



Ecologisation des systèmes de productions agricoles pour renforcer le contrôle biologique des bioagresseurs:

Apports des projets ANR Peerless et FRB Sebiopag-Phyto

27 et 28 Novembre 2017 - INRA, Paris, 147 rue de l'Université



Les unités partenaires des deux projets

Projet ANR Peerless:

Coordination : Pierre Franck, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles

INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, 84914 Avignon

INRA, UMR 0210 Economie Publique, 78850 Thiverval-Grignon

INRA, UMR 0211 Agronomie, 78850 Thiverval-Grignon

INRA, UR 0546 Biostatistique & Processus Spatiaux, 84914 Avignon

INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

INRA, Agrocampus Ouest, UMR 1349 Institut de Génétique, Environnement et Protection des Plantes, 35042 Rennes



Projet FRB Sebiopag-Phyto:

Coordination : Sandrine Petit, UMR 1347 Agroécologie

INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

INRA, UMR 0980 Biodiversité agroécologie et aménagement du paysage, 35042 Rennes

INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, 84000 Avignon

INRA, INP-ENSAT, UMR 1201 DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan

INRA, Agrocampus Ouest, UMR 1349 IGEPP, 35042 Rennes

INRA, UMR 7372 CEBC, 79360 Beauvoir-sur-Niort



Programme Scientifique du séminaire

Renforcer le contrôle biologique des bio-agresseurs en mobilisant des leviers de gestion parcellaire et paysager est une thématique qui mobilise de nombreux chercheurs, en France comme à l'international.

Cette question a été traitée dans les deux projets ANR Peerless et FRB-Ecophyto Sebiopag-Phyto qui arrivent à leur terme en Décembre 2017. A cette occasion, Il nous a semblé opportun de réunir dans un séminaire unique la communauté de chercheurs mobilisés autour de la thématique.

Le séminaire a été organisé sous forme de 5 sessions au cours desquelles ont été présentés les résultats issus des deux projets mais aussi, grâce à une sélection de communications invitées, les résultats et retours d'expériences issus d'autres initiatives.

Les échanges ont été riches et nous tenons à remercier l'ensemble des orateurs, animateurs de sessions et participants à ces deux journées très stimulantes.

Pierre Franck et Sandrine Petit

Introduction

Le Projet ANR Peerless : viabilité d'une gestion écologique renforcée de la santé des plantes dans les paysages agricoles (Pierre Franck)

Le Projet FRB Sebiopag-phyto : déterminants agricoles parcellaires et paysagers des variations de niveaux de régulation biologique (Sandrine Petit)

Session 1: Mesurer la régulation des bioagresseurs (Chairs: Muriel Valantin-Morison & Pierre Franck)

Communication invitée : Indicateurs de régulation naturelle : revue des méthodes (Jean-Michel Ricard, RMT Biodiversité et Agriculture)

Les cartes de prédation : retour d'expérience dans SEBIOPAG (Benoit Ricci)

Analyse des réseaux trophiques et quantification des interactions (Manuel Plantegenest & Dave Bohan)

Session 2 : Gérer la parcelle et ses bordures (Chairs: Yann Tricault & Antoine Gardarin)

Les pratiques de gestion parcellaire, l'abondance de bioagresseurs, d'ennemis naturels et les niveaux de régulation biologique (Muriel Valantin-Morison)

Le rôle des plantes sauvages en bordure des parcelles dans la régulation des ravageurs (Armin Bischoff & Antoine Gardarin)

Communication invitée : Résultats du projet EU FP7 QuESSA Quantification of Ecological Services for Sustainable Agriculture, European farmland agricultural ecology habitat survey. (Philippe Jeanneret, Agroscope)

Session 3 : Intégrer la dimension paysagère (Chairs: Claire Lavigne & Aude Vialatte)

Communication invitée : Effet du contexte paysager sur la biodiversité des ennemis naturels et les régulations biologiques (Adrien Rusch, UMR SAVE)

Les effets conjugués de la gestion parcellaire et du contexte paysager et de sa dynamique sur les bioagresseurs et les niveaux de régulation biologique (Sandrine Petit)

Communication invitée : Résultats du projet Biodiversa FarmLand Réseau européen sur l'hétérogénéité des paysages agricoles, la biodiversité et les services écosystémiques (Clélia Sirami, UMR Dynafor)

Session 4 : Modéliser les processus à l'échelle des paysages (Chairs : Benoit Ricci & Nicolas Parisey)

Communication invitée : Plateforme MAELIA : modéliser les interactions entre activités agricoles et processus écologiques (Olivier Therond, UMR LAE)

Dynamiques de populations en milieux spatialement hétérogènes : modélisation et estimation de paramètres à partir de données d'abondance et/ou génétiques (Lionel Roques & Olivier Bonnefon)

Communication invitée : Enjeux et défis de la modélisation des paysages agricoles : de la représentation des agroécosystèmes à la conception de stratégies de gestion (Sylvain Poggi pour le réseau PAYOTE)

Session 5 : Intégrer l'agro-écologie dans les filières et l'action publique (Chairs : Alain Carpentier & Sylvie Colleu)

Communication invitée : Scenarios et modalités de mise en place d'une gestion collective des territoires agricoles à l'échelle du paysage (Mourad Hannachi, UMR SADAPT)

Action publique pour la réduction de l'usage des produits phytosanitaires par la promotion du contrôle biologique : enjeux et instruments (Vincent Martinet)

Aider à la gestion des services de régulation biologique: enjeux de connaissances et de prise en compte des acteurs. Une approche bibliographique (Claudine Thenail)

Le projet PEERLESS : Viabilité d'une gestion écologique renforcée de la santé des plantes dans les paysages agricoles

Franck P^{1*}, Bischoff A², Bohan D³, Klein E⁴, Lavigne C¹, Martinet V⁵, Memmah M¹, Parisey N⁶, Petit S³, Plantegenest M⁶, Ricci B³, Valantin-Morison M⁷

¹ INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles PSH, 84914 Avignon

² Université d'Avignon, UMR Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale.IMBE, 84911 Avignon

³ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

⁴ INRA, UR 0546 Biostatistique & Processus Spatiaux BioSP, 84914 Avignon

⁵ INRA, UMR 0210 Economie Publique, 78850 Thiverval-Grignon

⁶ INRA, Agrocampus Ouest, UMR 1349 Institut de Génétique, Environnement et Protection des Plantes IGEPP, 35042 Rennes

⁷ INRA, UMR 0211 Agronomie, 78850 Thiverval-Grignon

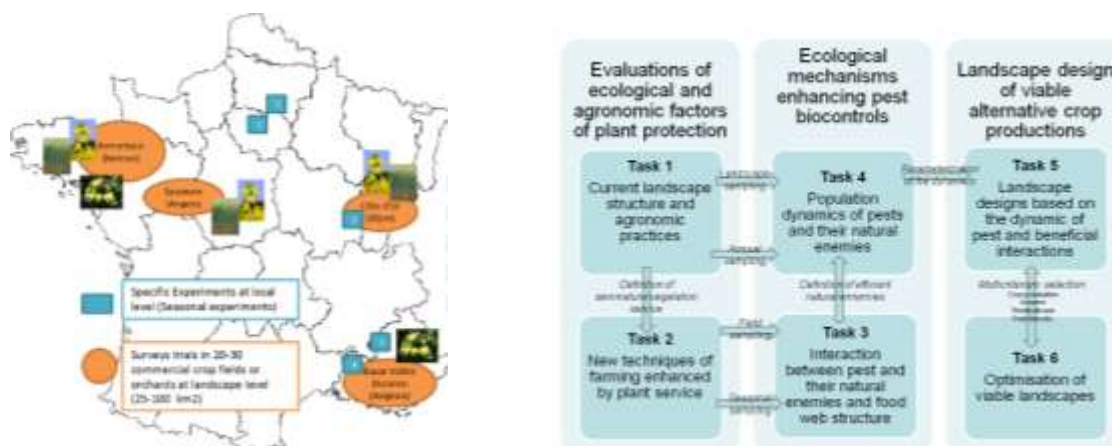
* pierre.franck@inra.fr

Mots clés: Intensification écologique; lutte biologique; paysages ; gestion intégrée de la santé des plantes; scénarios ; viabilité socio-économique

L'enjeu du projet PEERLESS (Appel d'offre ANR agrobiosphere, 2012) est de proposer une gestion viable des populations de ravageurs dans les agroécosystèmes par une approche intégrative combinant différentes échelles spatiales, des cultures pérennes et annuelles et les interactions trophiques entre plusieurs ravageurs et leurs ennemis naturels. La régulation des bioagresseurs par les auxiliaires naturellement présents dans les cultures est le service écosystémique que l'on souhaite renforcer afin de diminuer la dépendance des systèmes de production agricole aux pesticides. Bien que ces auxiliaires des cultures soient souvent mis en avant, le lien entre mode de gestion des cultures, niveau de contrôle des ravageurs par les auxiliaires et rendement des cultures est encore peu compris.

Le projet PEERLESS a trois objectifs principaux:

- identifier les systèmes de culture et les caractéristiques de paysage dans lesquels la biodiversité fonctionnelle renforce la productivité des cultures ;
- caractériser les mécanismes écologiques impliqués affectant les dynamiques de populations de ravageurs et d'auxiliaires et les interactions trophiques associées ;
- proposer des déploiements viables de conduite de culture et d'agencement paysager à l'échelle des territoires à partir de simulation de scénarios d'usage des sols.



Pour répondre au premier objectif, l'impact des pratiques agronomiques et des agencements paysagers sur les pertes de production causées par les ravageurs est évalué dans cinq bassins de productions et plusieurs sites expérimentaux. Pour répondre au second objectif, d'une part, les interactions interspécifiques sont analysées au niveau de la parcelle pour déterminer les espèces les plus pertinentes impliquées dans le contrôle biologique des ravageurs, et d'autre part, les dynamiques de populations des ravageurs et des principaux ennemis naturels sont étudiées en fonction des caractéristiques de paysages. Enfin, le troisième objectif propose des stratégies viables de conduite de culture et d'agencement paysager à l'échelle d'un territoire. Il développe des modèles mécanistes de dynamique des populations des ravageurs et de leurs ennemis pour différents scénarii d'agencement de cultures et d'habitat semi naturel dans le paysage. Ces scénarii paysagers sont finalement optimisés par rapport à leurs performances agronomiques, écologiques, environnementales et économiques.

Les principales productions du projet PEERLESS sont :

- La caractérisation des principaux groupes d'ennemis naturels (carabes, syrphes, araignées, hyménoptères parasitoïdes) en grandes cultures (blé et colza) et en vergers de pommiers et des relations trophiques qu'ils entretiennent avec les ravageurs et les mauvaises herbes (session 1, présentation de Plantegenest & Bohan.)
- Une évaluation des pratiques agroécologiques et des infrastructures en bordures de parcelles sur les dommages causés aux cultures par les bioagresseurs et sur leur régulation naturelle (session 2, présentations de Valantin-Morison et al. et Bischoff & Gardarin)
- La mise évidence d'effets interactifs entre les pratiques de gestion dans les parcelles agricoles et le contexte paysager sur la régulation des bioagresseurs nécessitant d'appréhender la santé des plantes à plusieurs échelles spatiales (session 3, présentation de Petit et al.)
- Le développement d'outils de modélisation pour rendre compte des dynamiques de populations des ravageurs et des auxiliaires dans les paysages (session 4, présentation de Roques & Bonnefon) et de la dynamique des paysages agricoles pour concevoir des stratégies durables d'usage de sols (session 4, présentation de Poggi et al.)
- Des méthodes pour une évaluation multi-objectif des stratégies de gestion des bioagresseurs et des actions publiques pour une réduction de l'usage des produits phytosanitaires (session 5, présentation de Martinet et al.)

Le projet SEBIOPAG-PHYTO : déterminants agricoles parcellaires et paysagers des variations de niveaux de régulation biologique

Petit S^{1*}, Alignier A², Aviron S², Biju-Duval L¹, Bouvier JC³, Bretagnolle V⁴, Choisis JP⁵, Franck P³, Gibon A⁵, Joannon A², Ladet S⁵, Lavigne C³, Plantegenest M⁶, Ricci B¹, Thenail C², Vialatte A⁷

¹ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

² INRA, UMR 0980 BAGAP, 35042 Rennes

³ INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, 84000 Avignon

⁴ INRA, UMR 7372 CEBC, 79360 Beauvoir-sur-Niort

⁵ INRA, UMR 1201 DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan

⁶ Agrocampus Ouest, UMR 1349 IGEPP

⁷ INP-ENSAT, UMR 1201 DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan

* sandrine.petit-michaut@inra.fr

Mots clés: régulation biologique, pression phytosanitaire, conduite des cultures, contexte paysager, transformation des paysages, conseil agricole

Le niveau de compréhension des processus écologiques et de leurs interactions avec les activités agricoles est insuffisant pour que les agriculteurs mobilisent ou intègrent la biodiversité et ses services dans leurs décisions de gestion. En effet, la plupart des études portent sur la biodiversité taxonomique et peu sur la régulation biologique. Elles considèrent les activités agricoles à un grain grossier et à l'échelle annuelle, d'où une impossibilité d'identifier des modalités de conduite technique des exploitations agricoles utiles pour renforcer les régulations biologiques. En parallèle, l'intégration de résultats scientifiques sur la régulation dans les démarches de conseil est peu développée alors que la demande pour des connaissances et des méthodes mobilisables dans le conseil agricole est forte.

Le projet Sebiopag-Phyto (Appel d'offre FRB-Ecophyto, 2013) a proposé une analyse interdisciplinaire des interactions entre processus agricoles et écologiques affectant la régulation des bio-agresseurs à différentes échelles d'espace et de temps en s'adossant sur le dispositif SEBIOPAG '*Un réseau pour l'étude des Services Ecosystémiques assurés par la Biodiversité dans les Paysages Agricoles*' (<http://sebiopag.inra.fr/> SOERE Ecoscope). Il est constitué de 100 parcelles (grandes cultures, vergers) réparties sur 5 sites d'étude englobant une diversité de situations agricoles et paysagères (Vergers de la basse vallée de la Durance, Armorique, Coteaux de Gascogne, Dijon Plaine de Saône, Plaine et Val de Sèvre).

Les objectifs scientifiques du projet sont :

- d'analyser le poids relatif de la gestion parcellaire (pression phytosanitaire, autres pratiques) et du contexte paysager des parcelles sur les variations de niveaux de régulation biologique.
- de développer sur les 5 sites SEBIOPAG notre capacité à analyser le rôle des transformations des paysages et des systèmes d'exploitation au cours des 50 dernières années sur le niveau de régulation biologique
- d'évaluer les possibilités d'intégration des résultats dans les démarches de conseil sur l'efficacité de combinaisons de leviers à mobiliser.



Les 100 parcelles SEBIOPAG ont fait l'objet, sur 3 années successives, de mesures de la régulation biologique de plusieurs types de proies sentinelles, de recueil par enquête des itinéraires techniques et d'une cartographie annuelle du paysage environnant les parcelles. Ce suivi a été complété par un diagnostic agraire sur les 5 sites de façon à reconstituer l'évolution des paysages et des systèmes d'exploitation sur 50 ans. En parallèle, nous avons mené une analyse de la littérature scientifique internationale sur les connaissances produites par les études portant sur la régulation biologique, et en particulier sur la façon dont elles sont mobilisées/mobilisables pour le conseil et l'accompagnement.

Les principales productions du projet SEBIOPAG-Phyto sont :

- Une analyse critique et une validation de la méthode des proies sentinelles pour analyser les variations de niveaux de régulation biologique (Session 1, présentation de Ricci et al)
- La mise évidence d'effets interactifs conditionnels entre gestion phytosanitaire parcellaire et contexte paysager sur la régulation qui suggère que la pression phytosanitaire va moduler le fonctionnement écologique de la parcelle et sa dépendance aux autres éléments du paysage (session 2, présentation de Valantin et al; session 3, présentation de Petit et al)
- La coexistence, au sein d'un même territoire géographique, d'unités fonctionnelles de paysage aux caractéristiques et dynamiques agro-écologiques différenciées qui pourrait expliquer une partie des variations de niveau de régulation observées au sein de chaque région (session 3, présentation de Petit et al)
- Une mise au point bibliographique sur la façon dont les connaissances sur la régulation biologique sont ou peuvent être mobilisées pour l'action (session 5, Thenail et al.)

Résumés Session 1 :

Mesurer la régulation des bioagresseurs

Indicateurs de régulation naturelle : revue des méthodes

Ricard, J-M^{1*}, Tosser, V², Bohan, D³

¹ CTIFL, Centre de Balandran, 30127 Bellegarde

² ARVALIS, Pôle Systèmes de culture innovants & Durabilité, 91720 Boigneville

³INRA UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

*ricard@ctifl.fr

Mots clés : Bio-agresseurs, régulation naturelle, biodiversité fonctionnelle, RMT Biodiversité et agriculture

L'évaluation du contrôle biologique et de la régulation des bio-agresseurs est essentielle pour comprendre les facteurs affectant les processus de régulation naturelle et pour essayer d'intégrer ce service dans la gestion des cultures. Diverses approches méthodologiques existent et, dans le cadre du RMT Biodiversité et Agriculture, celles-ci ont été rassemblées sous forme d'une boîte à outils servant d'appui à cet exposé. Les caractéristiques principales des méthodes sont présentées selon trois niveaux d'objectifs qui marquent une progression dans la connaissance et les questions posées sur la régulation avec i) mettre en évidence et caractériser les ennemis naturels, ii) montrer qu'il existe un lien trophique et que la prédation ou le parasitisme s'exercent, iii) quantifier la prédation et évaluer la régulation. La plupart des approches utilisées aujourd'hui restent délicates à mettre en œuvre et leur pertinence et opérationnalité est discutée. Il semble difficile de trouver un indicateur ou méthode de mesure universelle et intégrative du fait à la diversité des bio-agresseurs, de leurs ennemis naturels, des différentes productions végétales, et compte tenu de la complexité des mécanismes et échelle d'approche affectant la régulation. Si la dynamique des ravageurs en témoin non traité permet un diagnostic à posteriori des situations favorables, ou pas, à la régulation, producteurs et techniciens ont besoin d'un indicateur d'évaluation de la régulation et surtout de son potentiel qui soit facile à mettre en œuvre pour l'intégrer dans la panoplie des outils de pilotage. C'est un verrou à lever pour parvenir à une réduction plus poussée des intrants.

Références bibliographiques

Macfadyen, S., Davies, A.P., Zalucki, M.P., 2015. Assessing the impact of arthropod natural enemies on crop pests at the field scale. *Insect Science*, 22,1, 20-34.

RMT Biodiversité et Agriculture, Groupe de travail « régulation des bio-agresseurs », <http://www.rmt-biodiversite-agriculture.fr/moodle/course/view.php?id=12>.

Les cartes de prédation : retour d'expérience dans le projet SEBIOPAG

Ricci B^{1*}, Petit S¹, Alignier A², Aviron S², Biju-Duval L¹, Bouvier JC³, Bretagnolle V⁴, Franck P³, Joannon A², Ladet S⁵, Plantegenest M⁶, Vialatte A⁷, Lavigne C³

¹ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

² INRA, UMR 0980 BAGAP, 35042 Rennes

³ INRA, Unité Plantes et Systèmes de culture Horticoles, 84000 Avignon

⁴ INRA, UMR 7372 CEBC, 79360 Beauvoir-sur-Niort

⁵ INRA, UMR 1201 DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan

⁶ Agrocampus Ouest, UMR 1349 IGEPP, 35042 Rennes

⁷ INP-ENSAT, UMR 1201 DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan

* benoit.ricci@inra.fr

Mots clés : Régulation biologique, carte de prédation, proie sentinelle, indicateur.

L'évaluation directe de la régulation biologique nécessite de pouvoir mesurer l'action des auxiliaires de cultures pour limiter les dégâts associés à la présence de bioagresseurs, ce qui est particulièrement complexe. Pour mesurer la régulation biologique, de nombreuses études utilisent l'occurrence ou à l'abondance des auxiliaires comme proxy, inférant leur rôle dans la prédation d'après la connaissance de leurs régimes alimentaires. Une solution alternative est d'exposer dans les parcelles cultivées des proies dites sentinelles, fixées sur des cartes (« cartes de prédation »), et de mesurer les niveaux de prédation, c'est-à-dire la proportion de proies consommées pendant une durée déterminée.

Dans le cadre du projet SEBIOPAG-PHYTO, des cartes de prédatations de trois types de proies sentinelles (graines adventices, pucerons, œufs de lépidoptère) ont été utilisées dans 100 parcelles cultivées, pendant trois années consécutives et à deux périodes dans l'année. Les 100 parcelles sont réparties en cinq sites de 20 parcelles couvrant une gamme de paysages et de situations de productions. Dans un objectif méthodologique, nous présentons ici une analyse i) de la variabilité des mesures de prédation des proies sentinelles en fonction des caractéristiques du dispositif (types de culture, variabilité interannuelle, site géographique, conditions météorologiques), ii) des corrélations entre proies, et iii) de la dépendance statistique entre cartes prédatées au sein d'une même parcelle et entre proies prédatées sur une même carte.

Les données récoltées indiquent de fortes variations des taux de prédatations, y compris au sein d'un même site géographique et d'une même année. Lorsqu'on considère l'ensemble du jeu de données, on détecte un effet de l'année et/ou du site géographique mais ces effets sont indissociables de l'effet culture. Si on restreint l'analyse à trois types de cultures bien représentés dans le jeu de données (céréales d'hiver, cultures d'été et oléagineux), on détecte essentiellement un effet de l'année, qui varie en fonction du type de proie. Bien que le type de culture ne semble pas être un déterminant majeur des variations de taux de prédation observés à l'échelle nationale, on observe des effets liés aux sites géographiques qui dépendent du type de culture. Le taux d'humidité de l'air influence à un effet positif sur la prédation des œufs d'*Ephestia* et de graines d'adventices et un effet négatif sur la prédation des pucerons, la vitesse du vent a un effet négatif sur la prédation des *Ephestia* et de graines. Par ailleurs, les niveaux de prédation des différentes proies sont peu corrélés entre eux et sont donc des indicateurs potentiels non redondants. La majorité des cartes de pucerons posées au sol et présentant de la prédation ont été complètement consommées. On retrouve cette tendance pour les cartes de graines avec toutefois aussi un nombre supérieur à l'attendu de cartes avec seulement une ou deux graines consommées. Les parcelles présentant de la prédation sur les cartes de pucerons posées au sol avaient quasiment toujours presque toutes leurs cartes prédatées. On retrouve la même tendance pour les cartes de graines mais dans une moindre mesure. Ces résultats serviront de point de départ pour la recherche des déterminants paysagers et agronomiques des niveaux de prédatations.

Analyse des réseaux trophiques et quantification des interactions

Plantegenest M^{1*}, Albert L^{1,2}, Canard E¹, Chartois M^{1,5}, Derocles S³, Franck P⁴, Gilles Y², Kamenova S¹, Lefebvre M⁴, Le Ralec A¹, Navasse Y¹, Olivares J⁴, Tamaddoni-Nezhad A⁶, Bohan D³

¹ Agrocampus Ouest, INRA, UMR 1349 IGEPP, 35042 Rennes ;

² IFPC, Station cidricole, 61500 Sees

³ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

⁴ INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, 84000 Avignon

⁵ INRA, UMR BAGAP, 35042 Rennes

⁶ Imperial College, Department of Computer Science, University of Surrey, Londres RU

* manuel.plantegenest@agrocampus-ouest.fr

Mots clés : Réseaux trophiques, contrôle biologique, dynamique des populations, analyses moléculaires, machine learning.

L'importante littérature consacrée au sujet suggère une relation positive entre la biodiversité en milieu agricole et la fourniture de services écosystémiques, notamment le service de contrôle des ravageurs par leurs ennemis naturels. Cependant, cette relation n'est que statistique et de nombreux contre-exemples peuvent être trouvés. L'une des raisons principales de l'absence d'additivité des effets des ennemis naturels réside dans la complexité des réseaux d'interactions qui se mettent en place dans les communautés diversifiées. Ainsi, par exemple, des phénomènes de compétition, voire de prédation intra-gilde peuvent conduire à une réduction d'efficacité du contrôle biologique avec un accroissement de la biodiversité dans les communautés naturelles. Cette complexité fait que l'identification de leviers permettant d'accroître le service de régulation des ravageurs et la quantification de ce service, au-delà des recommandations à portée générale (e.g. adopter des pratiques favorables à la biodiversité), nécessite pour chaque cas d'espèce une analyse du réseau d'interactions trophiques dans lequel s'insère la ou les espèces cibles.

Dans le cadre du projet PEERLESS, nous avons cherché à explorer, évaluer et comparer différents moyens d'acquérir de l'information sur la structure des réseaux trophiques agricoles et les avons appliqués à différents contextes agricoles. Les méthodes que nous avons explorées ont été de deux grands types : des approches inférentielles (reconstruction des interactions sur la base de connaissances *a priori* et sur l'observation des distributions des organismes et/ou de leur dynamique) et des approches analytiques permettant l'identification directe d'événements de prédation (approches moléculaires).

Nous avons montré l'intérêt d'approches de type « machine learning » fondées sur l'application de règles *a priori* à des jeux de données de co-occurrences pour la reconstruction de réseaux trophiques et l'identification d'interactions complexes telles que le mutualisme apparent entre bioagresseurs. Nous avons également comparé des réseaux trophiques empiriques issus de l'analyse de la littérature aux réseaux réellement observés en parcelles. Enfin, nous avons montré comment l'analyse des dynamiques d'abondance pouvait permettre de quantifier l'impact relatif de différents auxiliaires sur la régulation biologique d'un ravageur et celui de différentes pratiques ou infrastructures agroécologiques.

Dans le cadre d'approches analytiques, des quantifications de la prédation au laboratoire ont été réalisées pour différents couples prédateurs/proies. Enfin, nous avons appliqué des approches moléculaires fondées sur l'utilisation de PCR diagnostique ou sur le séquençage haut-débit pour la reconstruction de réseaux in-situ et tenté d'accroître nos connaissances sur l'intérêt et les limites de telles approches.

L'ensemble des travaux réalisés dans le cadre du projet PEERLESS a permis de contribuer à l'élaboration d'une boîte à outils pour l'analyse du contrôle biologique des bioagresseurs agricoles et de nourrir la réflexion sur la complémentarité et les limites d'emploi de ces outils.

Références bibliographiques

- Albert, L., 2017. Régulation Naturelle du Puceron Cendré et Aménagement Agro-écologique: l'Exemple des Vergers Cidricole du Nord-Ouest de la France. PhD thesis, Agrocampus Ouest, Rennes, p. 364.
- Derocles, S.A.P., Le Ralec, A., Besson, M.M., Maret, M., Walton, A., Evans, D.M., Plantegenest, M., 2014. Molecular analysis reveals high compartmentalization in aphid-primary parasitoid networks and low parasitoid sharing between crop and noncrop habitats. *Molecular Ecology* 23, 3900-3911.
- Lefebvre, M., 2016. Régulation des Ravageurs par les Araignées en Verger. PhD thesis, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Avignon, p. 267.
- The Quintessence Consortium 2016. Networking our way to better ecosystem service provision. *Trends in Ecology & Evolution* 31, 105-115.
- Vacher, C., Tamaddoni-Nezhad, A., Kamenova, S., Peyrard, N., Moalic, Y., Sabbadin, R., Schwaller, L., Chiquet, J., Smith, M.A., Vallance, J., Fievet, V., Jakuschkin, B., Bohan, D.A., 2016. Learning ecological networks from next-generation sequencing data. *Advances in Ecological Research* 53, 1-39.

Résumés Session 2 :

Gérer la parcelle et ses bordures

QuESSA Quantification of Ecological Services for Sustainable Agriculture

Jeanneret, Ph^{1*}, Holland, J², Moonen, C³, van der Werf, W⁴, Kiss, K⁵, Giffard, B⁶, Paracchini, M-L⁷, Pointereau, Ph⁸, Helsen, H⁹, Veromann, E¹⁰, Entling, M¹¹

¹ Agroscope, Zurich, Switzerland,

² Game and Wildlife Conservation Trust, UK

³ Scuola Superiore Sant'Anna, Institute of Life Sciences, Italy

⁴ Wageningen University, The Netherlands

⁵ Szent Istvan University, Hungary

⁶ Université de Bordeaux, Ecole – BxScAgro, France

⁷ Joint Research Centre of the European Commission, Italy

⁸ SOLAGRO, initiatives and innovations for energy, agriculture, and environment, France

⁹ Wageningen University & Research, The Netherlands

¹⁰ Estonian University of Life Sciences, Estonia

¹¹ University of Koblenz-Landau, Germany

*Agroscope, philippe.jeanneret@agroscope.admin.ch

Mots clés : Services écosystémiques, projet européen

Le projet QuESSA visait à explorer des paysages et des écosystèmes complexes (cultures, conduites et contextes agro-climatiques variés) et à évaluer la contribution de différents types d'habitats semi-naturels (HSN) aux services écosystémiques (SE) du niveau parcelle au niveau paysage. Il a fallu développer de nouvelles méthodologies qui ont ensuite été mises en application à travers de nombreux pays et systèmes de culture pour évaluer la pollinisation, la régulation biologique des ravageurs, l'impact sur l'esthétique du paysage, l'érosion. Un système de notation a aussi été développé et appliqué en vue de prédire un potentiel de fourniture de SE en fonction des HSN.

Dans chaque cas d'étude, 18 parcelles cibles ont été sélectionnées selon un gradient de proportion d'habitats semi-naturels (HSN) dans une zone d'1 km de rayon alentour. Les parcelles cultivées cibles ont été choisies avec un HSN adjacent soit boisé, soit enherbé ou devant servir de témoin (pas d'HSN ou parcelle cultivée avec la même culture), à raison de 6 répétitions pour chaque type d'HSN. Des mesures de la régulation biologique des ravageurs ont été menées le long de transects partant de l'HSN vers l'intérieur du champ. L'abondance des arthropodes fournisseurs de services a également été évaluée à l'aide de pièges Barber, de cuvettes colorées et de pièges à émergence. Des vidéos ont aussi été utilisées pour visualiser les prédateurs attirés par les systèmes sentinelles.

Le niveau observé de régulation biologique des ravageurs a beaucoup varié entre et au sein des cas d'étude. Le type d'HSN adjacent, la proximité à l'HSN ainsi que la proportion d'HSN dans le paysage alentour ont eu un impact positif, notamment les éléments linéaires enherbés et les forêts. Néanmoins, les principales analyses ont révélé la difficulté à établir une prédiction générale sur l'ensemble des paysages, nécessitant une adaptation locale. Aucun disservice important n'a été mesuré, confortant l'intérêt de maintenir et diversifier les habitats semi-naturels au regard des différents services écosystémiques rendus.

Références bibliographiques

QuESSA : Quantifier les services écosystémiques rendus par les habitats semi-naturels. Brochure à télécharger en français [agroscope quessa](#) ou en anglais [quessa.eu](#).

Sutter L, Albrecht M, Jeanneret P. 2017. Landscape greening and local creation of wildflower strips and hedgerows promote multiple ecosystem services. *J Appl Ecol.*;00:1–9. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12977>.

Influence des pratiques agricoles individuelles, des systèmes de culture sur les abondances des ravageurs, leurs auxiliaires et la régulation biologique

Valantin-Morison M^{1*}, Aviron S², Cortesero AM⁵, Franck P³, Gardarin A¹, Hervé M⁵, Joannon A², Kamenova S⁵, Labruyere S⁴, Plantegenest M⁵, Lefèvre M³, Petit S⁴, Puech C².

¹ INRA, UMR 0211 Agronomie, 78850 Thiverval Grignon

² INRA, UMR 0980 BAGAP, 35042 Rennes

³ INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, 84914 Avignon

⁴ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

⁵ INRA-AgroCampus Ouest IGEPP

* INRA, muriel.morison@inra.fr

Mots clés

Système de culture innovant, travail du sol, pesticides, carabes, parasitismes, régulation biologique, carte de prédation,

Pour modifier la régulation naturelle des bioagresseurs dans les cultures, les deux leviers majeurs qui peuvent être mobilisés à l'échelle parcellaire sont, d'une part, l'augmentation de la biodiversité cultivée et, d'autre part, la réduction des perturbations chimiques et mécaniques générées par le travail du sol et le recours aux produits phytosanitaires dans le champ cultivé. Alors que la littérature apporte beaucoup d'informations sur l'impact des habitats semi-naturels sur les auxiliaires des cultures (Tcharntke et al. 2007 ; Chaplin-Kramer et al. 2011; Pywell et al. 2016), le rôle des pratiques sur les liens bioagresseurs–auxiliaires des cultures est moins regardé (Rusch et al. 2013). L'objectif de cette présentation est d'illustrer au travers des sorties des projets Peerless et Sebiopag-Phyto comment l'habitat cultivé au travers des effets de certaines pratiques individuelles, voire des systèmes de culture, influence les bioagresseurs et leurs ennemis naturels. Nous montrons comment certaines pratiques perturbent la recherche de la plante hôte ; comment l'habitat cultivé peut fournir des ressources alimentaires alternatives pour les auxiliaires ; comment certaines pratiques accentuent la mortalité des organismes et enfin, comment l'itinéraire technique de la parcelle ne peut se raisonner indépendamment de son environnement immédiat.

Dans le cadre de ces deux projets, des parcelles agricoles, essentiellement de blé et de colza, présentant un gradient de recours aux pesticides (d'absence de pesticides à des IFT proche des références conventionnelles) et pour certaines un gradient de travail du sol (semis direct d'ancienneté variable à labour fréquent) ont été mobilisées. Par ailleurs, des dispositifs expérimentaux en station de recherche sur des systèmes de culture sans pesticides ont également été étudiés. De ces expérimentations quatre résultats majeurs sont à retenir :

- (i) les mélanges d'espèces dans la parcelle ou l'utilisation de plantes pièges peuvent réduire les attaques de certains insectes ravageurs du colza, probablement en perturbant la recherche des ravageurs de leur plante hôte.
- (ii) les espèces cultivées n'ont pas le même rôle vis-à-vis des auxiliaires du fait de leur « attractivité » différentielle : le colza semble systématiquement associé à un meilleur statut nutritionnel des carabes prédateurs généralistes (par exemple *Amara similata* et *Poecilus cupreus*, Labruyère et al. 2016). La prédation des graines d'adventices et d'autres proies sentinelles semble aussi varier selon les cultures indépendamment des pratiques culturales (projet Casimir).
- (iii) les pratiques agronomiques telles que le travail du sol et les insecticides induisent des modifications de communautés d'insectes auxiliaires et impactent également la prédation des

graines d'adventices par les carabes (Petit et al. 2017).

- (iv) enfin, ces effets de l'habitat cultivé sur les liens ravageurs-auxiliaires ne peuvent être pensés indépendamment des éléments non cultivés, cultures et des pratiques dans l'environnement immédiat de la parcelle (Puech et al 2015).

Références bibliographiques

CASIMIR : développements méthodologiques pour une CAractérisation SIMplifiée des pressions blotiques et des Régulations biologiques. <https://www6.inra.fr/reseau-pic/Projets/Projet-CASIMIR>

Petit, S., Trichard, A., Biju-Duval, L., McLaughlin, O., Bohan, D. 2017 Interactions between conservation agricultural practice and landscape composition promote weed seed predation by invertebrates. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240 (2017) 45–53.

Puech, C., Poggi, S., Baudry, J., Aviron, S. 2015. Do farming practices affect natural enemies at the landscape scale? *Landscape Ecology*, 30 (1), 125-140.

Labruyere, S., Ricci, B., Lubac, A., Petit, S. (2016) Crop type, crop management and grass margins affect the abundance and the nutritional state of seed-eating carabid species in arable landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 231, 183-192.

Le rôle des plantes sauvages en bordure des parcelles dans la régulation des ravageurs

Bischoff, A^{1*}, Gardarin, A², Pollier, A³, Odorizzi dos Santos, L^{1,4}, Albert, L^{5,6}, Lefèvre, M⁴, Labruyère, S⁷, Tricault, Y³, Franck, P⁴

¹ Université d'Avignon, IMBE, 84911 Avignon

² INRA, AgroParisTech, UMR 211 Agronomie, 78850 Thiverval-Grignon

³ INRA, Agrocampus Ouest, UMR 1349 IGEPP, 49045 Angers

⁴ INRA, UR1115 PSH, 84914 Avignon

⁵ INRA, Agrocampus Ouest, UMR 1349 IGEPP, 35042 Rennes

⁶ IFPC, 61500 Sées

⁷ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

* Université d'Avignon, armin.bischoff@univ-avignon.fr

Mots clés : Habitat semi-naturel, diversité végétale, composition floristique, ennemi naturel, control biologique par conservation

Les habitats semi-naturels en bordure des parcelles agricoles sont censés jouer un rôle clé dans la régulation des ravageurs des cultures via notamment une augmentation de la diversité végétale locale. La communauté végétale influence la survie et la performance des ennemis naturels des ravageurs en leur fournissant des ressources alimentaires (nectar, pollen, proies alternatives) et des abris. Un effet positif de la végétation en bordure a été aussi démontré pour la régulation des adventices par les carabes granivores (Labruyère et al. 2016). Cependant l'effet positif sur les ennemis naturels ne se traduit pas toujours par une réduction de l'abondance des ravageurs ou adventices. L'identification des mécanismes écologiques impliqués dans les interactions complexes entre les plantes de bordure, les ennemis naturels et les ravageurs/adventices est indispensable afin d'améliorer ce service écosystémique dans une démarche de l'ingénierie agro-écologique.

Nous présentons plusieurs études qui ont été menées dans le cadre du projet PEERLESS et des projets associés. Ces études avaient pour objectif de (1) tester l'influence de la communauté végétale sur la régulation des ravageurs des cultures et (2) identifier les groupes fonctionnels de la végétation qui influencent la régulation, (3) analyser les déplacements des ennemis naturels entre la végétation des bordures et l'intérieur des parcelles agricoles et (4) évaluer les effets de différents aménagements de bordures (bandes fleuries et enherbées, haies) sur les populations d'auxiliaires et de bioagresseurs. Les travaux ont été réalisés dans les parcelles agricoles des régions Pays-de-la-Loire, Bretagne, Île-de-France, Bourgogne et Provence-Alpes-Côte d'Azur. Pour la plupart des études, la composition floristique de la végétation a été caractérisée en même temps que l'abondance des ravageurs principaux et de leurs ennemis naturels. Différentes méthodes de marquage (protéique, isotopique) ont été utilisées pour tracer les déplacements des insectes.

Les études ont permis d'identifier les groupes fonctionnels et les espèces végétales au sein de ces groupes qui sont positivement/négativement corrélés à la régulation de plusieurs groupes des ravageurs. En particulier, les espèces entomophiles qui fleurissent lors de l'infestation maximale des ravageurs principaux ont un effet positif sur l'abondance des ennemis naturels ce qui se traduit par une augmentation de prédation et de parasitisme (Bischoff et al. 2016, Pollier et al in revision). Les méthodes de marquage ont réussi de tracer les déplacements des insectes ciblés. Les parasitoïdes ayant consommé le nectar C13 fournit par les plantes marquées en bordure d'une parcelle de colza ont été retrouvés à une distance de 20m à l'intérieur (Pollier et al. 2016). Le marquage des bordures avec la protéine de l'œuf (ovalbumine) a démontré les déplacements des carabes et des araignées sur toute la surface d'un verger. Cependant des grandes différences de mobilité entre habitat semi-naturel et cultures adjacentes ont été mises en évidence entre groupes et espèces d'ennemis naturels (Lefèvre

et al. 2017). Les tests d'aménagement des bordures ont confirmé l'effet positif des habitats riches en ressources florales (mélanges fleuris) sur la régulation des ravageurs. Les haies et les mélanges de graminées (« bandes enherbées ») sont moins favorables à la prédation et le parasitisme des ravageurs (Albert et al. 2017). Néanmoins, les habitats pauvres en ressources florales peuvent abriter les ennemis naturels qui ne dépendent pas directement du nectar ou du pollen.

Références bibliographiques

- Albert, L., Franck, P., Gilles, Y., Plantegenest, M., 2017. Impact of agroecological infrastructures on the dynamics of *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) and its natural enemies in apple orchards in northwestern France. *Environmental Entomology* 46, 528–537.
- Bischoff, A., Pollier, A., Lamarre, E., Salvadori, O., Cortesero, A.-M., Le Ralec, A., Tricault, Y., Jaloux, B., 2016. Effects of spontaneous field margin vegetation and surrounding landscape on *Brassica oleracea* crop herbivory. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 223, 135–143.
- Labruyere, S., Ricci, B., Lubac, A., Petit, S. 2016 Crop type, crop management and grass margins affect the abundance and the nutritional state of seed-eating carabid species in arable landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 231, 183–192
- Pollier, A., Guillomo, L., Tricault, Y., Plantegenest, M., Bischoff, A. In revision. Effects of spontaneous field margin vegetation on the regulation of herbivores in two winter crops. *Basic and Applied Ecology*
- Pollier, A., Dosdat, S., Tricault, Y., Bischoff, A., Plantegenest, M., Jaloux, B., 2016. Using the stable isotope marker ¹³C to study extrafloral nectar uptake by parasitoids under controlled conditions and in the field. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 161, 131–140.
- Lefèbvre, M., Papaïx, J., Mollota, G., Deschodt, P., Lavigne, C., Ricard, J.M., Mandrin, J.F., Franck, P. 2017 Bayesian inferences of arthropod movements between hedgerows and orchards. *Basic and Applied Ecology* 21, 76–84.

Résumés Session 3 :
Intégrer la dimension paysagère

Effet du contexte paysager sur la biodiversité des ennemis naturels et les régulations biologiques

Adrien Rusch^{1*} & Lucile Muneret¹

¹ INRA, UMR 1065 SAVE, 71 Avenue Edouard Bourlaux, 33883 Villenave d'Ornon

* INRA, adrien.rusch@inra.fr

Mots clés : Régulation naturelle ; agriculture biologique ; méta-analyse ; auxiliaires ; paysage

L'intensification des pratiques agricoles de ces dernières décades a eu de multiples impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Si cette intensification a permis l'augmentation importante de la production de denrées alimentaires, il semble désormais indispensable de développer des agricultures plus durables et plus respectueuses de l'environnement. Parmi l'éventail des possibles, l'intensification écologique des agroécosystèmes, caractérisée par une optimisation des processus écologiques, offre une piste prometteuse pour concilier productions agricoles et faibles empreintes écologiques. Parmi les multiples fonctions et services rendus par la biodiversité, les services de régulation naturelle des bioagresseurs rendus par des espèces auxiliaires sont particulièrement importants car ils permettent directement de limiter le recours aux produits phytosanitaires. Un certain nombre de travaux ont mis en évidence l'importance de considérer des étendues spatiales larges et particulièrement la proportion d'habitats semi-naturels dans le paysage pour comprendre la dynamique des communautés d'auxiliaires et les interactions trophiques (Tscharrntke et al. 2007 ; Rusch et al. 2016). Par ailleurs, on sait que les pratiques de l'agriculture biologique à l'échelle parcellaire favorisent l'abondance et la richesse spécifique de nombreux taxons, dont des taxons prédateurs (Bengtsson et al. 2005). Cependant, très peu de connaissance existe sur les effets de l'organisation spatiale des systèmes de culture en agriculture biologique et conventionnelle dans le paysage sur les communautés d'ennemis naturels et les régulations biologiques. Nous présentons ici les résultats de travaux de recherche mobilisant des approches différentes (synthèse des connaissances et approches expérimentales) autour de cette question et illustrant comment les modes de conduites aux échelles parcellaires et paysagères influencent les communautés d'arthropodes prédateurs, les services de régulation et les abondances de ravageurs.

Références bibliographiques

- Bengtsson, J., Ahnström, J. & Weibull, A.-C. (2005) The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42, 261–269.
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M.M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tscharrntke, T., Weisser, W.W., Winqvist, C., Woltz, M. & Bommarco, R. (2016) Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 198–204.
- Tscharrntke, T., Bommarco, R., Clough, Y., Crist, T.O., Kleijn, D., Rand, T.A., Tylianakis, J.M., Nouhuys, S. van & Vidal, S. (2007) Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, 43, 294–309.

Les effets conjugués de la gestion parcellaire et du contexte paysager et de sa dynamique sur les bioagresseurs et les niveaux de régulation biologique

Petit S^{1*}, Ricci B¹, Alignier A², Aviron S², Biju-Duval L¹, Bouvier JC³, Bretagnolle V⁴, Choisis JP⁵, Franck P³, Gibon A⁵, Joannon A², Ladet S⁵, Mézerette F¹, Plantegenest M⁶, Pollier A⁶, Tricault Y⁶, Vialatte A⁷, Lavigne C³

¹ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

² INRA, UMR 0980 BAGAP, 35042 Rennes

³ INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, 84000 Avignon

⁴ INRA, UMR 7372 CEBC, 79360 Beauvoir-sur-Niort

⁵ INRA, UMR 1201 DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan

⁶ Agrocampus Ouest, UMR 1349 IGEPP, 35042 Rennes

⁷ INP-ENSAT, UMR 1201 DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan

* INRA, UMR 1347 Agroécologie, 17 rue Sully, Dijon ; sandrine.petit-michaut@inra.fr

Mots clés : Pression phytosanitaire, effets conditionnels, rendement, transformation des paysages, paysage fonctionnel

De nombreux travaux ont mis en évidence que les caractéristiques du paysage environnant les parcelles agricoles influencent les abondances d'ennemis naturels et le niveau de régulation biologique dans les cultures. Les effets du paysage sur l'abondance de bio-agresseurs sont par contre encore peu étudiés. Les effets du paysage sur la régulation biologique sont parfois contradictoires, souvent spécifiques aux sites et de ce fait encore peu généralisables. Des travaux récents suggèrent que ces variations de réponse peuvent résulter d'interactions entre gestion parcellaire et contexte paysager, avec des effets conditionnels du paysage selon le type de gestion parcellaire et inversement un effet de la gestion parcellaire qui peut être modulé par le contexte paysager des parcelles (par ex. Lefèbre et al. 2016 ; Petit et al. 2017). De plus, on peut se demander si les échelles temporelles prises en compte (année ou au mieux rotation culturale) sont pertinentes ou suffisantes pour expliciter les services de régulation observés. La spécificité locale des réponses biologiques pourrait en effet être liée à des différences entre sites en termes de transformations des paysages sur les dernières décennies.

Le projet PEERLESS a traité de la question des effets combinés de la gestion parcellaire et du contexte paysager sur l'abondance de bio-agresseurs (et/ou les dégâts causés) et sur le rendement de la culture. En grandes cultures, les relations entre pratiques agricoles parcellaires, métriques paysagères, abondance de bio-agresseurs et rendement de la culture ont été analysées par PLS-PM dans 74 parcelles de blé (adventices, pucerons, criocères) et 42 parcelles de colza (adventices, dégâts des siliques). Les principaux enseignements de cette analyse sont que (1) l'abondance de bio-agresseurs est globalement mal expliquée par les modèles malgré la prise en compte détaillée des pratiques de gestion parcellaire (R² de 4 à 20% selon les bio-agresseurs) ; (2) l'abondance de bio-agresseurs a un effet neutre ou négatif sur le rendement ; (3) le rendement est globalement bien expliqué, (R² de 40 à 63%), notamment par les pratiques de gestion parcellaire ; (4) le poids du paysage sur l'abondance de bio-agresseurs varie selon les bio-agresseurs et selon la pression phytosanitaire parcellaire. En vergers, on montre de la même façon que les effets du paysage sur l'abondance de carpocapse du pommier varient en fonction de la pression phytosanitaire exercée dans le verger focal. La proportion de vergers dans le paysage diminue l'abondance des carpocapses dans les parcelles faiblement traitées mais n'a aucun effet dans les vergers traités intensivement.

Le projet SEBIOPAG-PHYTO a analysé les variations des taux de prédation de 3 types de proies sentinelles (graines adventices, pucerons, œufs de lépidoptère) dans 100 parcelles sur deux années consécutives en regard de la pression phytosanitaire parcellaire (IFT) et des caractéristiques du paysage environnant. Il en ressort que, pour tous les types de proies, nous avons systématiquement détecté une interaction significative paysage*IFT sur les taux de prédation malgré l'absence d'effet

indépendant de la pression phytosanitaire dans la parcelle. La prédation augmente avec la proportion de culture hôte dans le paysage dans les situations locales de forte pression phytosanitaire. Par contre, dans les situations de faible pression phytosanitaire locale, la prédation décroît quand la proportion de culture hôte augmente. De la même façon, la prédation augmente avec la longueur d'interface entre cultures et milieux semi-naturels si la pression phytosanitaire parcellaire est faible mais on observe la relation inverse si la pression phytosanitaire est élevée. La pression phytosanitaire est donc un déterminant majeur de la modulation des effets du paysage sur la régulation biologique ce qui implique que la gestion parcellaire et les caractéristiques du paysage doivent être considérées conjointement pour promouvoir la régulation naturelle des bio-agresseurs.

Ce projet a également permis d'aborder la question des effets des transformations des paysages agricoles sur des temps longs (50 ans) sur la régulation biologique des bio-agresseurs, l'hypothèse étant que les niveaux de régulation observés actuellement peuvent être tributaires des trajectoires d'évolution des paysages et des systèmes d'exploitation agricole. Nous avons mobilisé un cadre méthodologique permettant une analyse intégrée des relations entre les changements de paysage et de gestion agricole sur le contrôle biologique. Sur les 5 régions suivies par le réseau national SEBIOPAG, nous avons conduit une analyse systémique combinant lecture de paysage et reconstitution fine par enquête de l'histoire de l'agriculture régionale pour appréhender les évolutions des mosaïques paysagères et des pratiques d'utilisation des terres et identifier les principaux facteurs technico-économiques de ces transformations. Ces travaux ont permis de mettre en évidence et de décrire au sein de chaque région une diversité d'unités fonctionnelles de paysages, caractérisées par des patrons spécifiques d'organisation et d'évolution conjointes du milieu et des activités agricoles. La coexistence au sein d'un même territoire géographique d'unités fonctionnelles de paysage aux caractéristiques et dynamiques agro-écologiques différenciées pourrait expliquer une partie des variations de niveau de régulation observées au sein de chaque région.

Ces différents travaux nous amènent à discuter plusieurs points. Le premier est relatif à la nécessité de pouvoir décrire des paysages de pratiques culturales (Puech et al., 2015) notamment la pression phytosanitaire à l'échelle d'un paysage (Lavigne et al. 2014), voire des paysages fonctionnels (Vialatte et al., 2017) pour traiter de la question des niveaux de régulation biologique. Ici, l'accès aux données de pratiques ou aux données biologiques à l'échelle de paysages reste un verrou majeur même si le développement de nouvelles méthodes d'acquisition de données pourrait en partie augmenter notre capacité à décrire le paysage de façon plus fonctionnelle. Le second point porte sur les difficultés méthodologiques liées à l'analyse de données aux échelles paysagères.

Références bibliographiques

- Lavigne, C., Franck, P., Toubon, J.-F., Thomas, C., Bouvier, J.-C., Maugin, S., Olivares, J. (2014). Paysages et régulations biologiques : Impact de la structure paysagère sur les ravageurs et leurs ennemis naturels. In: PE Lauri, M Navarette, LParrot, S Simon, Conception de systèmes horticoles innovants. Bases biologiques, écologiques et socio-économiques. Paris, FRA : FormaScience.
- Lefèbvre M., Franck P., Toubon J.-F., Bouvier J.-C., Lavigne C. 2016 The impact of landscape composition on the occurrence of a canopy dwelling spider depends on orchard management. *Agriculture, Ecosystems, Environment*. 215: 20-29.
- Petit, S., Trichard, A., Biju-Duval, L., McLaughlin, O., Bohan, D. 2017 Interactions between conservation agricultural practice and landscape composition promote weed seed predation by invertebrates. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240 : 45-53.
- Puech C., Poggi S., Baudry J., Aviron S. 2015 Do farming practices impact natural enemies at the landscape scale? 2015. *Landscape Ecology* 30: 125-140.
- Vialatte A., Tsaffack, N., Al Hassan, D., Duflot, R., Plantegenest, M., Ouin, A., Villenave-Chasset, J. Ernoult, A. 2017. Landscape potential in pollen provisioning for beneficial insects favors biological control in crop fields. *Landscape Ecology*. DOI 10.1007/s10980-016-0481-8.

Le projet FarmLand : effet de l'hétérogénéité de la mosaïque des cultures sur la biodiversité et les services écosystémiques des paysages agricoles

Sirami, C^{1*} & le consortium FarmLand²

¹ INRA, UMR 1201 Dynafor, 31320 Castanet-Tolosan

² <http://www.farmland-biodiversity.org/>

*INRA, clelia.sirami@inra.fr

Mots clés : Diversité des cultures, taille des parcelles, multi-taxa, hétérogénéité spatio-temporelle

Les paysages agricoles occupent 40% de la surface terrestre en Europe et jouent un rôle important en tant qu'habitat pour de nombreuses espèces de plantes et d'animaux sauvages. Ces espèces contribuent également à la production agricole du fait des services qu'ils fournissent, en particulier la pollinisation et le contrôle biologique. Les paysages agricoles ont rapidement changé durant les dernières décades : la proportion d'habitats semi-naturels et le nombre des cultures ont diminué et la taille moyenne des parcelles a augmenté. Quels sont les effets de ces modifications des paysages sur la biodiversité et les services écosystémiques? Nous savons déjà que les paysages agricoles qui contiennent moins d'habitats semi-naturels sont souvent associés à une biodiversité et des niveaux de services écosystémiques moins élevés. Cependant, les politiques qui visent à convertir une partie de la surface de production en habitats semi-naturels tels que des bandes enherbées ou des haies entre les parcelles ne sont pas toujours faciles à appliquer. Il existe beaucoup moins de travaux sur les effets de la baisse de la diversité des cultures ou l'augmentation de la taille des parcelles sur la biodiversité et les services écosystémiques. Il a pourtant été suggéré que l'hétérogénéité spatiale de la mosaïque des cultures pourrait avoir un effet positif sur la biodiversité et les services écosystémiques associés. L'objectif du projet FarmLand est de tester cette hypothèse via une approche multi-région, multi-taxa et multi-services. Nous avons sélectionné 435 paysages agricoles le long de deux gradients indépendants de diversité des cultures et taille moyenne des parcelles au sein de huit régions en Europe et en Amérique du Nord. Nous avons échantillonné sept groupes taxonomiques (plantes, abeilles, papillons, syrphes, carabes, araignées et oiseaux) et mesuré deux services écosystémiques (pollinisation et contrôle biologique). Nous avons montré que l'effet de l'hétérogénéité de la mosaïque des cultures sur la multidiversité (indice synthétique de biodiversité multi-taxa) est comparable à celui de la quantité d'habitats semi-naturels, et globalement similaire entre les huit régions. Ces effets de l'hétérogénéité de la mosaïque des cultures sont modulés par la quantité d'habitats naturels. Ces effets ne sont ni dû à des pratiques ou à des types de cultures différentes, ni à la présence de haies ou de bandes enherbées entre les parcelles. L'hétérogénéité de la mosaïque des cultures semble avoir des effets plus complexes sur les services écosystémiques. Seule la longueur totale des bordures de champ semble avoir un effet positif sur la pollinisation, en facilitant les déplacements des pollinisateurs au sein du paysage. La taille des parcelles a un effet positif sur la quantité de pucerons tandis que l'effet de la diversité des cultures sur la quantité de pucerons dépend de la composition de la mosaïque de l'année précédente. Le projet FarmLand montre donc que la gestion de l'hétérogénéité spatiale et temporelle de la mosaïque des cultures représente un moyen efficace d'améliorer la biodiversité et les services écosystémiques au sein des paysages agricoles.

Résumés Session 4 :

Modéliser les processus à l'échelle des paysages

Plateforme MAELIA : modéliser les interactions entre activités agricoles et processus écologiques

Therond O¹*

¹ INRA, UMR 1132 LEA, Colmar,

* olivier.therond@inra.fr

Mots clés: Paysage agricole, modélisation intégrée, système socio-écologique, stratégie de gestion, évaluation multicritère

La conception de stratégies durables de gestion des ressources naturelles à l'échelle du paysage nécessite le développement d'outil de modélisation intégrée adapté. MAELIA (<http://maelia-platform.inra.fr/>) est une plateforme multi-agents de modélisation et de simulation des paysages agricoles développée pour conduire une évaluation des performances environnementales (impacts et services écosystémiques), économiques et sociales de scénarios de changements d'activités agricoles, de modes de gestion des ressources naturelles, et globaux (démographie, marchés et politiques agricoles, dynamique d'occupation du sol et changements climatiques). De manière originale, MAELIA permet de représenter le fonctionnement et les interactions entre les quatre grands sous-systèmes des systèmes socio-écologiques : (i) l'écosystème, (ii) le système de ressources générées par cet écosystème, (iii) les activités des usagers de ces ressources et (iv) le système de gouvernance des interactions entre usagers et ressources. Actuellement, MAELIA permet de modéliser et simuler, à des résolutions spatiales et temporelles fines au sein des paysages, les interactions entre les activités agricoles (choix d'assolement au sein de chaque exploitation, conduite des systèmes de culture au sein de chaque parcelle), l'hydrologie des différentes ressources en eau (basé sur les formalismes de la plateforme SWAT®) et la gestion des ressources en eau (lâchers de barrage, restrictions d'usage de l'eau). De ce fait, MAELIA propose une architecture logicielle, développée sous GAMA®, pour représenter finement les interactions entre activités agricoles, dynamiques du paysage agricole et gestion des ressources naturelles à l'échelle du territoire. Elle permet de représenter et simuler les stratégies des acteurs (ex. agriculteurs, gouvernance des ressources) et le comportement biophysique individualisé des entités de gestion (ex. parcelle, sous-territoire) considérant les contraintes (ex. travail, structure du parcellaire) qui s'expriment aux différents niveaux d'organisation au sein des exploitations (ex. bloc de parcelles, bloc d'irrigation) et du territoire (ex. sous-bassin versant, collectif d'agriculteurs). Elle permet de simuler finement l'hétérogénéité spatiotemporelle du paysage. Les projets d'extension des fonctionnalités de MAELIA permettront de traiter les questions relatives aux interactions entre systèmes de grande culture et d'élevage, cycles biogéochimiques, régulations biologiques, gestion territoriale des produits résiduels organiques et à l'évaluation des performances des systèmes agroécologiques et agroforestiers. Le Club des Contributeurs au Développement de MAELIA implique, actuellement, une dizaine de laboratoires de recherche (INRA, CNRS, Universités, CIRAD), ARVALIS, la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne et l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace. Il vise à coordonner les développements distribués dans différents projets et favoriser la mutualisation des moyens et la mise en réseau.

Références bibliographiques

Martin, E., Gascoin, S., Grusson, Y., Murgue, C., Bardeau, M., Anctil, F., Ferrant, S., Lardy, R., Le Moigne, P., Leenhardt, D., Rivalland, V., Sánchez Pérez, J.M., Sauvage, S., Therond, O. (2016). Hydrological modelling in highly anthropized river basins: examples from the Garonne basin, Surveys in geophysics. DOI 10.1007/s10712-016-9366-2

- Mazzega, P., Therond, O., Debril, T., March, H., Sibertin-Blanc, C., Lardy, R., Sant'Ana, D. (2014). Critical Multi-Scale Governance Issues of the Integrated Modeling: Example of the Low-Water Management in the Adour-Garonne Basin (France). *Journal of hydrology*, 519, 2515-2526. DOI 10.1016/j.jhydrol.2014.09.043
- Therond, O., Sibertin-Blanc, C., Balestrat, M., Gaudou, B., Hong, Y., Louail, T., Nguyen, V.B., Panzoli, D., Sanchez-Perez, J.M., Sauvage, S., Taillandier, P., Vavasseur, M., Mazzega, P., 2014. Integrated modelling of social-ecological systems: The MAELIA high-resolution multi-agent platform to deal with water scarcity problems. In Daniel P. Ames, Nigel W.T. Quinn and Andrea E. Rizzoli (Eds.). 7th Int. Congress on Env. Modelling and Software (iEMSs), San Diego, CA, USA, 8 pp.

Dynamiques de populations en milieu hétérogène : Modèles et estimation de paramètres

Bonnefon O^{1*}, Roques L^{1*}, Bourhis Y², Franck P³, Klein E K¹, Parisey N², Poggi S², Ricci B⁴, Soubeyrand S¹, Walker E¹

¹ INRA, UR 0546 Biostatistique & Processus Spatiaux, 84914 Avignon

² INRA, UMR 1349 IGEPP, 35042 Rennes.

³ INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, 84000 Avignon

⁴ INRA, UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

* olivier.bonnefon@inra.fr; lionel.roques@inra.fr

Mots clés : Modèles discrets/continus ; Equations différentielles stochastiques ; Equations aux dérivées partielles ; Modèles de réaction-diffusion ; Modélisation du paysage ; Approches mécanistico-statistiques ; Modèles 2D/1D ; Données génétiques

Cet exposé traite de (i) la modélisation de dynamiques de populations dans des paysages hétérogènes, (ii) la modélisation des paysages eux-mêmes, (iii) l'estimation des paramètres de ces modèles à partir de données d'abondance ou de données génétiques. Nous nous concentrerons sur deux grandes classes de modèles de dynamique des populations : les modèles individu-centrés basés sur des équations différentielles stochastiques, et les modèles de réaction-diffusion. Après une introduction du lien entre ces approches, 5 illustrations issues des projets sont présentées:

- modélisation de paysages hétérogènes fragmentés, via l'outil MULTILAND (<http://multiland.biosp.org>) ;
- modélisation de dynamiques de population sur des paysages réalistes (2D) traversés par des couloirs de déplacement (1D) (routes, haies, rivières, via un système d'équations 2D/1D . Application de ce modèle à des données de propagation du moustique *Aedes albopictus*, en utilisant une approche mécanistico-statistique (Roques & Bonnefon 2016);
- étude simulateur de l'effet de l'allocation des sols sur une population de carabiques auxiliaires de culture, dont les caractéristiques démographiques sont estimées à partir de piégeage. Utilisation d'un système de réaction-diffusion pour décrire la dynamique des carabiques et approche mécanistico-statistique pour l'estimation des paramètres (Parisey et al 2016) ;
- description d'une nouvelle méthode d'estimation de paramètres de modèles individu-centrés basés sur des EDS. Liens avec les équations aux dérivées partielles et les processus ponctuels ; comparaison entre données de comptage et données géo-localisées;
- méthode pour l'estimation de paramètres de dispersion à partir de données génétiques (Roques et al 2016).

Références bibliographiques

Roques L, Bonnefon O. 2016. Modelling Population Dynamics in Realistic Landscapes with Linear Elements: A Mechanistic-Statistical Reaction-Diffusion Approach, PLOS ONE, 11 (3): e0151217. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0151217>

Parisey N, Bourhis Y, Roques L, Soubeyrand S, Ricci B, Poggi S. 2016. Rearranging agricultural landscapes towards habitat quality optimisation: In silico application to pest regulation, Ecological Complexity, 28: 113-122.

Roques L, Walker E, Franck P, Soubeyrand S, Klein E. 2016. Using genetic data to estimate diffusion rates in heterogeneous landscapes. J Math Biol, 73 : 397–422.

Enjeux et défis de la modélisation des paysages agricoles : de la représentation des agroécosystèmes à la conception de stratégies de gestion

Poggi S^{1*} & Bureau du réseau Payote²

¹ INRA, UMR 1349 IGEPP, 35653 Le Rheu

² <https://www.reseau-payote.fr/>

* sylvain.poggi@inra.fr

Mots clés : Agroécosystème ; systèmes complexes ; modèles de paysage ; stratégies de gestion ; décision des acteurs.

Les agroécosystèmes pourvoient aux besoins alimentaires de la population mondiale et fournissent des services essentiels pour le bien-être de l'humanité. Le paysage agricole constitue une échelle appropriée pour étudier et gérer les processus impliqués dans la fourniture de ces services écosystémiques. La conception de paysages agricoles durables qui puissent valoriser ces services est devenue un enjeu de société majeur, qui doit faire face à des défis liés à la diversité des processus en jeu, de leurs interactions, et des multiples échelles à considérer. La modélisation des paysages agricoles a vocation à aider à leur conception, mais doit résoudre plusieurs difficultés pour offrir aux décideurs de l'aménagement du territoire des outils fiables. Nous avons examiné les travaux récents et identifié des pistes de recherche prometteuses pour lever les verrous scientifiques et techniques au développement de modèles réalistes de paysages agricoles. En particulier, nous mettons en exergue les recherches visant à améliorer le couplage entre représentation du paysage et modèles de processus, à considérer les éventuelles rétroactions, à mieux intégrer la composante décisionnelle relative aux multiples acteurs de l'agroécosystème, enfin à mieux tenir compte de l'hétérogénéité spatiale et temporelle des processus et des données collectées sur le terrain.

Références bibliographiques

Poggi S., J. Papaïx, C. Lavigne, F. Angevin, F. Le Ber, N. Parisey, B. Ricci, F. Vinatier, J. Wohlfahrt. Issues and challenges in landscape models for agriculture: from the representation of agroecosystems to the design of management strategies. Soumis à Landscape Ecology.

Résumés Session 5 :

Intégrer l'agro-écologie dans les filières et l'action publique

Scenarios et modalités de mise en place d'une gestion collective des territoires agricoles à l'échelle du paysage

Hannachi M¹*

¹ INRA, UMR 1048 SADAPT, Paris-Grignon

* Mourad.hannachi@inra.fr

Mots clés : Gestion paysagère, action collective, freins et leviers organisationnels

Présentation des résultats des travaux menés dans le cadre de l'ANR Gester (Gestion territoriale des résistances aux maladies en réponse aux nouvelles contraintes d'utilisation des pesticides en grande culture). Des mosaïques paysagères sont reconnues d'intérêt pour gérer les maladies mais peinent à être implémentées dans les territoires. A travers des études de cas dans les filières colza et blé en France, nous montrons qu'une diversité de mécanismes et scenarios de gestion collective des paysages existent déjà (mais pour des enjeux autre que la gestion de la maladie). Ces résultats nous permettent de discuter les freins et leviers à l'émergence de stratégies de gestion collective territoriale des maladies.

Action publique pour la réduction de l'usage des produits phytosanitaires par la promotion du contrôle biologique : enjeux et instruments

Martinet V¹ avec la contribution de : Maïa David (AgroParisTech), Barbara Langlois (Inra), Maria Pérez-Urdiales (UC Riverside), Rose Choukroun (CDC Biodiversité), Hervé Dakpo (Inra), Benoit Chèze (IFPEN), Dominique Desbois (Inra).

¹ INRA, UMR 0210 Economie Publique, 78850 Thiverval-Grignon

*vincent.martinet@inra.fr

La présentation met en perspective l'ensemble des travaux menés dans la tâche 6 du projet Peerless, en lien avec d'autres projets complémentaires. Elle s'articule autour des points suivants :

- Description du contrôle biologique sous l'angle d'un service écosystémique ; conséquences pour les agriculteurs et pour la société (EFESE Ecosystème agricoles ; Projet INRA Ecoserv ADOSE-CAPP)
- Analyse de l'efficacité d'instruments incitatifs simples et non ciblés : une grande hétérogénéité dans les effets et dans leur efficacité
- Enjeux de régulation par l'action publique et défis associés pour le design d'instruments incitatifs
- Acceptabilité des pratiques agroécologiques par les agriculteurs : enseignement d'une expérience de choix réalisée dans Peerless
- Mise en perspective autour de la question de la multifonctionnalité de l'agriculture et des arbitrages entre enjeux et services écosystémiques (Projet LabEx BASC API-SMAL)

Aider à la gestion des services de régulation naturelle des bioagresseurs: enjeux de connaissances et de prise en compte des agriculteurs. Une approche bibliographique

Thenail C^{1*}; Chartois M¹, Alignier A.¹, Aviron S¹, Joannon A¹, Plantegenest M², Vialatte A³, Petit S⁴

¹ INRA, UMR BAGAP, 65, rue de Saint-Brieuc, CS84215, 35042 Rennes Cedex, Rennes

² Agrocampus-Ouest, UMR IGEPP, Rennes

³ ENSAT, UMR DYNAFOR, Toulouse

⁴ INRA UMR 1347 Agroécologie, 21000 Dijon

*claudine.thenail@inra.fr

Mots clés : Régulation des bioagresseurs, diagnostic, ressources des acteurs, pratiques, paysage

Comment construire des connaissances pour aider les agriculteurs à mieux mobiliser les services de régulation naturelle des bioagresseurs? Nous avons réalisé une revue de la littérature scientifique pour examiner si et comment les connaissances produites pouvaient aider à la réalisation d'un diagnostic de ces services. Nous avons considéré pour cela que ces connaissances devaient porter sur les relations entre i) la problématique de la régulation naturelle des bioagresseurs, ii) les facteurs affectant cette problématique (e.g., pratiques agricoles, environnement paysager), et iii) les ressources des agriculteurs impactées par la régulation biologique (e.g., productions) et/ou permettant de maîtriser les facteurs affectant cette régulation (e.g., ressources en connaissance, travail, équipements). Nous avons aussi examiné si les dynamiques temporelles de ces relations étaient étudiées (Duru, Therond et al, 2015). 1. Nous avons réalisé une requête large dans le Web Of Science des études portant sur le contrôle, y compris chimique et/ou mécanique, des bioagresseurs (15334 articles). 2. Ayant peu de mots clés précis pour identifier les dimensions d'un diagnostic dans ces études, nous avons construit et mobilisé des dictionnaires de mots clés dans une analyse lexicale de notices avec l'outil CorText. Un sous-corpus de 6024 articles a été obtenu après extraction d'études hors-sujet. Nous avons identifié 9 thématiques diversement combinées dans les études, les plus fréquentes étant: "gestion des bioagresseurs", "gestion des adventices", "systèmes de cultures", "modélisation et prise de décision", "acteurs et système d'exploitation" et "agroécosystème et paysage". 3. Afin d'identifier les connaissances utiles pour un diagnostic à partir de ces thématiques, nous avons échantillonné des études selon leurs profils et les avons analysées à partir d'une grille de lecture *ad hoc*. Nous présentons les résultats pour une sélection de 31 études les plus pertinentes *a priori*. Leurs notices mentionnent la régulation naturelle des bioagresseurs et combinent 3-5 thématiques dont au moins "acteurs et systèmes d'exploitation": notre hypothèse est qu'elles prennent en compte explicitement les acteurs et leurs ressources. Ces études sont effectivement les plus riches. Cependant la plupart n'étudient aucune dynamique temporelle. Nous avons distingué 3 groupes. Le premier groupe (15 articles) met l'accent sur l'élucidation de l'influence relative des facteurs "pratiques" et "paysage" sur le phénomène de régulation; les ressources des agriculteurs sont contextuelles (ex: comparaison agriculture biologique vs. agriculture conventionnelle). Le deuxième groupe (6 articles) met l'accent sur l'impact de la régulation biologique et/ou des nouvelles pratiques et aménagements paysagers sur les ressources des agriculteurs (e.g., coûts/bénéfices économiques) à l'échelle de la parcelle. Le dernier groupe (10 articles) est le plus intégrateur des composantes du diagnostic; on y trouve le plus d'études engagées dans l'accompagnement des agriculteurs, notamment l'apprentissage collectif (Bell et al, 2016; Robertson et al, 2014).

Références bibliographiques

- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.A., Justes, E., Journet, E.P., Aubertot, J.N., Savary, S., Bergez, J.E., Sarthou, J., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1259-1281.
- Bell, A., Zhang, W., Nou, K., 2016. Pesticide use and cooperative management of natural enemy habitat in a framed field experiment. *Agric. Syst.* 143, 1-13.
- Robertson, G.P., Gross, K.L., Hamilton, S.K., Landis, D.A., Schmidt, T.M., Snapp, S.S., Swinton, S.M., 2014. Farming for Ecosystem Services: An Ecological Approach to Production Agriculture. *Bioscience* 64, 404-415.

Listes des participants

Noms	Prénom	Organisme, laboratoire	Adresse
Alignier	Audrey	INRA; BAGAP	audrey.alignier@inra.fr
Aviron	Stéphanie	INRA; BAGAP	stephanie.aviron@inra.fr
Barbu	Corentin	INRA; Agronomie	Corentin.Barbu@inra.fr
Berthier	Karine	INRA; PV	karine.berthier@inra.fr
Biju-Duval	Luc	INRA; AgroEcologie	luc.biju-duval@inra.fr
Bischoff	Armin	UAPVIMBE	armin.bischoff@univ-avignon.fr
Bohan	David	INRA; AgroEcologie	David.Bohan@inra.fr
Bonnefon	Olivier	INRA; BioSP	olivier.bonnefon@inra.fr
Canard	Elsa	INRA; IGEPP	elsa.canard@inra.fr
Carbonne	Benjamin	INRA; AgroEcologie	benjamin.carbonne@inra.fr
Carpentier	Alain	INRA; SMART-LERECO	alain.carpentier@inra.fr
Chabert	André	ACTA	andre.chabert@acta.asso.fr
Chartois	Marguerite	INRA; BAGAP	marguerite.chartois@inra.fr
Chauvel	Bruno	INRA; AgroEcologie	bruno.chauvel@inra.fr
Choisis	Jean-Philippe	INRA; Dynafor	jean-philippe.choisis@inra.fr
Colleu	Sylvie	INRA; Smach	sylvie.colleu@inra.fr
Dakpo	Hervé	INRA; EconomiePublic	k-herve.dakpo@inra.fr
Derocles	Stéphane	INRA; AgroEcologie	stephane.derocles@inra.fr
Desbois	Dominique	INRA; EconomiePublic	dominique.desbois@agroparistech.fr
Deytieux	Violaine	INRA; UE Epoisses	violaine.deytieux@inra.fr
Dreux	Laure	INRA; ECO-INNOV	laure.elliott-smith@grignon.inra.fr
Felten	Emeline	INRA; AgroEcologie	emeline.felten@inra.fr
Fontanieu	Gwladys	Agronov	gwladys.fontanieu@inra.fr
Franck	Pierre	INRA; PSH	Pierre.Franck@inra.fr
Gardarin	Antoine	INRA; Agronomie	Antoine.Gardarin@inra.fr
Gibon	Annick	INRA; Dynafor	annick.gibon@inra.fr
Goffaux	Robin	FRB	robin.goffaux@fondationbiodiversite.fr
Gosme	Marie	INRA; Système	marie.gosme@inra.fr
Guerin	Anne	IFPC	anne.guerin@ifpc.eu
Hannachi	Mourad	INRA; SADAPT	mourad.hannachi@inra.fr
Jaloux	Bruno	AgroCampus-Ouest; IGEPP	bruno.jaloux@agrocampus-ouest.fr
Jeanneret	Philippe	Agroscope	philippe.jeanneret@agroscope.admin.ch
Joannon	Alexandre	INRA; BAGAP	alexandre.joannon@inra.fr
Juhel	Amandine	INRA; Agronomie	Amandine.Juhel@inra.fr
Lacroix	Christelle	INRA; PV	christelle.lacroix@inra.fr
Ladet	Sylvie	INRA; Dynafor	sylvie.ladet@inra.fr
Lasserre-Joulin	Françoise	Université de Lorraine; LAE	francoise.lasserre@univ-lorraine.fr
Lavigne	Claire	INRA; PSH	claire.lavigne@inra.fr
Martinet	Vincent	INRA; Economie Public	vincent.martinet@inra.fr
Matejicek	Annick	INRA; AgroEcologie	annick.matejicek@inra.fr

Meiss	Helmut	Université de Lorraine; LAE	Helmut.Meiss@Univ-Lorraine.fr
Memah	Mohamed-Mahmoud	INRA; PSH	mohamed.memmah@inra.fr
Parisey	Nicolas	INRA; IGEPP	nicolas.parisey@inra.fr
Petit	Sandrine	INRA; AgroEcologie	sandrine.petit-michaut@inra.fr
Plantegenest	Manuel	AgroCampus-Ouest; IGEPP	manuel.plantegenest@agrocampus-ouest.fr
Poggi	Sylvain	INRA; IGEPP	sylvain.poggi@inra.fr
Pozzi	Tiffani	INRA; BAGAP	tiffani.pozzi@inra.fr
Ricard	Jean-Michel	CTIFL	Ricard@ctifl.fr
Ricci	Benoit	INRA; AgroEcologie	benoit.ricci@inra.fr
Roques	Lionel	INRA; BioSP	Lionel.Roques@inra.fr
Rusch	Adrien	INRA; SAVE	adrien.rusch@inra.fr
Sirami	Clélia	INRA; Dynafor	clelia.sirami@inra.fr
Thenail	Claudine	INRA; BAGAP	claudine.thenail@inra.fr
Therond	Olivier	INRA; LAE	olivier.therond@inra.fr
Thibord	Jean-Baptiste	ARVALIS	jb.thibord@arvalisinstitutduvegetal.fr
Thomas	Cécile	INRA; PSH	cecile.thomas@inra.fr
Tixier	Philippe	CIRAD; GECO	tixier@cirad.fr
Tosser	Véronique	ARVALIS	v.tosser@arvalis.fr
Tricault	Yann	AgroCampus-Ouest; IGEPP	Yann.Tricault@agrocampus-ouest.fr
Valantin-Morison	Muriel	INRA; Agronomie	muriel.morison@inra.fr
Vialatte	Aude	INRA; Dynafor	aude.vialatte@ensat.fr
Warlop	François	GRAB	francois.warlop@grab.fr

Principaux contributeurs financiers



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

