (NL), 10-12 January 2012.

- Chahine A., Dupont S., Brunet Y., Sinfort C. (2011) A model for pesticide dispersal from vineyard canopies. SuproFruit 2011, CTIFL, Lanxade, 8-10 June 2011, 2 p.
- Brunet Y. (2011) MODAPEX : modélisation de la dispersion aérienne de pesticides et évaluation des niveaux d'exposition à l'échelle du paysage. Colloque de restitution du programme de recherche « Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des pesticides », Tours, 23-25 mars 2011.
- Chahine A., Dupont S., Brunet Y., Sinfort C. (2010) A large-eddy simulation model for pesticide dispersal during spray application. International Conference on Agricultural Engineering AgEng 2010, Clermont-Ferrand, 6-8 September 2010, 10 p.
- Chahine A., Dupont S., Brunet Y., Sinfort C. (2010) Modelling pesticide dispersal over a vineyard canopy during spray application. 29th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, Keystone, CO, USA, 2-6 August 2010.

THÈSE

- Chahine A. (2011) Modélisation de la dispersion aérienne de pesticides des échelles locales aux échelles régionales, influence des aménagements et quantification des niveaux d'exposition. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, 167 p.

AUTRE

- Sous-traitance et transfert : Développement orienté « web » de la plateforme de calcul de dispersion à l'échelle du paysage (confié à la société 3Liz).

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Laure MAMY
 laure.mamy@versailles.inra.fr
 INRA VERSAILLES
 UR Physico-chimie et Ecotoxicologie
 des Sols d'Agrosystèmes Contaminés
 (PESSAC)

PARTENAIRES

INRA - INP TOULOUSE
 UMR Agrosystèmes et agricultures,
 Gestion des ressources,
 Innovations & Ruralités (AGIR)

INRA-AGRO SUP DIJON-UNIV. DE BOURGOGNE
 UMR Agroécologie

INRA-AGRO PARIS TECH GRIGNON
 UMR Agronomie

INRA-AGRO PARIS TECH GRIGNON
 UMR Environnement et Grandes Cultures
 (EGC)

INRA ESTRÉES-MONS
 UE Grandes Cultures Innovation
 Environnement (GCIE)

ÉVALUATION ET COMPARAISON DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES DE SYSTÈMES DE CULTURE INNOVANTS CONÇUS POUR RÉDUIRE L'USAGE DES PESTICIDES : LIEN ENTRE PRATIQUES, PRESSIONS ET IMPACTS
 2013 - 2016



MOTS-CLÉS

Systèmes de culture, rupture, pesticides, pratiques, pression, impact, modélisation, IFT



EN QUELQUES MOTS

Dans le contexte de la diminution du recours aux produits phytosanitaires, les objectifs du projet ECoPESt consistent à (1) évaluer et comparer les performances environnementales de prototypes de systèmes de culture conçus avec l'objectif de réduire l'usage des pesticides, (2) établir un lien entre pratiques, pressions et impacts des pesticides et identifier les systèmes les plus pertinents pour réduire les impacts environnementaux et préserver les services écosystémiques (notamment qualité de l'eau, de l'air et des sols). Les résultats permettront de fournir les bases techniques pour l'élaboration d'une démarche d'aide à la décision en accompagnement des politiques publiques associées au plan Écophyto.



CONTEXTE ET OBJECTIF

Le défi du plan Écophyto consiste à diminuer d'une manière significative le recours aux produits phytosanitaires, tout en continuant à assurer un niveau de production élevé en quantité et en qualité. Seule une combinaison de différentes techniques culturales peut remplacer la protection chimique et cette combinaison implique l'introduction de nouveaux systèmes de culture. Cependant, compte tenu de la grande diversité des contextes pédologiques, climatiques et agronomiques, le nombre de systèmes de culture pouvant être conçus est quasi infini et il est impossible de réaliser des expérimentations en conditions réelles de plein champ pour étudier la durabilité de chacun de ces systèmes. Il est donc indispensable de disposer d'outils de simulation et d'indicateurs d'évaluation des impacts environnementaux des systèmes de culture dus à l'usage des pesticides.

Dans ce cadre, les objectifs du projet ECoPESt consistent à (1) évaluer et comparer les performances environnementales de prototypes de systèmes de culture conçus avec l'objectif de réduire l'usage des pesticides : systèmes basés notamment sur des rotations allongées et diversifiées, des cultures intermédiaires, des cultures associées... (2) établir un lien entre pratiques, pressions et impacts des pesticides et identifier les systèmes les plus pertinents pour réduire les impacts environnementaux et préserver les services écosystémiques d'approvisionnement (nourriture, eau) et de régulation (qualité de l'eau, de l'air et des sols).



MÉTHODES

La démarche consiste à :

(1) Tester plusieurs modèles numériques décrivant le devenir des pesticides dans l'environnement en comparant les résultats des simulations à des mesures *in situ* pour identifier le ou les modèle(s) le(s) plus performant(s). Trois modèles utilisés en France (mais aussi en Europe) pour évaluer les risques liés aux pesticides dans le cadre de leur homologation ont été retenus : PRZM, PEARL et MACRO. Les résultats fournis par les modèles seront confrontés aux concentrations en pesticides dans l'eau mesurées dans quatre sites expérimentaux localisés à Dijon, Grignon, Toulouse-Auzeville et Toulouse-Lamothe (Figure 1). Ces sites présentent des caractéristiques contrastées aux points de vue pédoclimatique et du contexte agricole. Plus

de quinze systèmes de culture innovants y sont testés, ce qui permet d'explorer des stratégies diversifiées pour la maîtrise des bioagresseurs et le devenir des pesticides.

(2) Etudier les effets de la variabilité des systèmes et de la variabilité pédoclimatique sur les concentrations en pesticides dans l'environnement. De nombreux systèmes de culture innovants, auxquels seront associées différentes situations pédoclimatiques réalistes, seront évalués grâce au(x) modèle(s) retenu(s). La variabilité pédoclimatique sera prise en compte en construisant des scénarios basés sur le travail réalisé par l'INRA, l'ANSES et l'UJPP pour améliorer l'évaluation des concentrations en pesticides dans les eaux souterraines dans le cadre de leur homologation (Frogs).

(3) Relier la pression « pesticides » (caractérisée par le calcul de l'indice de fréquence de traitement - IFT) **à leurs impacts sur l'environnement** (déterminés grâce à une estimation numérique des niveaux de concentrations dans le sol, l'eau, l'air... et des potentiels de toxicité) pour différents systèmes et différentes conditions pédoclimatiques. Le lien entre pratiques, pressions et impacts des pesticides sera ainsi établi.

(4) Proposer une démarche de classement des systèmes de culture basée sur l'exploitation statistique des résultats obtenus en identifiant les systèmes présentant le plus de bénéfices pour l'environnement.



Figure 1 : (a) Site expérimental de Dijon-Epoisses (© Pascal Farcy, INRA) ; (b) Installation des lysimètres à mèches et des bougies poreuses sur le site de Dijon-Epoisses (© Bernard Nicolardot, AgroSup Dijon) ; (c) Site expérimental de Grignon (© Google Earth) ; (d) Site expérimental de Toulouse-Auzeville : cultures associées (© Eric Justes, INRA) ; (e) Désherbage mécanique sur le site de Toulouse-Auzeville (© Eric Justes, INRA) ; (f et g) Site expérimental de Toulouse-Lamothé (© Lionel Alletto, INP EI-Purpan).



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

L'évaluation des performances environnementales des systèmes de culture est basée sur des mesures de concentrations en pesticides à l'échelle de la parcelle et sur l'utilisation de modèles décrivant le devenir des pesticides. La représentation des pratiques culturales étant assez peu détaillée dans les modèles, une des questions centrales de ce travail a porté sur la capacité de ces modèles à simuler correctement les flux d'eau et de pesticides dans le contexte de systèmes de culture innovants.

Dans un premier temps, la performance des trois modèles retenus (PRZM, PEARL, MACRO) a été évaluée en comparant les transferts d'eau ainsi que les transferts de S-métolachlore et de mésotrione (deux herbicides du maïs) observés et simulés dans un système de monoculture de maïs conventionnelle avec une interculture en sol nu (système témoin). Les observations proviennent du site de Toulouse-Lamothe.

Les résultats ont montré que PRZM ne permet pas de reproduire correctement la dynamique de l'eau, contrairement à PEARL et à MACRO (Figure 2).

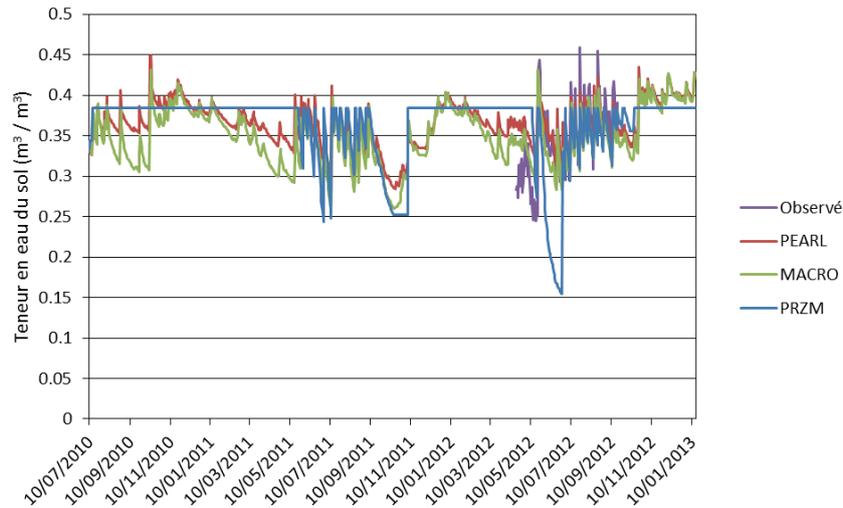


Figure 2 : Teneur en eau du sol (exemple à 20 cm de profondeur), observée et simulée par les modèles PEARL, MACRO et PRZM. Cas de la monoculture de maïs témoin, site de Toulouse-Lamothe (Marin-Benito et al., 2014).

Concernant les pesticides, les observations *in situ* indiquent que le S-métolachlore est présent dans les lixiviats 404 jours après son application. Ensuite, la concentration diminue jusqu'à devenir égale à zéro. La mésotrione, quant à elle, est détectée 19 jours après son application à des concentrations similaires à celles du S-métolachlore bien que la dose soit dix fois inférieure (Figure 3). Aussi bien pour le S-métolachlore que pour la mésotrione, les modèles ont tendance à sous-estimer les concentrations par rapport aux données expérimentales. Cependant, les concentrations simulées restent du même ordre de grandeur que les observations. Ces résultats montrent que les modèles sont capables de reproduire correctement la lixiviation (transfert vertical) observée des herbicides à 1 m de profondeur (Figure 3). D'une manière générale, PEARL est le modèle qui représente le mieux les concentrations en pesticides mesurées dans les lixiviats, suivi de MACRO puis PRZM.

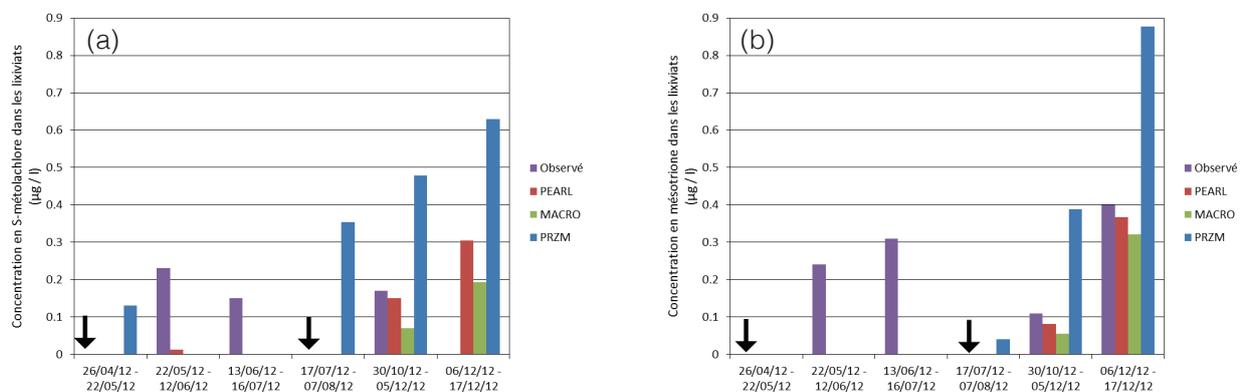


Figure 3 : Concentration moyenne en S-métolachlore (a) et en mésotrione (b) dans les lixiviats, observée et simulée par les modèles PEARL, MACRO et PRZM. Cas de la monoculture de maïs témoin, site de Toulouse-Lamothe. Le symbole « ↓ » indique une absence de mesure (volumes d'eau dans les lysimètres trop faibles pour réaliser des analyses) (Marin-Benito et al., 2014).

Cette première phase de test des modèles a montré que MACRO et PEARL sont les modèles les plus performants. Cependant, PEARL (de même que PRZM) ne permet pas de décrire les voies de transferts préférentiels dans le sol (la porosité du sol est considérée comme étant homogène). Dans ce type de situations, le modèle MACRO devra donc être privilégié.

Les applications visées du projet ECoPESt dans le cadre du plan Écophyto sont : (1) identifier des modèles performants pour estimer les flux et concentrations en pesticides dans les systèmes de culture ; (2) fournir des indicateurs quantitatifs pour évaluer les performances environnementales de prototypes de systèmes de culture conçus avec l'objectif de réduire l'usage des pesticides ; (3) évaluer et comparer les impacts potentiels des systèmes de culture sur plusieurs cibles de l'environnement (écosystèmes, eau...) ; (4) déterminer un classement des systèmes de culture tenant compte de la variabilité de ces systèmes et de la variabilité pédo-climatique ; et (5) établir le lien entre pratiques, pressions et impacts.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

- Communauté scientifique : Publications dans Science of the Total Environment et Agronomy for Sustainable Development - Communications aux XV Symposium in Pesticide Chemistry, 25^e congrès du SETAC-Europe et 45^e congrès du Groupe Français des Pesticides.
- Professionnels : Publications dans Phytoma, Cultivar - Formations.
- Pouvoirs publics : Rapports - Séminaires.
- Grand public : Publications dans Le courrier de l'Environnement, Innovations Agronomiques, La recherche.
- Enseignement : AgroParisTech, Master « Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement ».



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Le test de la performance des trois modèles se poursuit avec les données mesurées dans les systèmes innovants implantés sur les quatre sites retenus. Ensuite, les effets de la variabilité pédo-climatique sur les flux de pesticides dans différents systèmes de culture vont être étudiés. Enfin, le lien entre pratiques, pressions et impacts des pesticides sera déterminé. Les effets des sources d'incertitudes sur l'évaluation du risque sont traités dans un autre projet (Perform, APR PSPE1).



VALORISATION

PUBLICATION SCIENTIFIQUE

- Marín-Benito JM., Pot V., Alletto L., Mamy L., Bedos C., Barriuso E., Benoit P. (2014) Comparison of three pesticide fate models with respect to the leaching of two herbicides under field conditions in an irrigated maize cropping system. Science of the Total Environment (sous presse).

COLLOQUES

- Marín-Benito JM., Pot V., Alletto L., Mamy L., Bedos C., Barriuso E., Benoit P. (2013) Comparison of three pesticide fate models for S-metolachlor leaching under field conditions in different maize cropping systems. Pesticide Behaviour in Soils, Water and Air, 2 - 4 septembre 2013, York.
- Marín-Benito JM., Pot V., Alletto L., Mamy L., Bedos C., van den Berg E., Barriuso E., Benoit P. (2014) Comparison of three pesticide fate models for two herbicides leaching under field conditions in a maize cropping system. Genesis - Groundwater and dependent ecosystems. Integrated management of groundwater resources and dependent ecosystems. International conference, 5 - 7 mars 2014, Prague.
- Marín-Benito JM., Pot V., Alletto L., Mamy L., Bedos C., van den Berg E., Barriuso E., Benoit P. (2014) Comparison of three pesticide fate models for two herbicides leaching under field conditions in a maize cropping system. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2014, 27 avril - 2 mai 2014, Vienne.

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Mamy L. (2014) Modélisation de phénomènes dynamiques en écotoxicologie terrestre : Evaluation de l'exposition aux pesticides. Formation « Initiation à la modélisation de phénomènes dynamiques », Ecole Doctorale ABIES, Paris, 11 février 2014.

SESSION

5

PRISE EN COMPTE DES IMPACTS DES PESTICIDES SUR LES ÉCOSYSTÈMES



IMPALAC - Prédire l'impact des herbicides en mélange et à faible concentration sur les communautés algales planctoniques et benthiques lacustres (APR 2009)
Agnès BOUCHEZ, INRA Thonon - Université de Savoie



TOPHPAC - TOLérance des communautés PHYtoplanctoniques aux PHYtosanitaires dans le PANache de la Charente (APR 2009)
Christian BECHEMIN, Ifremer L'Houmeau, et Sabine STACHOWSKI-HABERKORN, Ifremer Nantes



TRam - Gestion de la Toxicité en zone Ramsar (APR 2009)
Philippe LEGRUSSE, Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM) - Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (IAMM)



IMPEC - Développement d'indicateurs microbiens pour l'évaluation de l'impact des pesticides sur des fonctions écosystémiques terrestres et aquatiques (APR 2011)
Fabrice MARTIN-LAURENT, INRA - AgroSup Dijon - Université de Bourgogne



M6P Perdrix - Modélisation des accidents de ponte chez la perdrix grise en plaine de grande culture, en relation avec l'usage agricole de produits phytopharmaceutiques (APR 2011)
Elisabeth BRO, Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) , et James DEVILLERS, Centre de Traitement de l'Information Scientifique (CTIS)

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Agnès **BOUCHEZ**
 agnes.bouchez@thonon.inra.fr
 INRA THONON - UNIVERSITÉ DE SAVOIE
 Centre Alpin de Recherches sur les
 Réseaux Trophiques des Ecosystèmes
 Limniques (CARRTEL)

PARTENAIRES

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE
 Institut des dynamiques de la surface
 terrestre (IDYST)

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE (EPFL)
 Laboratoire central environnemental

IRSTEA VILLEURBANNE
 Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions

PRÉDIRE L'IMPACT DES HERBICIDES EN MÉLANGE ET À FAIBLE CONCENTRATION SUR LES COMMUNAUTÉS ALGALES PLANCTONIQUES ET BENTHIQUES LACUSTRES

2011-2014

 **MOTS-CLÉS**

Mélanges d'herbicides, faibles doses, évaluation du risque, évaluation des impacts, écosystème lacustre, communautés algales, planctonique, benthique

 **EN QUELQUES MOTS**

L'objectif du projet IMPALAC était de mieux évaluer les impacts et le risque lié à la présence de contaminants en mélange et à faibles doses sur les écosystèmes lacustres. Pour cela l'étude a focalisé sur les mélanges d'herbicides comme contaminants et sur les communautés de microalgues comme représentantes de l'écosystème lacustre. A travers des systèmes de complexité croissante, allant du bioessai de laboratoire à l'écosystème, les impacts observés ont été comparés aux impacts prédits par différentes méthodes, révélant l'importance cruciale d'introduire plus d'écologie et de réalisme environnemental dans la démarche de prédiction de risque.

 **CONTEXTE ET OBJECTIF**

Les milieux aquatiques sont le réceptacle final des contaminants en provenance de leurs bassins-versants. Parmi eux, les lacs sont d'importantes masses d'eau qui collectent et diluent fortement ces contaminants parmi lesquels de plus en plus de substances chimiques différentes. Ces mélanges de contaminants à faible dose peuvent avoir des conséquences marquées sur les communautés qui vivent dans ces milieux. Améliorer les méthodes d'évaluation du risque en tenant compte des mélanges et des faibles doses et confronter le risque prédit à des données de terrain à l'échelle des communautés sont des objectifs cruciaux pour (i) améliorer l'évaluation du risque et (ii) obtenir des outils de gestion de l'environnement robustes.

Le projet IMPALAC s'est attaché à établir des liens entre l'évaluation des impacts des mélanges d'herbicides et la prédiction du risque de façon notamment à tester différents modèles de prédiction du risque des mélanges sur les communautés algales. Ce projet s'articule en trois parties :

- (1) approche *a priori* : enrichissement des modèles de prédiction de risque par des bioessais en laboratoire ;
- (2) approche *a posteriori* : évaluation des effets des mélanges au niveau spécifique (souches algales) et sur les communautés par des approches expérimentales et de terrain ;
- (3) confrontation des deux approches d'évaluation « *a priori* » et « *a posteriori* » : évaluation des écarts aux modèles et de l'efficacité des modèles dans une démarche de prédiction du risque.

 **MÉTHODES**

Le lac Léman présente depuis de nombreuses années une contamination en pesticides en lien avec une activité viticole et la présence d'industries de production de ces molécules. Le projet IMPALAC s'est attaché à étudier les impacts sur les communautés algales caractéristiques des écosystèmes lacustres, celles rencontrées dans la colonne d'eau (communautés planctoniques) et celles rencontrées en zone littorale formant des biofilms (communautés benthiques, essentiellement composées de diatomées). L'attention s'est concentrée sur les herbicides, pesticides les plus fréquem-

ment détectés dans les eaux de surface et dont les effets sont communément observés sur les espèces non-cibles que sont les communautés algales. Pour la prédiction du risque, les courbes de distribution de sensibilité des espèces (Species Sensitivity Distribution; SSD) ont été utilisées, permettant de dériver des seuils protecteurs ou "Hazardous Concentrations" (HCs). Pour la prédiction du risque des mélanges, les modèles toxicologiques d'addition des concentrations (CA) et d'addition des réponses (RA), qui décrivent les effets de mélanges de substances chimiques sans interactions entre elles, ont été utilisés. Le projet IMPALAC s'est articulé en trois phases à travers un changement d'échelle progressif destiné à valider les outils d'évaluation de risque dans des milieux de complexité croissante (du bioessai à l'environnement, Figure 1).

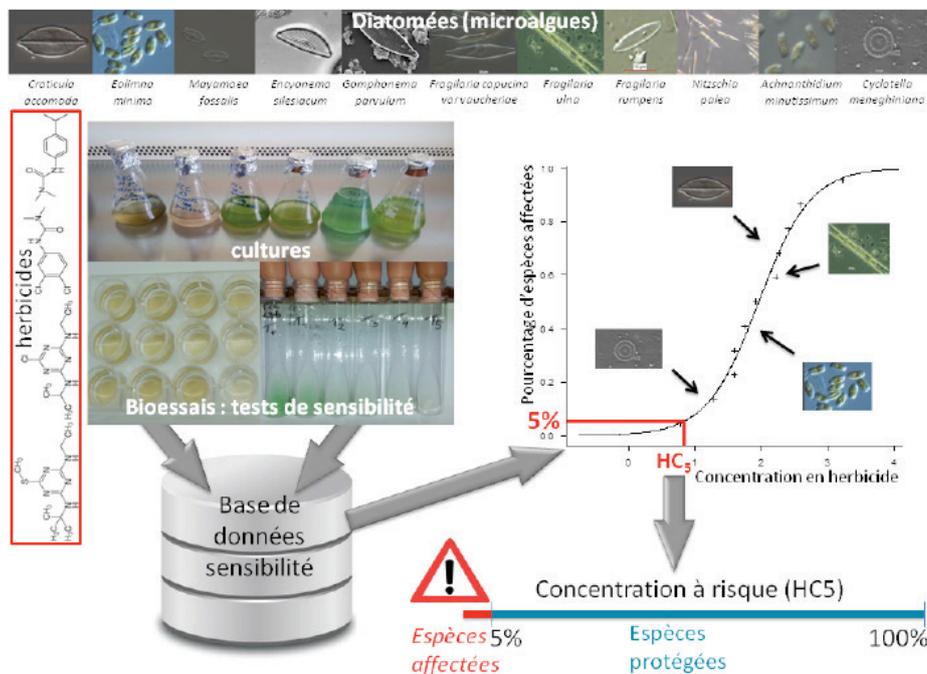


Figure 1 : Prédiction du risque des herbicides sur les algues (© INRA).



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Trois bases de données de sensibilité d'espèces algales aux herbicides ont été construites à l'aide de bioessais de laboratoire (sensibilité d'1 espèce de microalgue à 1 molécule d'herbicide), en s'attachant à utiliser des bioessais fiables et homogènes (mêmes conditions d'obtention), sur un nombre important d'espèces (au moins 10) représentatives de la biodiversité des milieux à protéger. Ces données de sensibilité intègrent ainsi une meilleure représentativité environnementale dans des conditions standardisées et comparables, permettant de modéliser des SSD et d'en dériver des seuils protecteurs (HC). Cependant, même si ces bioessais sont des outils utiles pour évaluer la toxicité des produits chimiques de base et sont nécessaires pour les processus d'évaluation de risque, ils représentent mal la réalité environnementale.

Les seuils extrapolés à partir de ces bases de données révèlent que les communautés de diatomées (microalgues) pourraient être affectées par les concentrations régulièrement rencontrées dans les environnements aquatiques. Pour les communautés de diatomées, le biofilm présente un effet plus ou moins protecteur contre les herbicides. Ce niveau de protection a tendance à diminuer avec l'augmentation de l'hydrophobie des herbicides.

Pour évaluer le risque des mélanges, utiliser des modèles décrivant les effets de mélanges de substances chimiques sans interactions entre elles (CA ou RA) sur les courbes SSD de distribution de sensibilité pour calculer un risque a tendance à surestimer la toxicité prédite du mélange, surestimation accentuée quand le nombre de substances augmente.

Deux paramètres environnementaux (température, saison) influencent nettement la sensibilité des communautés de microalgues aux mélanges d'herbicides en modifiant leur dynamique et leur composition.

L'analyse des données environnementales du Léman (2004 à 2009) permet de conclure que la toxicité du mélange d'herbicides est un facteur clé pour expliquer les changements d'abondance du phytoplancton dans le Léman. Il est donc important d'agir en amont pour réduire les quantités de chacune des substances qui entrent dans l'environnement.

Enfin, chaque niveau d'observation, du bioessai mono-spécifique aux approches environnementales, a révélé l'importance d'introduire de l'écologie et du réalisme environnemental dans la démarche de prédiction de risque pour réconcilier approches *a priori* et *a posteriori*.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

En évaluation du risque, l'utilisation des facteurs de sécurité reste d'actualité pour contrebalancer les variations environnementales de sensibilité des communautés. Les SSD sont une alternative intéressante dont il est utile d'améliorer le réalisme écologique, par exemple en utilisant des espèces présentes dans le milieu à protéger, et notamment les plus sensibles au cours des différentes saisons pour permettre de dériver des seuils de protection efficaces tout au long de l'année.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Dans un contexte d'évaluation du risque des herbicides, l'intégration des co-effets des paramètres environnementaux (température, lumière et éléments nutritifs) qui influent sur la dynamique, la structure et la composition de la communauté des microalgues semble être cruciale pour améliorer la pertinence environnementale de modèles et des seuils de qualité. L'évaluation de l'effet des herbicides doit prendre en compte cette spécificité environnementale qui module la toxicité.



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Pesce S., Bouchez A., Montuelle B. (2011) Effects of organic herbicides on phototrophic microbial communities in freshwater ecosystems. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 214: 87-124.
- Gregorio V., Buchi L., Anneville O., Rimet F., Bouchez A., Chèvre N. (2012) Risk of herbicides mixture as a key parameter to explain phytoplankton fluctuation in a great lake: the case of lake Geneva. Switzerland. *Ecotoxicology*, 21: 2306-2318.
- Larras F., Bouchez A., Rimet F., Montuelle B. (2012) Assessment of Species Sensitivity Distribution of benthic diatoms to herbicides using single species bioassays. *PLoS ONE*, 7: e44458.
- Larras F., Montuelle B., Bouchez A. (2013) Assessment of toxicity thresholds in aquatic environments: does benthic growth of diatoms affect their exposure and sensitivity to herbicides? *Science of the Total Environment*, 463-464: 469-477.
- Larras F., Lambert A.S., Pesce S., Rimet F., Bouchez A., Montuelle B. (2013) The effect of temperature and an herbicide mixture on freshwater periphytic algae. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98: 162-170.
- Gregorio V., Chèvre N., Junghans M. (2013) Critical issues in using the common mixture toxicity models Concentration Addition or Response Addition on Species Sensitivity Distributions: a theoretical approach. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32: 2387-2395.
- Larras F., Keck F., Montuelle B., Rumet F., Bouchez A. Linking diatoms sensitivity to herbicide to phylogeny: a step forward for biomonitoring? *Environmental Science & Technology*, 48: 1921-1930.
- Gregorio V., Chèvre N. Assessing the risks posed by mixtures of chemicals in freshwater environments: case study of Lake Geneva, Switzerland. *WIREs Water (Wiley Interdisciplinary Reviews: Water)*, 1: 229-247.
- Larras F., Montuelle B., Rimet F., Chèvre N., Bouchez A. Seasonal sensitivity evolution of benthic microalgal community to an herbicide mixture: Consequences on the protectiveness of hazardous concentration. *Ecotoxicology*, 23: 1109-1123.

COLLOQUES

- Gregorio V., Bouchez A., Anneville O., Chèvre N. (2010) Evaluation du risque des mélanges de substances chimiques : application au cas du phytoplancton du Léman. Journées Internationales de Limnologie (JIL), Thonon (France), 5-8 octobre 2010.

- Gregorio V, Chèvre N. (2010) Evaluation du risque des mélanges de substances chimiques: phytoplancton versus périphyton. *Ecologie* 2010, September 2-4, 2010, Montpellier.
- Larras F., Bouchez A., Montuelle B. (2011) Benthic microbial community responses to pesticides in lake littoral zone. 12th Symposium on Aquatic Microbial Ecology, Rostock (Germany), August 28th - September 2nd 2011.
- Larras F., Bouchez A., Montuelle B. (2011) Adaptation des modèles de « distribution de sensibilité des espèces » aux diatomées benthiques pour l'évaluation du risque des herbicides. 4^e Séminaire d'Écotoxicologie de l'INRA, Saint Langer (France), 7-9 Novembre 2011.
- Bouchez A. (2011) Prédire l'impact des herbicides en mélange et à faible concentration sur les communautés algales planctoniques et benthiques lacustres. Colloque «Pesticides & Environnement : entre science et décision», Tours (France), 23-25 mars 2011.
- Rimet F., Larras F., Montuelle B., Bouchez A. (2012) Integrating complexity dimension in ecotoxicology: case of herbicide impact on benthic diatoms. 6th Central European Diatom Meeting, Innsbruck (Austria), 22-25 March 2012.
- Larras F., Bouchez A., Montuelle B. (2012) Species Sensitivity Distribution for the prediction of herbicides toxicity on benthic diatoms. 6th SETAC World Congress 2012, Berlin (Germany), 20-24 May 2012.
- Gregorio V, Chèvre N, Junghans M. (2012) On the appropriateness of using the common mixture toxicity models CA and IA on species sensitivity distributions: a theoretical approach. 6th SETAC World Congress 2012, Berlin (Germany), 20-24 May 2012.
- Montuelle B., Larras F., Rimet F., Bouchez A. (2012) Modélisation de la Distribution de Sensibilité des Espèces (SSD) pour évaluer le risque environnemental lié aux pesticides en milieu aquatique. 16^e colloque du Chapitre Saint-Laurent, Québec (Canada), 7-8 June 2012.
- Bouchez A., Montuelle B., Larras F., Rimet F. (2012) Use of "Species Sensitivity Distribution" for herbicides toxicity assessment on benthic diatom assemblages. International Diatom Symposium, Ghent (Belgium), 27-31 August 2012.
- Rimet F., Larras F., Montuelle B., Bouchez A. (2012) Intégrer la complexité en écotoxicologie : cas de l'impact des herbicides sur les diatomées benthiques. 31^e Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Le Mans (France), 11-13 September 2012.
- Gregorio V, Chèvre N, Junghans M. (2012) On the appropriateness of using the common mixture toxicity models CA and IA on species sensitivity distributions: a theoretical approach. 6th SETAC World Congress 2012, Berlin (Germany), 20-24 May 2012.
- Gregorio V, Chèvre N, Junghans M. (2012) Utilisation des modèles de mélanges pour l'évaluation du risque avec les courbes de distribution de sensibilité des espèces: approche théorique. French Society of Fundamental and Applied Ecotoxicology (SEFA) 2012 meeting, Lyon (France), 4-5 July 2012.
- Georgescu V., Anneville O., Bouchez A. (2012) IBM model to assess the impact of mixtures of herbicides on phytoplankton communities. French Society of Fundamental and Applied Ecotoxicology (SEFA) 2012 meeting, Lyon, 4-5 July 2012.
- Larras F., Gregorio V., Montuelle B., Bouchez A., Chèvre N. (2013) Are threshold derived from specific species sensitivity distributions protective for benthic diatom assemblage? the case of a four herbicides mixture. 23th SETAC Europe Annual Meeting, Glasgow (UK), 12-16 May 2013.
- Bouchez A., Larras F., Rimet F., Montuelle B. (2013) Modélisation de la distribution de sensibilité des espèces (SSD) pour évaluer le risque environnemental lié aux pesticides en milieu aquatique. 32^e Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Thonon (France), 16-18 September 2013.

THÈSES

- Larras F. (2013) L'approche de modélisation SSD (Species Sensitivity Distributions) appliquée à l'évaluation du risque des herbicides pour les diatomées benthiques : éléments d'amélioration et pertinence écologique. Thèse soutenue le 26/11/2013, INRA, U.de Savoie.
- Gregorio V. (2014) Modélisation des effets des mélanges et conséquences sur la prédiction du risque. Thèse soutenue le 17/04/2014, UNI Lausanne, CH.

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES

Sabine **STACHOWSKI**
Sabine.Stachowski.Haberkorn@ifremer.fr
 IFREMER NANTES
 Laboratoire d'écotoxicologie (LEX)

Christian **BÉCHEMIN**
Christian.Bechemin@ifremer.fr
 IFREMER L'HOUEAU
 Laboratoire Environnement Ressources
 des Pertuis Charentais (LER/PC)

PARTENAIRES

IFREMER NANTES
 Laboratoire de Biogéochimie
 des Contaminants Métalliques (LBCM)

UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE - CNRS
 Laboratoire des sciences de
 l'environnement marin (LEMAR)

UNIVERSITÉ D'ANGERS
 Laboratoire d'Études Environnementales
 des Systèmes Anthropisés,
 équipe Analyse et Modèle
 (LEESA/EQAM)

**TOLÉRANCE DES COMMUNAUTÉS PHYTOPLANCTONNIQUES
 AUX PHYTOSANITAIRES DANS LE PANACHE DE LA CHARENTE**

2011-2014



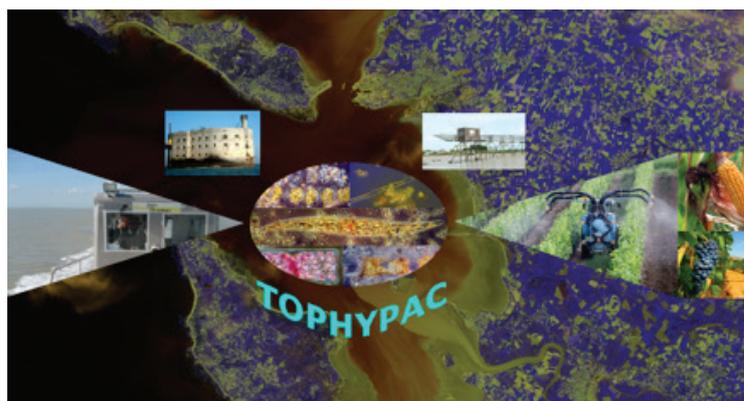
MOTS-CLÉS

Continuum eau douce/eau côtière, pesticides, métaux, communautés phytoplanctoniques, efficacité de photosynthèse, PICT, tolérance, cytométrie en flux, toxicité chronique



EN QUELQUES MOTS

TOPHYPAC est une étude sur l'estuaire de la Charente (bassin de Marennes-Oléron). Un suivi des paramètres physiques, chimiques (nutriments, métaux et pesticides) et biologiques (phytoplancton) a été réalisé de 2011 à 2014. Les communautés naturelles de phytoplancton ont été exposées en laboratoire au cuivre et à deux mélanges d'herbicides. Des effets ont été recherchés sur l'efficacité de photosynthèse et les abondances cellulaires. Les communautés se sont révélées plus sensibles au cuivre au printemps 2012 ; peu d'effets du mélange d'herbicides ont été démontrés. Le phytoplancton n'a pas montré de sensibilité particulière aux molécules testées aux concentrations environnementales.



(© Sabine Stachowski IFREMER, Beatriz Beker LEMAR, Georges Grousset, Andrea Oiser - Fotolia, pleinchamp.com).



CONTEXTE ET OBJECTIF

Le bassin versant de la Charente est caractérisé par une importante activité agricole qui nécessite l'emploi de phytosanitaires pour la lutte contre les maladies et ravageurs de cultures. Les substances utilisées pour les usages agricoles et non-agricoles peuvent se retrouver dans les écosystèmes aquatiques via notamment les phénomènes de ruissellement et de lessivage des sols. Le réceptacle final des eaux de la Charente est le bassin conchylicole de Marennes-Oléron, le plus important de France et d'Europe. Cette forte productivité est permise grâce à la présence d'une ressource trophique suffisamment abondante et de bonne qualité, composée en partie de phytoplancton. Le phytoplancton joue un rôle fondamental dans les écosystèmes grâce à sa fonction de producteur primaire : il soutient le développement des consommateurs primaires et secondaires. Le phytoplancton, constitué d'organismes photosynthétiques, peut être impacté par certains herbicides et développer, en cas d'exposition chronique, une forme de tolérance à ces polluants. L'objectif général du projet TOPHYPAC était d'évaluer, dans le panache de la Charente, l'impact éventuel de la contamination chimique par le cuivre et les pesticides sur les communautés phytoplanctoniques. Afin de remplir cet objectif, le projet a consisté en deux grandes phases : une étude environnementale a été couplée à une approche expérimentale sur les communautés naturelles transplantées en laboratoire et exposées au cuivre et à deux mélanges d'herbicides.



MÉTHODES

Pour l'étude environnementale, des campagnes d'échantillonnage ont été réalisées deux fois par mois durant trois ans au niveau de quatre stations dans l'estuaire de la Charente. Le suivi des paramètres hydrologiques a été réalisé à l'aide de sondes immergées. Des prélèvements ont été effectués afin d'analyser les nutriments (par absorption moléculaire et fluorescence), les métaux (par spectrométrie de masse), les pesticides (chromatographie liquide ou gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem ou à la spectrofluorimétrie) et les communautés phytoplanctoniques (microscopie, cytométrie en flux).

Pour la partie expérimentale, les communautés phytoplanctoniques ont été prélevées et exposées en laboratoire à des concentrations croissantes en cuivre ainsi qu'à deux mélanges d'herbicides (glyphosate, métolachlore et mésotrione en 2012 ; glyphosate, S-métolachlore, diméthénamide et métamitron en 2013). Les effets des contaminants sur les communautés ont été évalués sur l'efficacité de la photosynthèse mesurée par PAM (Pulse Amplitude Modulation) Fluorescence après 2 h d'exposition en conditions contrôlées (lumière artificielle ; température identique à celle de l'environnement) ; des mesures d'abondance de différents groupes (analysés par cytométrie en flux) ainsi que les niveaux de fluorescence relative au contenu en chlorophylle ont également été exploités. Les résultats des mesures réalisées au cours des expérimentations ont été traités avec un programme permettant de déterminer les concentrations en cuivre et en herbicides responsables d'une inhibition de 10 % des paramètres considérés (CE₁₀).



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Le projet TOPHYPAC a permis de dresser un état des lieux de l'estuaire de la Charente, par l'étude de paramètres environnementaux dont : (i) la contamination chimique par les métaux et pesticides et (ii) l'abondance et l'évolution spatio-temporelle des communautés phytoplanctoniques. Concernant les pesticides, les analyses révèlent une présence quasiment permanente des herbicides glyphosate (et son métabolite l'AMPA) et métolachlore au niveau de la station la plus en amont (Fort Lupin), à l'exception de quelques mois sur les trois années de suivi. Ces molécules sont non seulement les plus présentes, mais elles sont souvent les plus concentrées et sont parfois retrouvées jusqu'aux stations les plus avales. Leur présence récurrente est révélatrice d'une forte utilisation au niveau du bassin versant, principalement dans la première partie de l'année. La période de printemps et début d'été est également celle où d'autres molécules sont présentes dans l'environnement telles que : diméthénamide, acétochlore, bentazone, mésotrione, métamitron.

L'évolution spatio-temporelle des communautés phytoplanctoniques au niveau de l'estuaire a été abordée de manière globale mais aussi plus en détails sur des sous-communautés : micro-phytoplancton, nano-phytoplancton, pico-phytoplancton et les cyanobactéries *Synechococcus sp.* Les analyses réalisées indiquent une influence prépondérante de la température, liée à la saisonnalité, sur l'abondance globale de la communauté ; cependant des paramètres tels que la salinité ou la turbidité, ainsi que le rayonnement, influencent aussi notablement les sous-communautés. Concernant les *Synechococcus sp.*, le modèle d'analyse utilisé a permis de mettre en évidence une période pendant laquelle ce genre était anormalement peu abondant, au printemps 2012. La survenue concomitante d'une importante desalure (arrivée d'eau douce qui entraîne une baisse de la salinité) accompagnée de pesticides pourrait constituer un facteur permettant d'expliquer en partie ce phénomène.

Au niveau expérimental, les expositions des communautés au cuivre ont montré une sensibilité plus importante de celles-ci en 2012 à la plupart des paramètres avec une forte variabilité, sans qu'une tendance évidente ne ressorte entre les différentes stations. Une sensibilité très marquée des *Synechococcus sp.* au cuivre a été démontrée, avec des valeurs de CE₁₀ parfois de l'ordre du µg/L voire inférieures (concentrations retrouvées dans le milieu). Le mélange d'herbicides utilisé en 2012 n'a conduit à aucun effet significatif aux concentrations testées sur les communautés, quelle que soit la période. En 2013, le mélange modifié a entraîné des effets significatifs uniquement sur l'efficacité de photosynthèse, et relativement stables au niveau spatial (stations) et temporel (saisons). Il semble que les essais réalisés du printemps à l'automne au cours de deux années consécutives ne permettent pas de mettre en évidence une sensibilité particulière du phytoplancton aux concentrations environnementales des herbicides testés.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

La sensibilité démontrée des cyanobactéries du genre *Synechococcus sp.* à certaines variations des conditions environnementales pourrait être exploitée afin d'intégrer ce paramètre dans les réseaux de suivi ou d'observation du milieu. Un protocole simple d'exposition et de mesure pourrait être établi afin d'utiliser ces organismes comme indicateurs de la qualité du milieu et de pouvoir pousser les investigations aux périodes « critiques » pour comprendre les phénomènes en jeu.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

La compréhension des effets des pesticides passe par la prise en compte : (i) de durées d'expositions plus longues à des concentrations environnementales, (ii) des interactions entre molécules, mais aussi avec les paramètres du milieu comme la matière organique dissoute qui peut influencer la spéciation chimique, la biodisponibilité et la toxicité des molécules. Enfin, un enjeu de taille concerne l'impact du phytoplancton contaminé sur les consommateurs, tels que les bivalves exploités.



VALORISATION

COLLOQUES

- Colloque écotoxicologie microbienne, Banyuls sur mer, 2014.
- Colloque Ecobim, Reims 2012.
- Colloque Pesticides, Dijon 2012.
- Séminaire Pesticides, LabEX COTE, Bordeaux 2012.
- Colloque Pesticides, Tours 2011.

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Béchemin C. (2012) Présentation du projet à la Région Poitou-Charentes, mars 2012.

ENSEIGNEMENT / FORMATION

- Deux stages de Master 2 : Nathalie Coquillé (sciences de la mer et du littoral, mention sciences biologiques marines) et Stéphane Guesdon (Ecologie et Dynamique des Littoraux et Estuaires)
- Un stage Intechmer (Technicien supérieur de la mer) : Célia Khélifi
- Un contrat d'apprentissage (DUT Génie biologique) : Alexandra Duchemin

RESPONSABLE SCIENTIFIQUEPhilippe **LE GRUSSE**
*legrusse@iamm.fr*CENTRE INTERNATIONAL DES HAUTES ÉTUDES AGRONOMIQUES MÉDITERRANÉENNES
institut agronomique méditerranéen de Montpellier
(CIEHAM-IAMM)**PARTENAIRES**

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE L'HÉRAULT

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN DE L'ÉTANG DE L'OR

OFFICES DE MISE EN VALEUR AGRICOLE
(GHARB, LOUKKOS), MAROCDIRECTION RÉGIONALE DES EAUX ET FORÊTS ET DE
LA LUTTE CONTRE LA DÉSERTIFICATION
DU NORD OUEST- KÉNITRA, MAROC**GESTION DE LA TOXICITÉ EN ZONE RAMSAR**

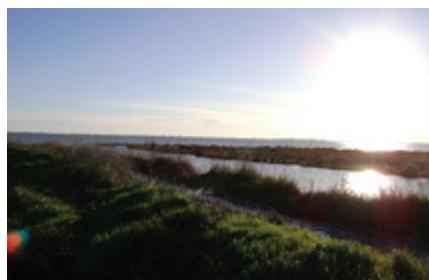
2009-2014

**MOTS-CLÉS**

Zone Ramsar, démarche participative, indicateurs de risques, territoire, pesticides

**EN QUELQUES MOTS**

Dans le cadre d'une démarche participative, le projet Tram a produit un cadre méthodologique, des instruments et des indicateurs permettant de tester les impacts agro-environnementaux et technico-économiques d'une réduction raisonnée de l'utilisation des pesticides au niveau de deux territoires classés zone Ramsar : le bassin de l'Étang de l'Or dans l'Hérault (Figure 1) et la Merja Zerga au Maroc (Figure 2).

Figure 1 : Étang de l'Or (Hérault)
(© Elisabeth Mandart).Figure 2 : Lagune de la Merja Zerga (Maroc)
(© Philippe Le Grusse).**CONTEXTE ET OBJECTIF**

Pour mener une politique de prévention des risques dus à l'emploi de produits phytosanitaires, il est nécessaire de disposer de critères d'évaluation de ces risques. Les politiques actuelles de réduction des produits phytosanitaires utilisent essentiellement des indicateurs «de pression», dont l'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT), qui ne reflète pas les risques liés à la toxicité des produits sur la santé humaine et l'environnement. Sur les territoires, les différents acteurs de terrain (agriculteurs, gestionnaires, techniciens de chambres d'agriculture et de coopératives, etc.) expriment le besoin d'indicateurs de gestion des risques des pratiques phytosanitaires, qui doivent être synthétiques et adaptables aux circonstances de l'environnement récepteur et de la parcelle cultivée en permettant une utilisation à différentes échelles spatiales (parcelle culturale, exploitation, jusqu'au territoire). Pour répondre à ce besoin d'outils opérationnels pour l'aide à la réflexion pour la gestion des pratiques phytosanitaires, l'objectif du projet était d'intégrer différents indicateurs de pression (IFT) et de risques (Indicateur de Risque Santé Applicateur - IRSA, et Indicateur de Risque de Toxicité sur l'Environnement - IRTE) dans un modèle de simulation technico-économique de l'agriculture au niveau d'un bassin versant. Ce modèle a permis d'organiser des séances de simulation avec les acteurs locaux pour évaluer l'impact de changements de pratiques sur un territoire.

**MÉTHODES**

Basés sur des travaux norvégiens, québécois, et du groupe de travail européen FOCUS, deux indicateurs d'évaluation de risque de toxicité ont été finalisés dans le cadre du projet : le premier sur la santé humaine de l'utilisateur et du voisinage (IRSA) et le deuxième sur l'environnement (IRTE). L'IRSA évalue les toxicités aiguë et chronique des produits phytosanitaires en considérant les propriétés physico-chimiques et toxicologiques des ma-

tières actives et exprime aussi le risque associé à l'utilisation du produit (quantité, formulation et technique d'application). L'IRTE est la somme de six variables évaluant les impacts écotoxicologiques sur les organismes vivants non-cibles (invertébrés terrestres, oiseaux, organismes aquatiques) et les comportements physicochimiques dans le milieu récepteur (mobilité, persistance dans le sol et bioaccumulation). Il attribue à ces variables un poids avant de les intégrer au calcul. Ces indicateurs à notation (une note est affectée en fonction du niveau de risque) sont génériques et modulables suivant les pratiques phytosanitaires, l'échelle spatiale et les conditions du milieu physique. Ils peuvent être désagrégés en sous-indicateurs (toxicité aiguë et toxicité chronique dans la valeur de l'IRSA, et part de toxicité des compartiments air, eau et sol dans la valeur de l'IRTE). Pour automatiser les calculs de ces deux indicateurs, un logiciel de calcul (« EToPhy») a été développé dans le cadre du projet.

Ces indicateurs ont été utilisés comme paramètres dans des outils interactifs d'aide à la réflexion au niveau d'une exploitation agricole ou d'un territoire, dans le cadre d'une approche participative après collecte des données phytosanitaires et économiques auprès d'agriculteurs et de coopératives agricoles. Plusieurs outils ont été mobilisés dans la démarche, à différentes échelles : un outil de représentation spatiale (système d'information géographique – SIG, Figure 3), un modèle de simulation technico-économique (Olympe, Figure 4) et un modèle d'optimisation des systèmes de production agricole.

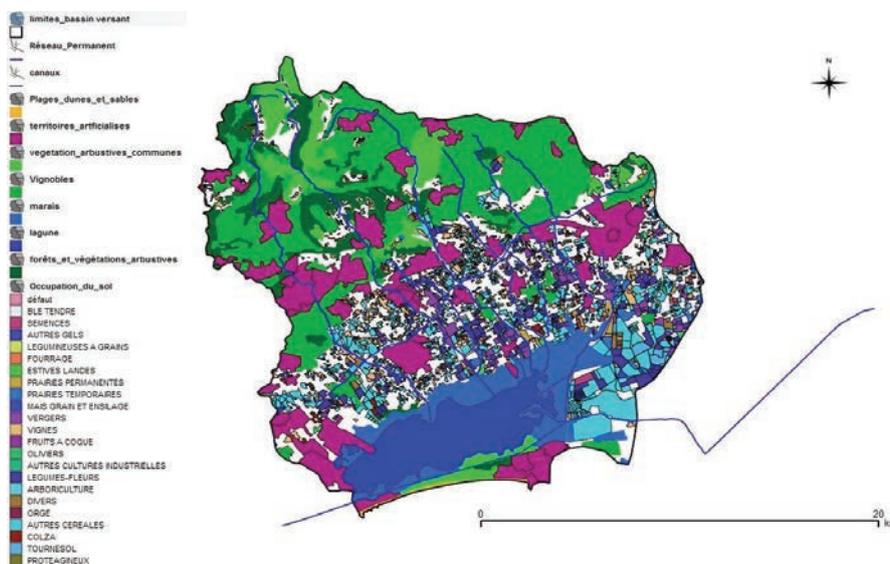


Figure 3 : SIG Etang de l'Or (© O. Mghirbi).

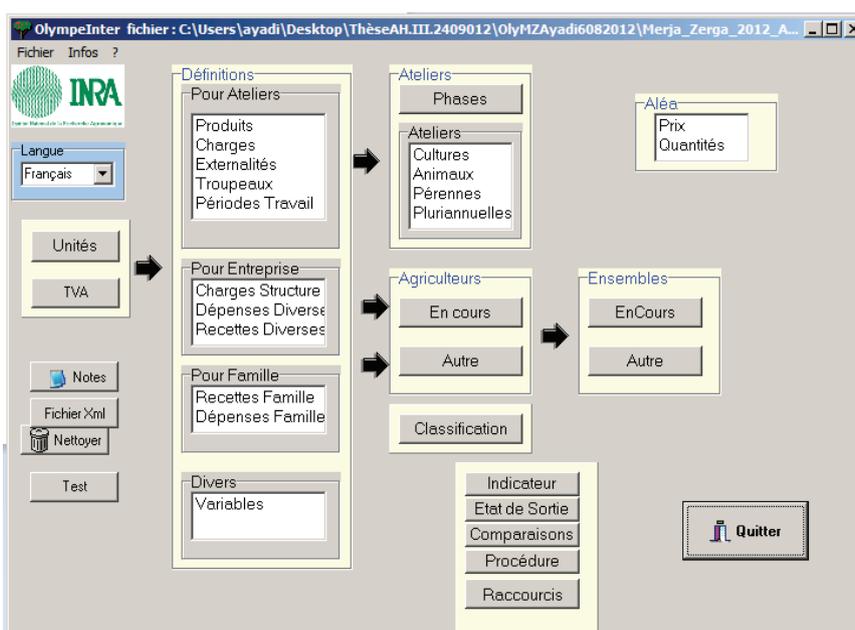


Figure 4 : Plateforme de modélisation Olympe (<http://www.olympe-project.net/>).



PRINCIPAUX RÉSULTATS LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Développement du logiciel EToPhy

Le logiciel EToPhy est le moteur de calcul des indicateurs de risque (IRSA et IRTE). Les données d'entrée sur les produits phytosanitaires sont issues de la jointure entre la base de données des propriétés physico-chimiques des molécules chimiques (Footprint) et la base de données des produits phytosanitaires (Agricommand). Ce logiciel permet de déterminer les indicateurs de risque de toxicité en fonction du type de produit (cible, formulation), des cultures et de l'exposition (dose homologuée ou appliquée). Ces indicateurs sont utilisables à différentes échelles (parcelles, exploitations agricoles, territoire).

Diagnostic des pratiques phytosanitaires

La démarche de diagnostic menée avec les exploitants agricoles sur plusieurs années a permis d'évaluer la variabilité interannuelle, la variabilité entre agriculteurs et entre les différentes cultures. Les analyses menées montrent qu'à l'échelle des exploitations la plus grande variabilité entre les indicateurs reflète les stratégies individuelles de choix des produits et des pratiques phytosanitaires entre les agriculteurs. Des analyses des pratiques phytosanitaires au niveau des parcelles ont permis d'évaluer l'impact des produits utilisés sur la santé de l'applicateur et l'environnement. Les résultats obtenus indiquent qu'il existe, pour certains produits, une corrélation entre l'IFT, l'IRSA et l'IRTE. Cependant, dans la grande majorité des cas, il n'y a pas, à ce niveau d'analyse, de corrélation entre l'IFT et les indicateurs de risque de toxicité ; il y a également quelques cas d'opposition entre risque santé et risque environnemental.

Par ailleurs, la possibilité d'analyser les itinéraires techniques avec des sous-indicateurs (pour l'IRSA, toxicité aiguë et toxicité chronique ; pour l'IRTE, au niveau de différents compartiments air, eau et sol) permet d'affiner les stratégies en termes de choix de produits.

Jeu de simulation pour l'aide à la décision dans les pratiques phytosanitaires au niveau d'un territoire : SimPhy

Un jeu de simulation a été développé, SimPhy (Simulation des pratiques phytosanitaires), mettant les acteurs en situation de gestion des exploitations agricoles sous contraintes de réduction des phytosanitaires (quantité et toxicité) et de marché. SimPhy est un jeu piloté (avec des objectifs et des contraintes imposées par l'animateur) composé de deux phases, au cours desquelles un certain nombre de scénarios sont testés, les joueurs étant amenés à décider des assolements et des itinéraires techniques sous contraintes. Dans la première phase, la gestion des exploitations est faite individuellement sans concertation entre les joueurs et sous contraintes de type d'années de pression phytosanitaire, de marché et de réglementations. Dans la deuxième phase, la gestion des exploitations est faite collectivement en concertation et avec négociation des règles et des stratégies entre les joueurs. Le jeu SimPhy permet un dialogue direct avec et entre les acteurs et facilite l'apprentissage de la concertation.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

La démarche participative développée, notamment dans le cadre de séances de simulation collectives, a déjà permis de définir de nouveaux leviers dans la gestion des produits phytosanitaires sur les deux territoires étudiés. Les perspectives de transfert se situent dans le développement, en cours, d'applications métiers du logiciel EToPhy sur le web, pour une utilisation interactive des indicateurs pour l'aide à la réflexion des acteurs de terrain.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

La limite opérationnelle de ces démarches réside aujourd'hui essentiellement dans la gestion de l'information sur les pratiques agricoles. La construction d'un système d'information collaboratif, basé sur les principes de « l'Intelligence Territoriale », est donc un processus indispensable pour imaginer implanter de manière opérationnelle un système de « Gestion intégrée des pesticides » sur un territoire. Il est donc nécessaire de développer des outils de suivi pour les acteurs de terrain, permettant de mesurer et ainsi d'évaluer leur contribution à la transition « agroécologique » au niveau du territoire.



VALORISATION

PUBLICATION SCIENTIFIQUE

- Ayadi H., Le Bars M., Le Grusse Ph., Mandart E., Fabre J., Bouaziz A, Bord J-P. (2014) SimPhy: a simulation game to lessen the impact of phytosanitaires on health and the environment – The case of Merja Zerga in Morocco, Environmental Science and Pollution Research, 21: 4950-4963.

COMMUNICATIONS AVEC ACTES

- Le Grusse Ph., Mandart E., Ayadi H., Mghirbi O., Ellefi K., Trabelsi M., Fabre J., Bord JP. (2014) Gestion intégrée des pesticides et Intelligence Territoriale, Actes du 44^e Congrès du Groupe Français des Pesticides à Fort de France Martinique Université Antilles Guyane Complexe de Schoelcher, 26-29 Mai 2014.
- Trabelsi M., Mandart E., Le Grusse Ph, Bord J.P. (2014) Réduction des pesticides : Une réflexion sur l'évaluation de l'efficacité des processus de transition « agroécologique, Actes du 44^e Congrès du Groupe Français des Pesticides à Fort de France Martinique Université Antilles Guyane Complexe de Schoelcher, 26-29 Ma i2014.
- Mghirbi O., Ellefi K, Le Grusse Ph., Fabre J., Mandart E., Ayadi H., Bord J.-P. (2013) Corrélation et antinomie entre risque environnemental et risque santé humaine dans les pratiques phytosanitaires : des indicateurs d'évaluation pour gérer les risques. Actes 43^e congrès du Groupe Français des Pesticides, 29-31 mai 2013, Albi (Soumis in Environmental Science and Pollution Research)
- Ayadi H., Le Grusse Ph., Mandart E., Fabre J., Bouaziz A., Bord JP. (2013) Evaluation de l'iniquité spatiale de la pollution phytosanitaire diffuse sur la « santé environnementale des agriculteurs »: couplage d'indicateurs de pression et de toxicité avec un SIG : Une application sur le bassin versant de la Merja Zerga au Maroc. Actes 43^e congrès du Groupe Français des Pesticides, 29-31 mai 2013, Albi.
- Le Grusse Ph., Ayadi H., Mouileh Z., Mandart E., Le Bars M., Rio P., Bouaziz A., Bord JP. (2012) Jeu de simulation pour une gestion concertée de la pollution phytosanitaire au niveau d'un bassin versant agricole : cas de la Merja Zerga au Maroc. Actes 42^e. Congrès du Groupe Français des Pesticides : Nouveaux Enjeux et Stratégies Novatrices pour la Protection des Plantes Cultivées dans un Contexte de Développement Durable, 30/05-01/06/2012, Poitiers.
- Ayadi H., Le Grusse Ph., Fabre J., Mandart E., Bouaziz A., Bord J-P. (2012) Indicateurs et diagnostic de la pollution phytosanitaire diffuse d'origine agricoles: construction d'un indicateur de risque de toxicité environnementale (IRTE). Actes 42^e Congrès du Groupe Français des Pesticides : Nouveaux Enjeux et Stratégies Novatrices pour la Protection des Plantes Cultivées dans un Contexte de Développement Durable, 30/05-01/06/2012, Poitiers.
- Ayadi H., Le Grusse P., Mandart E., Fabre J., Bouaziz A., Bord JP. (2011) Indicateurs et démarche de gestion collective des risques phytosanitaires au niveau d'un bassin versant agricole en amont d'une zone humide Ramsar. Actes du 41^e congrès du Groupe Français des Pesticides, Mai 2011 Orléans.

AUTRES COMMUNICATIONS

- Mghirbi O, Ellefi K., Le Grusse Ph., Mandart E., Fabre J., Bord JP. (2014) Indicateurs pour la gestion des risques liés aux pratiques phytosanitaires. 2^e colloque national «Contaminants, Environnement et Santé» Thématique Pesticides de l'ANCSEP (l'Agence Nationale de Contrôle Sanitaire et Environnemental des Produits), 28 et 29 avril 2014 à Hammamet Tunisie.
- Ellefi K., Mghirbi O., Le Grusse Ph., Mandart E., Fabre J. (2014) Modèle de simulation pour la réduction de l'utilisation des pesticides sur un bassin versant côtier au Sud-Est de la France, 2^e colloque national «Contaminants, Environnement et Santé» Thématique Pesticides de l'ANCSEP (l'Agence Nationale de Contrôle Sanitaire et Environnemental des Produits), 28 et 29 avril 2014 à Hammamet Tunisie

POSTER

- Trabelsi M, Mandart E., Le Grusse Ph., Bord JP. (2014) La transition agro-écologique est-elle une alternative réaliste à l'usage des pesticides ? 2^e colloque national «Contaminants, Environnement et Santé» Thématique Pesticides de l'ANCSEP (l'Agence Nationale de Contrôle Sanitaire et Environnemental des Produits), 28 et 29 avril 2014 à Hammamet Tunisie. (Premier Prix des présentations du colloque)

THÈSES

- Mghirbi O. Résilience des exploitations agricoles sous contrainte de réduction des risques de toxicité liés aux pratiques phytosanitaires : Cas du bassin versant de l'étang de l'Or. Doctorat en Géographie et aménagement de l'espace de l'Université Montpellier III (en cours, débutée en 2012).
- Trabelsi M. Indicateurs et méthodes d'évaluation des processus de transition Agro-écologique au niveau d'un territoire. Doctorat en Géographie et aménagement de l'espace de l'Université Montpellier III (en cours, débutée en 2012).
- Ayadi-Hajji H. Outils de gestion de la pollution phytosanitaire diffuse au niveau d'un territoire : Cas d'application à la zone humide Ramsar de la Merja Zerga au Maroc. Doctorat en Géographie et aménagement de l'espace soutenu le 12 décembre 2013 à l'Université Montpellier III.

CONFÉRENCES INVITÉS

- Le Grusse Ph. (2013). Quelles données pertinentes pour quels outils d'aide à la décision ? Séminaire thématique du GTAS 2 Capteurs et données dans le domaine de l'eau, 24 Avril 2013 Ecole des Mines Alès.
- Mandart E., Le Grusse Ph., Ayadi H., Fabre J., Mghirbi O., Ellefi K., et Promotion 2012-2013 Master GAT « Gestion Agricole et Territoires » CIHEAM-IAMM. (2013) Les Indicateurs de Risque de Toxicité des pesticides sur la Santé Humaine et l'Environnement et leurs applications. Colloque Université Montpellier 2 Biotrace, Montpellier 30 janvier 2013 Agropolis.
- Le Grusse Ph., Mandart E., Ayadi H., Fabre J. (2013) L'indicateur de risque de toxicité humaine (IRTH). Séminaire « Phyto Santé tous concernés » Chambre d'Agriculture Régionale Poitou Charentes 17 Décembre Lycée Agricole de Poitiers-Venours.

BREVET / PROTECTION DE PROGRAMME

- Le Grusse Ph., Mandart E., Fabre J. (2011) Dépôt à l'Agence de protection des programmes du Logiciel EToPhy « Evaluation de la Toxicité des produits Phytosanitaires » (Développement réalisé dans le cadre d'un partenariat Recherche et Entreprise : CIHEAM-IAMM, CNRS, Diataé). Dépôt APP n° IDDN.FR.001.0600 17.000.D.C.2011.000.31500

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Fabrice **MARTIN-LAURENT**
 fabrice.martin@dijon.inra.fr
 INRA-AGRO SUP DIJON-
 UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE
 UMR Agroécologie

PARTENAIRES

INRA VERSAILLES
 UR Physicochimie et Ecotoxicologie
 des SolS Agrosystèmes Contaminés
 (PESSAC)

INRA-AGROPARISTECH GRIGNON
 UMR Environnement et Grandes Cultures
 (EGC)

IRSTEA VILLEURBANNE
 UR Milieux Aquatiques,
 Ecologie et Pollutions

**DÉVELOPPEMENT D'INDICATEURS MICROBIENS POUR
 L'ÉVALUATION DE L'IMPACT DES PESTICIDES SUR DES
 FONCTIONS ÉCOSYSTÉMIQUES TERRESTRES ET
 AQUATIQUES**

2012 - 2016



MOTS-CLÉS

Pesticides, écotoxicologie microbienne



EN QUELQUES MOTS

Les dernières évolutions réglementaires incitent les agriculteurs à diminuer le recours aux pesticides mais les pratiques agricoles en dépendent encore largement. Les conséquences environnementales de l'application de pesticides sont constatées par la détérioration de la qualité des masses d'eau. L'impact de la contamination des agrosystèmes par des résidus chimiques sur les fonctions remplies par la biodiversité reste peu décrit. Le projet IMPEC vise à développer des méthodes pour évaluer l'impact produit par des pesticides sur les communautés microbiennes terrestres et aquatiques ainsi que sur les fonctions écosystémiques qu'elles assurent.



CONTEXTE ET OBJECTIF

Dans les compartiments terrestres et aquatiques des agrosystèmes, les microorganismes sont abondants, diversifiés et actifs. Ils sont impliqués dans différentes fonctions écosystémiques telles que le cycle des nutriments et le rôle filtre des sols. Bien que le concept d'assurance écologique attribue une valeur positive à la biodiversité, les conséquences de la contamination des agrosystèmes par des pesticides sur le fonctionnement des microorganismes demeurent controversées. Les avancées récentes de l'écologie microbienne ont permis le développement de nouveaux marqueurs pouvant rendre compte des effets de pesticides sur des fonctions écosystémiques remplies par les microorganismes. Ces marqueurs pourraient s'avérer intéressants pour évaluer/prévoir le risque environnemental de nouveaux pesticides mais aussi suivre la restauration de milieux contaminés, via l'évolution des fonctions écosystémiques rendues par les différents compartiments de l'environnement (sol et eau).

Dans ce contexte, le projet IMPEC vise à développer des indicateurs microbiens, en utilisant entre autres de nouvelles approches moléculaires utilisées en écologie microbienne, pour estimer l'impact des pesticides sur des fonctions écosystémiques terrestres et aquatiques: (i) la dégradation de différents composés carbonés et la nitrification, qui sont liées au service cycle des nutriments et (ii) la dégradation de différents composés pesticides liée au service filtre.



MÉTHODES

Le projet IMPEC est composé de trois actions : Typologie des pesticides pour définir les différents scénarios d'exposition des communautés (a), évaluation *a priori* (b) et *a posteriori* (c) de l'impact des pesticides sur des fonctions écosystémiques.

Le choix des pesticides testés (action a) dans l'évaluation *a priori* a été établi en utilisant la méthodologie TyPol (Servien et al., 2014). Cette méthodologie a été appliquée pour classer les pesticides (i) retrouvés dans le contexte viticole de la Morcille et (ii) appliqués sur des systèmes de grandes cultures

(dispositif PIC adventice, Dijon) sur la base du registre des pesticides détectés dans la Morcille et de l'historique des pesticides appliqués sur le dispositif PIC, respectivement.

L'évaluation *a priori* (action b) de l'impact de différents pesticides seuls ou appliqués en mélange, à des doses réalistes, sur des fonctions microbiennes a été conduite sur des microcosmes de sols ou de sédiments incubés en conditions de laboratoire. Dans chacune de ces études la dissipation des pesticides a été suivie afin de définir l'évolution du scénario d'exposition des communautés microbiennes. Des méthodes ont été appliquées pour estimer l'impact des pesticides sur des fonctions microbiennes du cycle des nutriments (C et N) et de la capacité épuratrice. Ces méthodes visent à quantifier des marqueurs d'abondance, de structure et d'activités des populations microbiennes impliquées dans ces fonctions.

L'évaluation *a posteriori* (action c) de l'impact de pesticides sur des fonctions écosystémiques remplies par des microorganismes des sols ou des sédiments sera menée dans deux contextes agricoles différents : grandes cultures (dispositif PIC) et viticulture (Morcille). Les méthodologies seront similaires à celles employées en (b) mais les mesures seront effectuées sur des échantillons de sol et/ou de sédiments prélevés à différentes périodes de l'année, caractérisées par des chroniques d'exposition contrastées, en fonction des calendriers de traitement.



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

1- Choix des molécules et des mélanges de substances actives par approche TyPologique

La TyPologie des pesticides détectés dans le suivi chimique de la Morcille (contexte viticole) et appliqués sur le dispositif PIC de l'INRA de Dijon (contexte grandes cultures) a été réalisée à l'aide de l'outil TyPol afin de définir les différents scénarios d'exposition des communautés microbiennes. Au total 68 pesticides (35 herbicides, 17 fongicides et 16 insecticides) et 41 métabolites ont été analysés avec TyPol selon deux options :

- Option 1 : Classement avec tous les paramètres environnementaux (Sw, Kow, pression de vapeur, constante de Henry, Koc, DT50 et BCF) et tous les descripteurs moléculaires ;
- Option 2 : Classement avec 2 paramètres environnementaux clefs, Koc et DT50, et tous les descripteurs moléculaires.

Les deux options de classification ont abouti à une classification similaire des pesticides en 5 groupes (Figure 1).

L'appartenance à des groupes distincts sera un des éléments du choix des composés à considérer dans les mélanges étudiés dans la suite du projet.

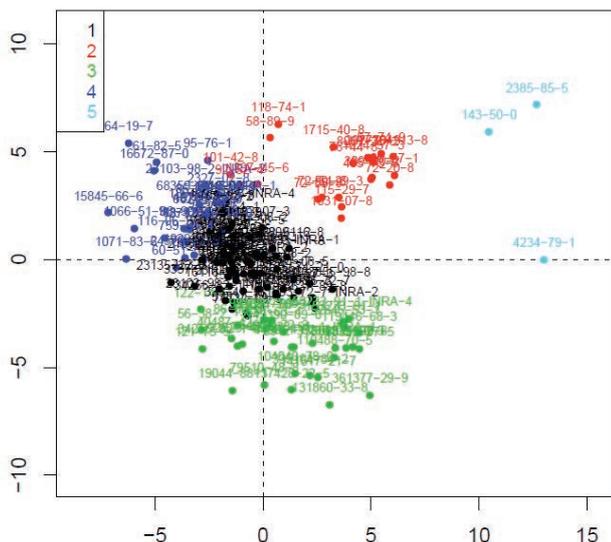


Figure 1 : Classification des pesticides en cinq groupes à l'aide de l'outil TyPol (option 2, régression PLS).

2- Evaluation *a priori* de l'impact des pesticides sur les fonctions écosystémiques ciblées

L'évaluation *a priori* de l'impact des pesticides a été menée sur des microcosmes de sédiments de la Morcille incubés au laboratoire. Le choix des pesticides testés a été raisonné en considérant (i) les pesticides retrouvés dans la Morcille et (ii) la TyPologie *in silico*. Trois composés ont été choisis : diméthomorphe, tébuconazole (fongicides) et glyphosate (herbicide). Ils ont été appliqués séparément ou en mélange dans les microcosmes. Des analyses (i) chimiques pour suivre la dissipation des pesticides, (ii) biochimiques pour mesurer l'activité microbienne des cycles du carbone et de l'azote, (iii) radiorespirométriques pour évaluer les capacités des communautés microbiennes à dégrader trois pesticides modèles, l'atrazine, le 2,4-D et le diuron, et (iv) moléculaires pour étudier la diversité et l'abondance de communautés microbiennes impliquées dans ces processus de biodegradation ont été réalisées.

L'analyse en cours des données générées montre que l'application de pesticides diminue à court terme certaines activités enzymatiques (notamment l'activité phosphatase et dans une moindre mesure l'activité β -glucosidase, Figure 2) ainsi que la capacité à dégrader l'atrazine et le 2,4-D (résultats non présentés).

Des expérimentations semblables seront menées sur différents types de sol présélectionnés en considérant un scénario d'exposition typique des grandes cultures.

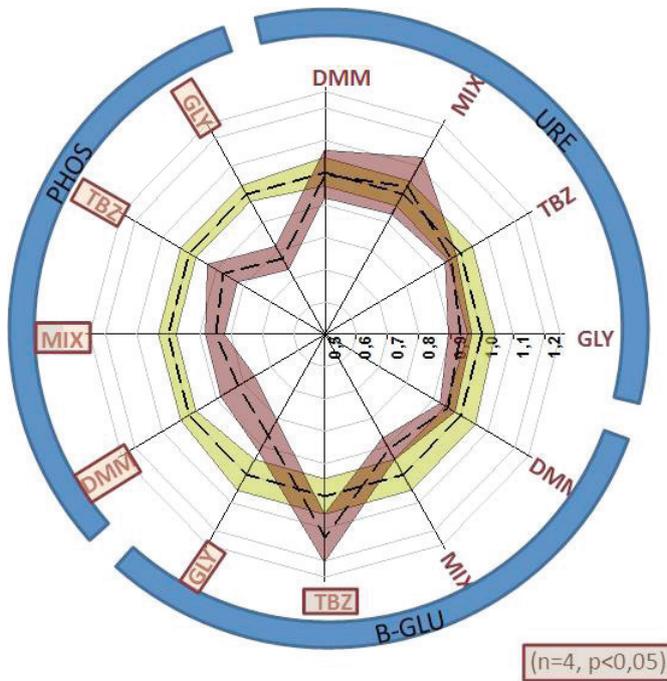


Figure 2 : Estimation de l'impact du tébuconazole (TBZ), du dimétorphe (DMM), du glyphosate (GLY) et du mélange (MIX) sur les activités enzymatiques uréases (URE), β -glucosidase (B-GLU) et phosphatases (PHOS) des communautés microbiennes des sédiments 4 jours après le traitement.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

IMPEC applique des méthodologies standardisées ou pouvant être standardisées auprès de l'ISO (International Standard Organization) pour évaluer l'impact de pesticides sur différentes matrices environnementales (sol, sédiment). L'objectif est d'identifier parmi ces méthodes celles qui pourraient être transférées vers les utilisateurs pour évaluer l'impact *a priori* et/ou *a posteriori* des pesticides sur la composante microbienne des sols et sur les fonctions écosystémiques qu'elle accomplit.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

IMPEC repose sur la combinaison de la TyPologie *in silico*, d'études expérimentales en mésocosmes et sur des échantillons environnementaux pour évaluer l'impact *a priori* et *a posteriori* de pesticides sur la diversité, l'abondance et l'activité des microorganismes. Ces travaux complexes posent la question des interactions entre les différents pesticides appliqués au cours d'un cycle cultural et de leur impact sur les communautés microbiennes terrestres et aquatiques.



VALORISATION

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Mamy L., Patureau D., Barriuso E., Bedos C., Bessac F., Louchart X., Martin-Laurent F., Miegé C., Benoit P. (2014) Prediction of the Fate of Organic Compounds in the Environment From Their Molecular Properties: A Review. *Critical Reviews in Environmental Sciences and Technology* (sous presse).
- Servien R., Mamy L., Li Z., Rossard V., Latrille E., Bessac F., Patureau D., Benoit P. (2014) TyPol – A new methodology for organic compounds clustering based on their molecular characteristics and environmental behavior. *Chemosphere*, 111: 613-622.
- Pesce S., Margoum C., Rouard N., Foulquier A., Martin-Laurent F. (2013) Freshwater sediment pesticide biodegradation potential as an ecological indicator of microbial recovery following a decrease in chronic pesticide exposure: A case study with the herbicide diuron. *Ecological Indicators* 29: 18-25.

COLLOQUES

- Pesce S., Martin-Laurent F. (2014) La biodégradation des pesticides: un paramètre fonctionnel sous-considéré en écologie et écotoxicologie microbienne ? UMR 6023 LMGE, Clermont-Ferrand, 26 mai 2014.
- Devers-Lamrani M., Pesce S., Rouard N., Crouzet O., Cheviron N., Martin-Laurent F. (2014) Impact écotoxicologique de pesticides sur les communautés microbiennes naturelles responsables de la biodégradation de pesticides dans les sédiments de rivière. 44^e congrès du Groupe Français des Pesticides. Schoelcher, Martinique, 26-29 Mai.
- Martin-Laurent F., Devers M., Rouard N., Crouzet O., Cheviron N., Pesce S. (2014) Ecotoxicological impact of pesticides on natural microbial communities responsible for pesticide biodegradation in river sediments. IUMS 2014, Montréal, Canada, 27 juillet-1er août 2014.
- Pesce S., Margoum C., Rouard N., Foulquier A., Martin-Laurent F. (2014) Freshwater sediment pesticide biodegradation potential as an ecological indicator of microbial recovery following a decrease in chronic pesticide exposure. IUMS 2014, Montréal, Canada, 27 juillet-1er août 2014.
- Foulquier S., Martin-Laurent F., Rouard N., Margoum C., Pesce S. (2014). Utilisation des mécanismes d'adaptation microbienne pour caractériser les conséquences écologiques de l'interdiction d'utilisation du diuron en zone viticole. Colloque d'Ecotoxicologie Microbienne. Banyuls-sur-mer, 21-23 mai 2014.

THÈSES

- Tadla Ch. (2013) La dégradation de l'atrazine: du champ au gène. Licence Professionnelle Microbiologie Industrielle et Biotechnologies. Université Claude Bernard Lyon I, France.
- Storck V. Estimation de l'impact écotoxicologique des pesticides sur les communautés microbiennes des sols agricoles : vers le développement de nouvelles recommandations et de nouvelles méthodes pour évaluer la toxicité des pesticides vis-à-vis des communautés microbiennes des sols (Financement du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Ecole Doctorale E2S, Université de Bourgogne, 2013 – 2016, Directeur de thèse : Fabrice Martin-Laurent).

ARTICLE DE VALORISATION / VULGARISATION

- Martin-Laurent F., Devers M., Pesce S. (2013) Influence de la biodégradation dans l'atténuation des pesticides sur un bassin versant viticole : potentialité des différents éléments du paysage et rôle des zones tampons. Innovations Agronomiques 28 : 35-48.

EXPERTISES

- Coordination auprès de l'ISO SC4 WG4 de l'essai inter-laboratoire international pour valider le standard ISO/DIS 17061.
- Participation au titre d'expert externe au sous-groupe de travail 'Recovery' du groupe de travail 'Evaluation du risque environnemental' (ERA) de l'Agence Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA).

MÉTHODOLOGIE

- ISO/DIS 17601 Soil quality — Estimation of abundance of selected microbial gene sequences by quantitative realtime PCR from DNA directly extracted from soil.

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES

Elisabeth BRO
 elisabeth.bro@oncfs.gouv.fr
 OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE ET
 DE LA FAUNE SAUVAGE (ONCFS)

James DEVILLERS
 j.devillers@ctis.fr
 CENTRE DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION
 SCIENTIFIQUE (CTIS)

MODÉLISATION DES ACCIDENTS DE PONTE CHEZ LA PERDRIX GRISE EN PLAINES DE GRANDE CULTURE, EN RELATION AVEC L'USAGE AGRICOLE DE PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES

2012 - 2015



MOTS-CLÉS

Oiseau terrestre, grande culture, produits phytopharmaceutiques, exposition potentielle/avérée, œufs, modélisation



EN QUELQUES MOTS

Le projet M6P contribue à l'évaluation des effets des produits phytopharmaceutiques (PPP) sur la reproduction des oiseaux terrestres en plaine de grande culture céréalière. La perdrix grise est le modèle d'étude (Figure 1). Le projet se compose de quatre volets : (1) la caractérisation de l'exposition des pontes aux PPP, (2) l'élaboration d'une typologie des pontes basée sur une série de descripteurs, (3) la caractérisation physico-chimique, biologique et écotoxicologique des PPP et l'élaboration d'une typologie des PPP et (4) à partir des résultats de modélisation rétrospective, l'élaboration de modèles prospectifs de non éclosion des pontes/œufs de perdrix en relation avec leur exposition aux PPPs.



CONTEXTE ET OBJECTIF



Figure 1 : Perdrix grise munie d'un émetteur radio
 (© L. Armand, FDC77).

La biodiversité aviaire est riche dans les écosystèmes agricoles. Or, elle a fortement régressé et son déclin persiste aujourd'hui malgré les actions mises en place par les politiques publiques. Cet état de fait est attribué à une série de facteurs interdépendants, principalement liés aux pratiques agricoles *sensu largo*.

Le projet a pour objectif d'apporter des éléments de connaissance sur les effets non intentionnels (ENI) de l'utilisation des PPP en agriculture sur la faune sauvage. Il s'intéresse spécifiquement au milieu cultivé et à l'avifaune, par le biais du modèle Perdrix grise, représentative des oiseaux terrestres. Le projet a pour objet ultime d'analyser les échecs d'éclosion des pontes et des œufs de perdrix (Figure 2) en relation avec l'épandage des PPPs, en tenant compte des traits d'histoire de vie des oiseaux et des facteurs biotiques et abiotiques de l'environnement.

Il vise *in fine* à apporter une contribution originale à la surveillance biologique du territoire et à aider les gestionnaires et les pouvoirs publics à asseoir leurs décisions sur des bases scientifiques bien établies dans des conditions opérationnelles d'exposition aux PPPs.



Figure 2 : Cas d'éclosion partielle d'une ponte de perdrix grise : six œufs n'ont pas éclos et ont été retrouvés intacts. L'un d'entre eux était clair, les cinq autres contenaient un embryon mort au stade 2-3 jours ou 10-15 jours. (© E. Bro, ONCFS).



MÉTHODES

Le travail se compose de quatre volets :

- **la caractérisation de l'exposition potentielle et avérée des pontes aux PPPs.** L'exposition potentielle est déterminée via une procédure de croisement des données d'utilisation de l'habitat par les perdrix (suivi télémétrique) et des épandages de PPPs (enquête auprès des agriculteurs) (Figure 3). Cette méthode tient compte de la variabilité spatio-temporelle à des échelles fines (parcelle et jour). L'exposition avérée sera établie sur la base de l'analyse de résidus dans les oeufs ;
- **l'élaboration d'une typologie des pontes** fondée sur une série de descripteurs des pontes, des oeufs et des embryons, tenant compte de traits d'histoire de vie de la perdrix et de facteurs biotiques et abiotiques de son milieu de vie ;
- **la caractérisation physico-chimique, biologique et écotoxicologique des substances actives** à l'aide de bases de données et de modèles *quantitative structure-activity relationship* (QSAR) / *quantitative structure-property relationship* (QSPR) (log P, PV, biodégradabilité, carcinogénicité, potentiel de perturbation endocrinienne) et l'élaboration d'une typologie des PPPs ;
- **l'utilisation des résultats de modélisation rétrospective** pour élaborer des modèles prospectifs (i.e. prédictifs) de non éclosion des pontes et/ou des œufs de perdrix en relation avec leur exposition aux PPPs. Le nombre de variables retenues et leur pouvoir explicatif et discriminant conditionnera le choix de la méthode à utiliser.

Cette interdisciplinarité mise en œuvre dans le projet et la production de modèles offre une réelle perspective de faire progresser les connaissances sur les ENI des PPPs sur la faune sauvage. Toutefois, la difficulté qui s'annonce dans les analyses à venir est celle de la complexité de l'exposition des perdrix et de leurs pontes *in natura*. Elle n'avait jamais été quantifiée en milieu cultivé et elle se révèle globalement bien plus complexe que pressentie. Cette problématique des « expositions multiples » est d'ailleurs un enjeu majeur de la recherche aujourd'hui.

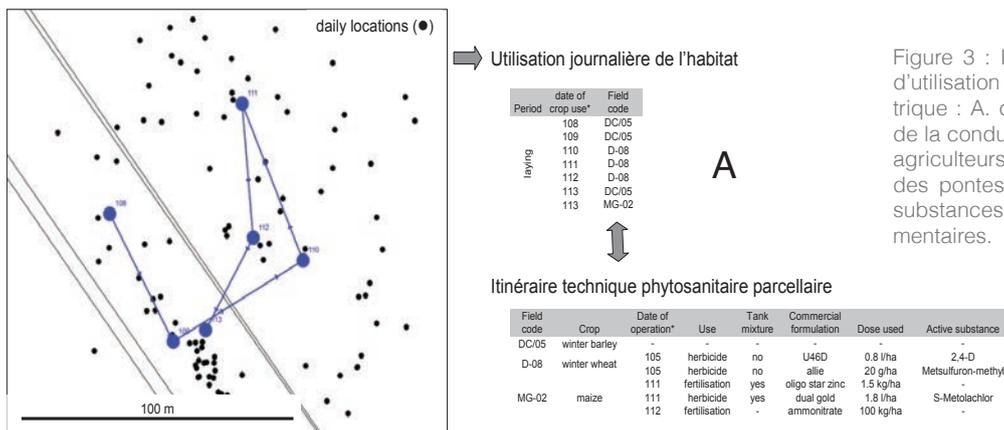
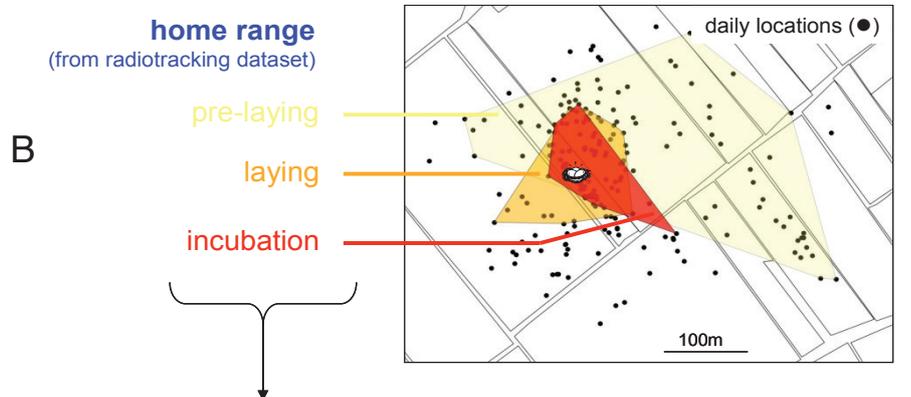


Figure 3 : Illustration du croisement des données d'utilisation de l'habitat par les perdrix (suivi télémétrique) : A. domaine vital ; B. série jour-parcelle) et de la conduite phytosanitaire des cultures (enquête agriculteurs) pour déterminer l'exposition potentielle des pontes aux produits phytopharmaceutiques / substances actives selon deux approches complémentaires.



active substance
(from pesticide dataset)

Period	Beginning*	End*	Field code	Crop	Date of operation*	Use	Tank mixture	Commercial formulation	Dose used	Active substance
pre-laying	93	108	M-04	poplar grove	-	-	-	-	-	-
			DC-06	rape	-	-	-	-	-	-
			D-08, D-09	winter wheat	105	herbicide	no	allie	20 g/ha	Metsulfuron-methyl
			D-08, D-09	winter wheat	105	herbicide	no	U46D	0,8 l/ha	2,4-D
			MG-02, MG-03	maize	-	-	-	-	-	-
			DC-04	maize	-	-	-	-	-	-
laying	108	132	DC-05	winter barley	-	-	-	-	-	-
			MG-02	maize	111	herbicide	yes	dual gold	1,8 l/ha	S-Metolachlor
			MG-02	maize	111	fertilizer	yes	oligo star zinc	1,5 kg/ha	-
			MG-02	maize	112	fertilizer	-	ammonitrate	100 kg/ha	-
			MG-02	maize	130	fertilizer	-	axis 31	160 ka/ha	-
			DC-05	winter barley	-	-	-	-	-	-
incubation	132	156	D-08	winter wheat	-	-	-	-	-	-
			MG-02, MG-03	maize	134	herbicide	yes	callisto	0,7 l/ha	Mesotrione
			MG-02, MG-03	maize	134	herbicide	yes	emblem	0,4 kg/ha	Bromoxynil octanoate
			MG-02, MG-03	maize	144	fertilizer	-	uree	150 kg/ha	-
			MG-02, MG-03	maize	145	insecticide	-	karate zeon	0,125 l/ha	lambda-Cyhalothrin
			DC-05	winter barley	-	-	-	-	-	-
D-08	winter wheat	-	-	-	-	-	-	-		

alendar date

Dans le graphique B, la localisation de la perdrix est indiquée pour un seul des deux pointages journaliers pour une question de lisibilité de la figure. Les triangles situés sur les lignes indiquent le sens du mouvement. Les nombres correspondent aux jours calendaires.



PRINCIPAUX RÉSULTATS INTERMÉDIAIRES LIEN AVEC LE PLAN ÉCOPHYTO

Plusieurs résultats nouveaux et intéressants concernant la typologie d'exposition des pontes *in natura* et la typologie des PPPs (modélisation rétrospective) ont été acquis (Figure 4) :

- Les trois quarts des pontes sont potentiellement exposées à au moins une substance. Cette forte prévalence laisse supposer un impact populationnel en cas d'effet biologique avéré ;
- Les expositions potentielles ont principalement lieu en période d'ovogénèse et de ponte, c'est-à-dire à des stades précédant le développement embryonnaire, ce qui augmente la probabilité que ce dernier soit impacté ;
- Des expositions multiples parfois très complexes (exposition à plus de 20 substances en quelques semaines) ont été décrites ;
- Les expositions multiples résultent de l'utilisation de co-formulants commerciaux, de mélanges extemporanés et de l'utilisation de l'espace par les perdrix. Les caractéristiques de l'habitat *a priori* favorables à une forte abondance de l'espèce sont susceptibles d'augmenter le nombre et la diversité des expositions ;
- Les substances auxquelles les pontes sont potentiellement exposées sont nombreuses (près de 200 substances sont utilisées par les agriculteurs) et structurellement très variées. Beaucoup sont lipophiles, ont une faible volatilité et présentent une forte rémanence. En outre certaines ont un pouvoir perturbateur endocrinien ou carcinogène. Ces caractéristiques laissent craindre un potentiel reprotoxique, ce que tendent à corroborer les données existantes de toxicité (NOEL) et d'évaluation du risque (TER) ;
- La typologie des substances actives caractérisées par leur propriétés physico-chimiques et biologiques met en évidence une grande diversité de profils. Les propriétés de biodégradabilité et de coefficient de partage 1-octanol/eau semblent les plus structurantes.

Ces résultats présentent un fort intérêt cognitif concernant d'une part l'identification et la caractérisation des substances actives actuellement utilisées en grande culture, et d'autre part la quantification et la compréhension des mécanismes d'exposition des pontes d'oiseaux terrestres. Cet apport de connaissances contribue aux objectifs de la surveillance biologique du territoire.

Le second apport est d'ordre méthodologique. Le travail d'ores et déjà réalisé propose une méthode innovante de détermination de l'exposition des pontes aux PPPs et des typologies. Ces outils méthodologiques et informatiques, développés sur la perdrix dans le cadre de ce travail, seront utilisables pour d'autres modèles biologiques.

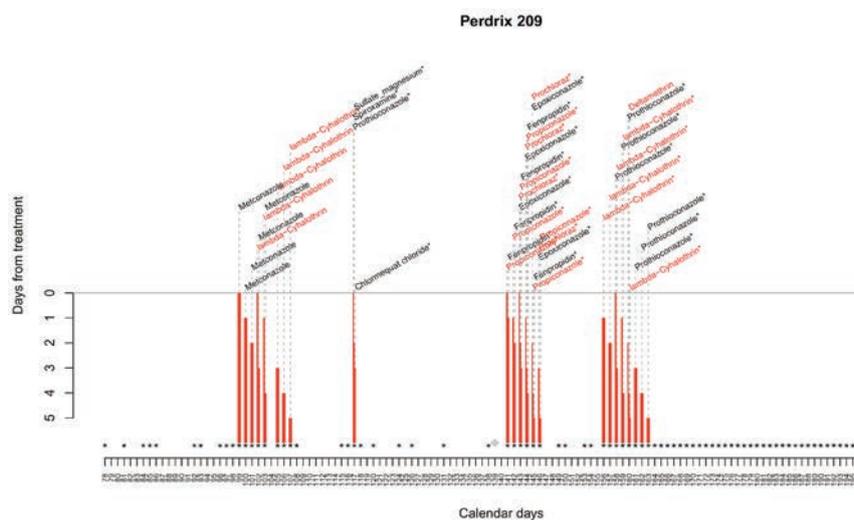


Figure 4: Exposition potentielle de la perdrix n° 209 aux substances présentes dans les différentes parcelles où sa présence a été détectée. Les jours calendaires sont représentés en abscisse. Les étoiles indiquent les jours où cette perdrix a été pointée. La date de début de développement du premier œuf de la ponte, obtenue par rétro-calcul, est représentée par un losange gris. Les substances présentant potentiellement un caractère perturbateur endocrinien (in vitro) apparaissent en rouge.



PERSPECTIVES DE TRANSFERT

- Résultats transmis aux gestionnaires du risque (ANSES), aux prescripteurs agricoles (ACTA – logiciel -Diaphyt, chambres d'agriculture), aux firmes (via l'UIPP), aux agriculteurs (SIMA, lycées agricoles, ESA) et aux responsables coordinateurs de la Surveillance Biologique du Territoire (SBT).
- Articles scientifiques de rang A et articles de vulgarisation.
- Communications orales dans des colloques scientifiques.



PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Elles sont considérables car le projet révèle avant tout le manque d'études écotoxicologiques *in situ* sur les oiseaux en plaine de grande culture céréalière. L'analyse des données sur perdrix fournit des informations originales sur les mécanismes d'exposition des pontes aux PPP et leurs conséquences. Elle conduit à les enrichir par l'étude de nouvelles variables (e.g., sexage) afin de travailler sur des schémas d'évaluation des risques ainsi que sur des outils de simulation *in silico*.



VALORISATION

COLLOQUES

- Bro E., Millot F., Devillers J. (2013) Modélisation de la non éclosion des œufs de perdrix grises en relation avec l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (PPP) en plaine de grande culture. Colloque annuel de la SEFA (Thionville, 3-4 juillet 2013).
- Bro E., Millot F., Decors A., Devillers J. (2014) A large scale field study investigating unintentional effects of plant protection products on the reproduction of farmland birds - the case study of the grey partridge in cereal ecosystems. Colloque annuel de la SETAC Europe, Bâle, 11-15 mai 2014.

PRÉSENTATION À DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DÉCISION

- Présentation du programme de recherche aux professionnels cynégétiques : réunions du réseau Perdrix-Faisan ONCFS-FNC/FDC ; Troyes le 21 novembre 2013, Saint-Benoist le 26 novembre 2013.

MÉTHODOLOGIES

- Typologie rétrospective de l'exposition potentielle des perdrix et de leurs pontes aux produits phytopharmaceutiques selon deux variantes méthodologiques complémentaires.
- Finalisation de la modélisation rétrospective des phénomènes de non éclosion d'œufs.

AUTRE

- Création de routines en R facilitant l'analyse de ce type de données.





PROGRAMME « ÉVALUATION ET RÉDUCTION DES RISQUES LIÉS À L'UTILISATION DES PESTICIDES »

- Les instances du programme (Septembre 2014) -

▪ Le Comité d'Orientation (CO) :

Objectifs :

- **définir les orientations du programme,**
- **déterminer les projets prioritaires** à partir de l'évaluation réalisée par le Conseil Scientifique,
- **proposer et accompagner les actions d'animation, d'évaluation et de valorisation** du programme.

Présidé par **Philippe Courtier**, chef du Service de la Recherche, à la Direction de la Recherche et de l'Innovation au sein du Commissariat Général au Développement Durable (MEDDE), ce Comité regroupe des représentants du Ministère en charge de l'Écologie, du Ministère en charge de l'Agriculture, des gestionnaires et utilisateurs de la recherche (ACTA, ADEME, Agences de l'eau, Anses, APCA, Arvalis - Institut du Végétal, CETIOM, DRAAF, DREAL, FNE, FRB, ONEMA, UIPP), ainsi que le président du Conseil Scientifique du programme et le président du « Groupe d' experts recherche » Écophyto.

▪ Le Conseil Scientifique (CS) :

Objectifs :

- **reformuler les priorités** exprimées par le Comité d'Orientation sous forme d'**appels à propositions de recherche**,
- **expertiser** les réponses, **assurer le suivi** des projets et en **évaluer** les résultats,
- **proposer et participer à des actions d'animation et de valorisation** du programme.

Présidé par **Charles Manceau**, directeur de la Santé Végétale à l'Anses et expert en phytopathologie, le Conseil Scientifique est composé de Enrique Barriuso (chimie environnementale / du sol), Carole Barthélemy (sociologie), Yvan Capowiez (agronomie, modélisation), Thierry Caquet (écotoxicologie aquatique, écologie), Marc Chevreuil (transfert et devenir des micropolluants dans l'environnement), Luiz Felipe de Alencastro (chimie environnementale, écotoxicologie), James Devillers (modélisation), Igor Dubus (devenir des substances), Fabien Girandola (psychologie sociale), Véronique Gouy (transfert des contaminants organiques dans les bassins versants / au sein des cours d'eau), Laurence Guichard (agronomie des systèmes de culture, aide à la décision publique), Alexandra Langlais-Hesse (droit), Jean-François Masfarau (écotoxicologie terrestre), Marielle Montginoul (économie des ressources naturelles), Alexandre Péry (écotoxicologie / toxicologie, modélisation), Sabine Stachowski-Haberkorn (écotoxicologie marine), Sophie Thoyer (économie), Eric Thybaud (écotoxicologie) et André Yebakima (entomologie médicale, lutte antivectorielle).

▪ Le Secrétariat Permanent (SP) :

Objectifs :

- **assurer** au quotidien **le suivi du programme « Pesticides »**,
- **organiser** les réunions des instances du programme et les différentes actions d'animation.

Il réunit la chargée de mission responsable au sein du MEDDE du programme « Pesticides » (Anne-Sophie Carpentier), le président du Conseil Scientifique (Charles Manceau) et les animateurs scientifiques du programme : confiée jusqu'en 2010 à l'INERIS, l'animation est maintenant assurée par l'INRA (Enrique Barriuso et Edwige Charbonnier).

Depuis 1999, le Programme Pesticides (« Évaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des pesticides ») du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) vise à apporter une meilleure connaissance des risques liés à l'utilisation des pesticides et des leviers d'action pour réduire leur utilisation. Il fournit ainsi aux décideurs et gestionnaires de milieux des résultats scientifiques pour la définition, la mise en œuvre et l'évaluation des actions publiques en lien avec les pesticides.

Le colloque organisé du 4 au 6 novembre 2014 à Angers a pour objectif de présenter et discuter les résultats des projets financés dans le cadre des appels à propositions de recherche 2009 et 2011, auprès d'un large public : porteurs de politiques publiques, chercheurs, professionnels du monde agricole, gestionnaires de l'environnement...

La plupart des projets présentés s'inscrivent en appui à la mise en œuvre de l'axe « Recherche » du Plan Écophyto. Une grande variété de thématiques sera abordée : risque de transfert des pesticides dans l'environnement, impacts sur les écosystèmes, pratiques agronomiques innovantes, freins et leviers socio-économiques aux changements de pratiques, modalités d'intervention des politiques publiques. Des temps de discussion permettront aux participants d'échanger sur les projets de recherche présentés et sur les suites opérationnelles à donner.



www.programmepesticides.fr