



HAL
open science

Vers l'émergence de stratégies territoriales pour renforcer les régulations biologiques : une approche transdisciplinaire

Sandrine Petit, Audrey Alignier, Roland Allart, Stéphanie Aviron, Hugues Boussard, Pierre Franck, Caroline Gibert, Sylvie Ladet, Claire Lavigne, Lou Lecuyer, et al.

► To cite this version:

Sandrine Petit, Audrey Alignier, Roland Allart, Stéphanie Aviron, Hugues Boussard, et al.. Vers l'émergence de stratégies territoriales pour renforcer les régulations biologiques : une approche transdisciplinaire. *Innovations Agronomiques*, 2024, 96, pp.88-99. 10.17180/ciag-2024-vol96-art07 . hal-04728255

HAL Id: hal-04728255

<https://hal.inrae.fr/hal-04728255v1>

Submitted on 9 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Vers l'émergence de stratégies territoriales pour renforcer les régulations biologiques : une approche transdisciplinaire

Sandrine PETIT^{1*}, Audrey ALIGNIER^{2,3}, Roland ALLART¹, Stéphanie AVIRON^{2,3}, Hugues BOUSSARD², Pierre FRANCK⁴, Caroline GIBERT⁵, Sylvie LADET^{6,7}, Claire LAVIGNE⁴, Lou LECUYER¹, Lucile MUNERET¹, Sylvain POGGI⁸, Benoit RICCI¹, Adrien RUSCH⁹, Aude VIALATTE^{6,7}, Juliette YOUNG¹

¹Agroécologie, INRAE, Institut Agro, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

²BAGAP, INRAE, Institut Agro Rennes-Angers, ESA, F-35042 Rennes, France

³LTSER Zone Atelier Armorique, CNRS, F-35042 Rennes, France

⁴PSH, INRAE, F-84000 Avignon, France.

⁵SOLAGRO, F-31000 Toulouse, France

⁶Dynafor, INRAE, Univ. Toulouse, F-31326 Castanet Tolosan, France

⁷LTSER Zone Atelier, Pyrénées Garonne, CNRS, F-31000 Toulouse, France

⁸IGEPP, INRAE, Institut Agro, Univ Rennes, F-35653 Le Rheu, France

⁹SAVE, INRAE, ISVV, Univ. Bordeaux, Bordeaux Sciences Agro, F-33883 Villenave d'Ornon Cedex, France

Correspondance : sandrine.petit-michaut@inrae.fr

Résumé :

Renforcer les services de régulation des bio-agresseurs par leurs ennemis naturels constitue une voie pour réduire l'usage des produits phytosanitaires. Cette alternative est encore peu mobilisée par la profession agricole, essentiellement par manque de références et d'analyses prospectives des gains de régulation biologique attendus par la combinaison de leviers de gestion à l'échelle des exploitations et des territoires. Le projet PREPARE (2019-2023) a mené cette analyse en mobilisant cinq sites régionaux des réseaux de suivis à long terme de la régulation biologique à l'échelle des paysages SEBIOPAG et BACCHUS. Le projet a produit des modèles prédictifs de régulation biologique en réponse aux pratiques agricoles locales et territoriales. Il a également conduit une démarche 'pilote' d'animation participative basée sur la co-construction de scénarios territoriaux et sur le développement d'un outil de simulation spatialement explicite pour visualiser les effets de changements de pratiques sur la régulation biologique. Cette démarche a permis de partager avec les agriculteurs des territoires étudiés leur grande interdépendance vis-à-vis de la régulation biologique et le bénéfice pour chacun à s'engager collectivement dans les changements de pratiques favorables à la régulation biologique. Le projet a engagé les acteurs locaux dans une réflexion sur les actions collectives qu'il serait pertinent d'engager dans leur contexte et sur les freins et leviers à mobiliser pour mettre en œuvre ces actions collectives dans leur territoire.

Mots-clés : réseaux de paysages, modèles prédictifs, scénarios territoriaux, action collective

Abstract: Towards the emergence of territorial strategies fostering pest control services: a transdisciplinary approach

Reinforcing the regulation of pests by their natural enemies is a promising way of reducing the use of pesticides. This alternative is still little used by farmers, mainly due to a lack of references and prospective analyses about the gains to be expected from the implementation of management options at farm and landscape levels. The PREPARE project (2019-2023) has carried out this analysis by mobilizing the five regional sites of the long-term landscape-scale monitoring networks SEBIOPAG and BACCHUS. The project produced predictive models of natural pest control in response to local and landscape-scale management options, and created a 'pilot' participatory animation approach based on the co-construction of territorial scenarios and the development of a spatially explicit simulation tool to visualize the effects of changes in practices on natural pest control. This approach made it possible to share with farmers their great interdependence and the benefits for each of them in collectively committing to changes in practices favorable to natural pest control. It enabled local stakeholders to reflect on the collective actions that would be relevant to their context, and on the obstacles and levers to be mobilized to implement these collective actions in their territory.

Keywords : Landscape Monitoring Networks, predictive models, territorial scenarios, collective action



1. Introduction

L'adoption de systèmes agricoles plus favorables à la biodiversité pourrait contribuer à augmenter les services de régulation biologique des bio-agresseurs des cultures par leurs ennemis naturels et constituer une voie pour réduire l'usage des produits phytosanitaires (Bommarco et al., 2013). On dispose aujourd'hui de nombreuses références qui démontrent la contribution des ennemis naturels à la régulation biologique et ainsi indirectement au rendement des cultures. Une méta-analyse récente basée sur 86 études et 317 comparaisons dans 32 pays indique par exemple que les prédateurs réduisent en moyenne les populations de ravageurs de 73 %, avec en moyenne un gain de rendement de 25 % (Boldorini et al., 2023). Cette conclusion est validée dans différents types de cultures (céréales, oléagineux, fruits). De la même façon, une étude récente indique que les prédateurs de graines réduisent très significativement la densité et la biomasse d'adventices et contribuent au rendement de cultures comme le blé à hauteur de 20 % (Muneret et al., 2024).

La régulation biologique résulte d'interactions trophiques entre des organismes mobiles dont les domaines vitaux dépassent l'échelle de la parcelle. Les leviers de gestion mobilisables pour la renforcer doivent donc se considérer à plusieurs échelles spatiales, de la parcelle au paysage. Dans la parcelle, les couverts cultivés et les pratiques de gestion associées vont impacter les populations d'ennemis naturels et les niveaux de régulation observés (voir revue systématique de Petit et al. 2020). Un fort niveau d'utilisation de pesticides peut réduire les régulations biologiques (Ricci et al., 2019) tandis que la réduction du travail du sol augmente l'abondance d'ennemis naturels et la régulation des bioagresseurs (Carbonne et al., 2023). L'implantation de couverts diversifiés en bordure de parcelles favorise les ennemis naturels, réduit l'abondance de bioagresseurs ainsi que les dégâts dans les cultures adjacentes (Crowther et al., 2023) et renforce les services de régulation jusque loin dans la parcelle (Albrecht et al., 2020). Augmenter la proportion d'habitats semi-naturels dans les paysages agricoles tend à renforcer la régulation biologique (Rusch et al., 2016 ; Karp et al., 2018). Une récente expertise scientifique collective basée sur plus de 900 références internationales conclut que la diversification végétale des parcelles et des paysages agricoles est une solution naturelle efficace pour protéger les cultures et garantir des niveaux de rendement égaux voire supérieurs aux systèmes peu diversifiés (Vialatte et al., 2023).

Ces différentes synthèses mettent aussi en évidence la grande variabilité de la réponse de la régulation biologique aux facteurs de gestion parcellaire et paysagère, ce qui ne facilite pas la diffusion de solutions de gestion vers la profession agricole. Cette variabilité pourrait résulter de la grande diversité des mesures et protocoles utilisés dans les études. Par exemple, dans la méta-analyse de Karp et al. (2018), la variable de réponse 'régulation biologique' est une combinaison de résultats issus d'expériences d'exclusion de prédateurs, d'exposition de proies sentinelles, de mesures d'abondance ou de dommages causés par les bioagresseurs et combine une diversité de bio-agresseurs et d'ennemis naturels, sans considérer que les espèces ne répondent pas toutes de la même façon aux leviers territoriaux. Les variables sont aussi très souvent mesurées avec des efforts d'échantillonnage variables et le long de gradients paysagers qui ne sont pas toujours comparables (Petit et al., 2020). Adopter un cadre unifié de suivis de la régulation biologique dans les paysages apporterait une solution à ces limitations méthodologiques et permettrait de savoir si la variabilité observée entre études résulte de ces limitations ou reflète de réelles différences de fonctionnement des agroécosystèmes dans différents contextes. En complément, étant donné les variations de régulation biologique observées d'une année sur l'autre (Ricci et al., 2019 ; Muneret et al., 2023), il est primordial de conduire ces suivis sur plusieurs années. C'est ce qui est mis en œuvre dans le réseau de suivi à long terme des paysages français SEBIOPAG, qui mesure et analyse sur le long-terme les déterminants de la régulation biologique dans divers contextes agronomiques et paysagers (Petit et al. 2021).

Les organismes impliqués dans la régulation biologique se déplacent bien au-delà de la parcelle et répondent à la gestion agricole sur des pas de temps pluriannuels. La régulation biologique sur une parcelle à un moment donné dépend ainsi des actions de gestion qui sont mises en œuvre localement, mais aussi de celles réalisées sur d'autres portions de l'espace agricole, sur une même période ou sur d'autres pas de temps. Cette réalité a deux conséquences principales. La première est que pour renforcer efficacement la régulation des bioagresseurs sur une parcelle agricole, les actions de gestion favorables doivent être déployées sur l'ensemble du paysage (Landis, 2017). Il a par exemple été démontré à l'échelle de la Suisse que l'efficacité de mesures agro-environnementales en faveur de l'agro-biodiversité est multipliée par deux quand ces mesures sont généralisées à l'échelle du paysage (Meier et al., 2024). Pour autant, le déploiement de gestion favorable à la régulation biologique à l'échelle de paysages demeure extrêmement rare et nous manquons de références sur la question. La seconde est que les agriculteurs voisins d'un même territoire sont interdépendants puisque les décisions individuelles de gestion de chacun impactent la régulation biologique bien au-delà des parcelles ou territoires d'exploitations concernées. Le



déploiement de mesures renforçant la régulation biologique à l'échelle du paysage pourrait donc nécessiter une forme d'échange et de concertation entre agriculteurs voisins (Duru et al., 2015). C'est par exemple ce qui a été mis en œuvre à Hoeksche Waard aux Pays-Bas (Steingrover et al., 2010), avec une implantation collective de bandes fleuries qui a permis un essor significatif de la régulation biologique et une réduction importante du recours aux insecticides (van Rijn et al., 2024). Les exemples d'action collective pour renforcer la régulation biologique sont cependant rares et la plus-value à agir collectivement pour renforcer la régulation biologique dans différents contextes est très peu documentée.

Le projet PREPARE 'Prédire et comprendre les effets des paysages de pratiques sur les régulations biologiques', lauréat de l'appel d'offre « Leviers Territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques », a exploré ces questions. Il a développé une analyse précise et située des effets de la mobilisation de différents leviers territoriaux sur la régulation biologique sur la base des données disponibles sur cinq sites régionaux des réseaux SEBIOPAG et BACCHUS. Plus spécifiquement, PREPARE a (i) développé des modèles prédictifs de niveaux de régulation biologique en réponse aux pratiques agricoles locales et territoriales. (ii) proposé une démarche 'pilote' d'animation participative basée sur le développement d'un outil de simulation spatialement explicite dédié qui permet de visualiser les changements de pratiques territoriales et leurs effets sur la régulation biologique et (iii) exploré avec les acteurs différents scénarios de mobilisation de leviers (individuel, collectif) en termes de gain de régulation biologique et identifié des actions collectives pour y parvenir.

2. Une démarche transdisciplinaire ancrée sur les territoires

2.1 Les réseaux de suivis de la régulation biologique dans les paysages

Le projet s'est appuyé sur les suivis de régulation biologique sur des réseaux de paysages initié par les équipes du consortium en 2014, le réseau SEBIOPAG qui comporte quatre sites régionaux (<https://sebiopag.inrae.fr/>) et le site BACCHUS sur vignes dans le bordelais. Les cinq sites régionaux couvrent de larges gammes de systèmes de production et de contextes paysagers, avec un total de 120 paysages étudiés annuellement en termes de régulation biologique et auxiliaires, pratiques agricoles locales et caractéristiques paysagères (Figure1). L'originalité de ces réseaux est de trois ordres : (i) Ils sont instaurés sur le long terme mais se différencient d'autres dispositifs du fait d'un suivi des mêmes parcelles et paysages au cours des années (plutôt qu'un ciblage sur les types de culture qui impose de changer de parcelle chaque année dans les situations de cultures annuelles). Cette particularité permet une analyse à des échelles pluriannuelles. (ii) Une place importante est donnée à la description et au suivi de la gestion agricole dans les réseaux, avec une acquisition annuelle de données agronomiques sur les parcelles suivies par enquête et un suivi des assolements sur les 120 paysages. (iii) Ils se caractérisent par des interactions importantes avec les gestionnaires (notamment les exploitants agricoles) du fait des deux caractéristiques précédentes. Ces interactions sont aussi 'collectives' avec des restitutions régulières aux acteurs locaux des travaux menés sur chacun des terrains d'étude.

Dans les réseaux de suivi, la régulation biologique est estimée par des taux de prédation mesurés au champ à l'aide de cartes de prédation, sur lesquelles sont exposées des proies sentinelles correspondant à des bioagresseurs. Dans le réseau SEBIOPAG, quatre taux de prédation sont mesurés, ceux des pucerons du pois *Acyrtosiphon pisum*, exposés au sol et sur la culture, de graines de la plante adventice *Viola arvensis* exposées au sol et ceux des œufs de la pyrale de la farine *Ephestia kuehniella* sur la culture.

La gestion agricole des parcelles est documentée annuellement par enquête auprès des exploitants (itinéraire technique complet). Ces informations permettent de calculer des indicateurs communs aux sites régionaux, par exemple l'indice de fréquence de traitement. Le contexte paysager des parcelles (1km²) a été reconstitué de façon harmonisée entre sites, grâce au développement d'une procédure automatisée développée dans le projet (package alm 'automatic landscape mapping', Allart et al., 2021).

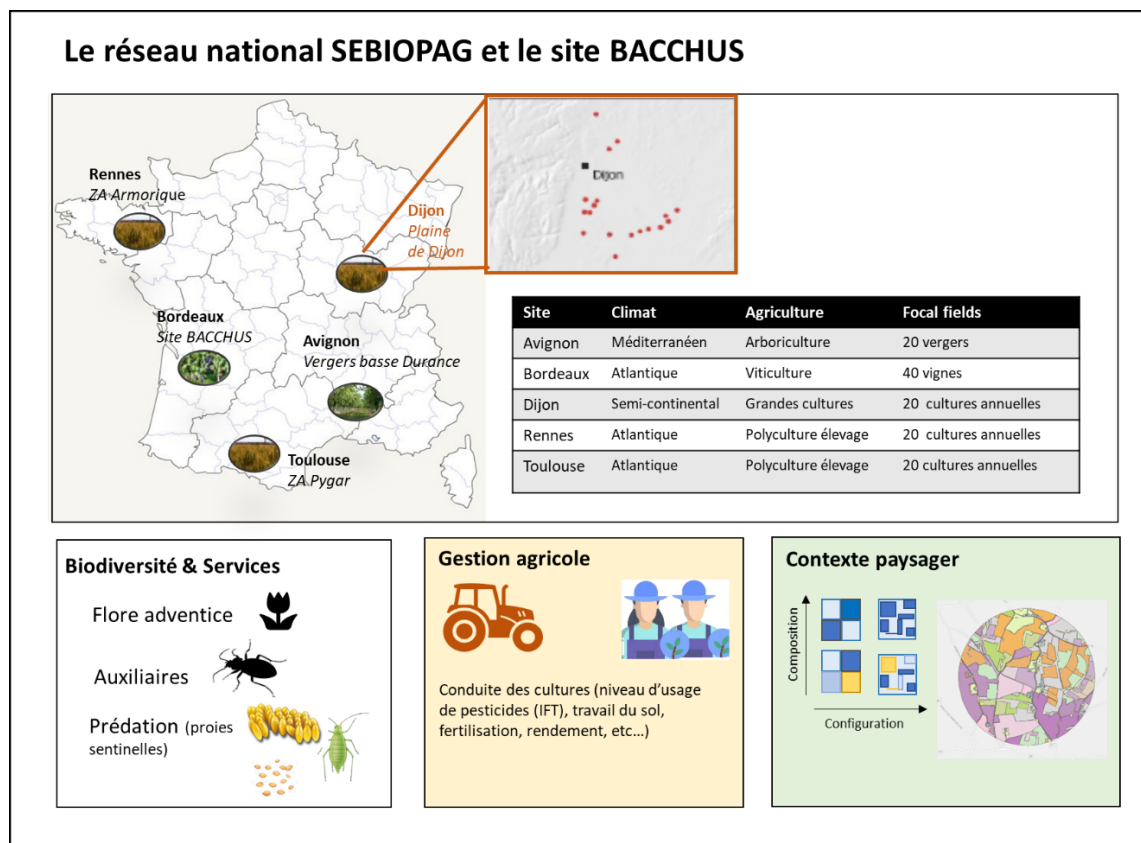


Figure 1 : Les 5 sites régionaux mobilisés dans le projet PREPARE sont composés de 20 (ou 40) parcelles qui sont suivies annuellement (Biodiversité et services, Gestion agricole, Contexte paysager) avec des méthodes et protocoles harmonisés.

2.2 La démarche territoriale participative

PREPARE avait pour objectif de développer avec les acteurs locaux une analyse précise et située des effets de la mobilisation de combinaisons des leviers territoriaux sur la régulation biologique sur leur territoire. Pour ce faire, nous avons opté pour le principe d'une démarche alliant co-construction et analyse partagée avec les acteurs, de suivis sur les réseaux de paysages et modélisation prédictive telle que développée dans Petit et al. (2023) et synthétisée dans la figure 2. Le projet a ainsi débuté par un atelier de co-construction de trajectoires de changement des exploitations avec les acteurs (Atelier 1). Il s'agissait de préciser les changements de pratiques agricoles qui apparaissent faisables techniquement, acceptables pour les exploitants agricoles et de les traduire par des trajectoires de changement des exploitations et du territoire. Ces trajectoires ont été associées à un générateur d'assolement ce qui a permis le développement de scénarios territoriaux spatialisés (cartes). En parallèle, les données des sites régionaux ont été compilées, analysées et des modèles prédictifs d'estimation des niveaux de régulation biologique ont été développés. La combinaison du générateur d'assolement et de modèles prédictifs permet de simuler l'effet de scénarios de mobilisation de leviers territoriaux sur la régulation biologique. Ces simulations ont été restituées et discutées avec les acteurs locaux lors de l'Atelier 2. Cette restitution a permis de stimuler un travail de groupe entre acteurs et l'identification d'actions collectives à mettre en œuvre sur leur territoire, et la description des conditions qui seraient nécessaires pour qu'ils les mettent œuvre. L'impact du projet PREPARE a été apprécié en évaluant d'éventuels changements de positionnement des acteurs au regard de l'action collective sur leur territoire avant (positionnement initial Atelier 1) et après restitution de résultats et échanges (positionnement en fin de l'Atelier 2).

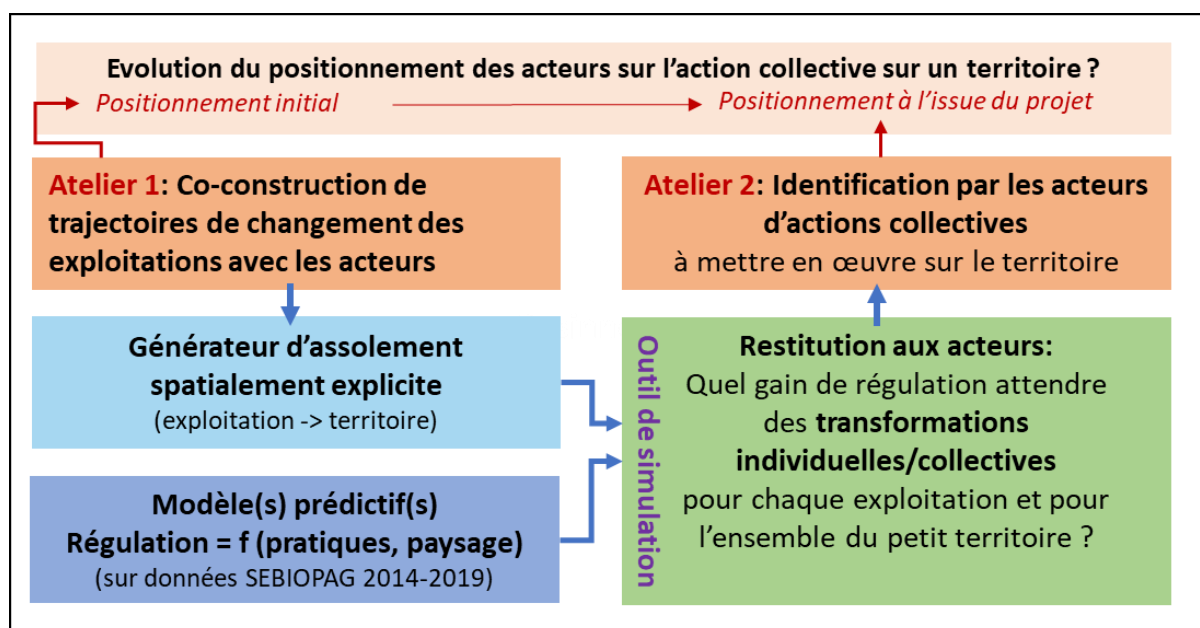


Figure 2. Les différentes étapes de la démarche participative adoptée dans le projet PREPARE

3. La modélisation participative pour quantifier les interdépendances spatiales

3.1 La co-construction de trajectoires de changements

Les ateliers de co-construction ont mobilisé un panel de 55 agriculteurs sur les cinq sites, qui de façon générale étaient sensibilisés à la question de la régulation biologique des bioagresseurs. Les changements de pratiques qu'ils ont mis en œuvre ou projettent de mettre en œuvre sur leur exploitation nous ont permis d'identifier des trajectoires de changements réalistes et acceptables, dans chacun des sites. Depuis 2008 (1^{er} plan Ecophyto), 90 % des agriculteurs du panel ont implanté des infrastructures agroécologiques (IAE, e.g. haies, bandes enherbées, bandes fleuries) sur leur exploitation, 15 % avaient converti tout ou partie de leur exploitation en agriculture biologique et 90 % estiment avoir réduit leur usage de produits phytosanitaires (en majorité de 30 %). Pour ce qui est du futur proche, environ 85 % des répondants envisagent des modifications de pratiques sur leur exploitation. Parmi ceux-ci, 20 % envisagent de mobiliser un seul levier (essentiellement l'implantation d'IAE) tandis que 80 % vont mobiliser deux ou trois leviers. Dans les sites de cultures annuelles, la diversification (intégrer de nouvelles cultures dans l'assolement) est envisagée par la moitié des agriculteurs et quand elle n'est pas envisagée, c'est souvent parce que l'exploitant a déjà beaucoup diversifié. Les ateliers ont permis d'identifier pour chaque site régional un scénario territorial qui rassemble plusieurs types de trajectoires d'exploitations. Ces scénarios combinent souvent des exploitations qui se convertissent en agriculture biologique (AB) et l'implantation d'IAE de type "haies". Pour les sites de cultures annuelles, les scénarios impliquent en plus des exploitations qui diversifient leur assolement et allongent leurs rotations.

3.2 La modélisation de la régulation biologique

Les taux de prédation des différentes proies sentinelles ont été mis en relation pour chacun des cinq sites régionaux avec des déterminants décrivant, par parcelle et par année de suivi, quatre grands types de facteurs : (i) les conditions météorologiques durant l'exposition des proies sentinelles, (ii) les conditions climatiques de l'année, (iii) les caractéristiques paysagères autour de la parcelle (1km²), et (iv) les pratiques agricoles dans la parcelle. Les modèles ont mobilisé les données annuelles récoltées sur les 120 parcelles sur la période 2014-2019, soit six années consécutives.



Des modèles explicatifs locaux plus performants que les modèles génériques

Une première analyse a permis de comparer la performance de modèles 'locaux', développé sur chacun des sites à des modèles plus génériques. Nous avons développé des modèles linéaires généralisés mixtes soit sur tous les sites confondus (« modèle global »), soit par site (« modèle local »), soit en regroupant les cultures annuelles d'une part (sites Dijon-Rennes-Toulouse, « DRT ») et les cultures pérennes d'autre part (Avignon-Bordeaux, « AB »). Pour l'ensemble des modèles, on note un effet toujours fort des variables météorologiques et une contribution significative des variables paysagères. Globalement, bien qu'ils utilisent moins de données, les modèles basés sur les jeux de données par site sont meilleurs que ceux basés sur les jeux de données regroupant plusieurs sites. Nos résultats indiquent clairement que malgré l'exacte similitude des méthodes utilisées, les modèles explicatifs locaux (basés sur des paramètres spécifiques au site régional) expliquent bien mieux les variations de régulation biologique que des modèles plus génériques. Si l'on exclut que ces différences sont d'origine méthodologique, on peut donc conclure que sur chacun des cinq sites régionaux, on observe des déterminants des variations de régulation biologique qui sont spécifiques à ce site. Ces résultats confortent l'idée que le contexte local est important pour comprendre les interactions trophiques et la régulation biologique et que les stratégies de gestion prometteuses pour renforcer la régulation biologique doivent être adaptées à ces contextes.

Les modèles prédictifs de la régulation

La valeur prédictive des modèles linéaires décrits dans la section précédente étant trop faible pour les mobiliser dans la scénarisation, d'autres types de modèles ont été développés. L'amplitude des données issues de nos réseaux de paysage, à la fois dans l'espace et le temps, nous a permis d'adopter une approche par apprentissage statistique comme alternative aux modèles linéaires. Le choix algorithmique s'est porté vers des méthodes basées sur les arbres de régression par souci de compromis entre interprétabilité et capacité de prédiction. La méthode sélectionnée est celle des modèles Cubist (Quinlan, 1992) préférés au classique « Random forest » car les modèles Cubist sont moins contraints dans leur prédiction par les bornes des gammes de variation des données observées. Des modèles Cubist ont été développés sur chaque site et chaque type de proies en mobilisant les six années de données. Seul un quart des modèles ont produit des prédictions qui ont passé de façon satisfaisante la procédure de validation croisée spatialisée avec les données d'observation. Ainsi, même en disposant de données locales sur six années, il s'est avéré beaucoup plus difficile de prédire la régulation biologique que d'en expliquer les déterminants. Cette conclusion est conforme à la littérature, qui décrit l'évaluation de la capacité des paysages actuels et futurs à fournir des niveaux de régulation biologique comme un défi (Alexandridis et al., 2021).

3.3 L'évaluation de scénarios territoriaux de changement

L'outil de simulation

Les modèles prédictifs validés ont été intégrés dans un simulateur basé sur la plateforme de développement JAVA APILand qui comprend essentiellement deux modules couplés. Le premier est le module d'allocation de couverts CAPFarm, un générateur d'assolement sous contraintes agronomiques spatiales (surfaces minimales de couverts par exemple) ou temporelles (délais de retour des cultures notamment) à l'échelle de l'exploitation agricole (Boussard, 2018). Le second est le module d'analyse spatiale Chloé (Boussard et Baudry, 2017) qui calcule des métriques paysagères dans des fenêtres glissantes. Sur chaque site régional, un territoire de simulation de 4km*4km a été choisi, contenant entre 10 et 15 exploitations avec ses propres caractéristiques géographiques topographiques, paysagères et agronomiques (Figure 3). A chaque territoire est affecté le modèle Cubist de prédiction de la régulation biologique correspondant. La composante Chloé du simulateur permet de calculer "à la volée" les variables explicatives de la régulation biologique du modèle Cubist, avec un point de calcul tous les 50m sur l'ensemble du territoire de simulation et cette étape est réalisée sur les nombreux paysages qui sont générés par CAPFarm. Le simulateur produit une cartographie du niveau de régulation biologique (résolution spatiale de 50m) et les valeurs de régulation biologique sont ensuite agrégées à l'échelle de l'exploitation ou de l'ensemble du territoire.



Le plan de simulation

Chaque système de production (par ex. Grandes cultures ou Polyculture-élevage) est décliné sous trois formes qui correspondent à des 'pratiques' identifiées lors des ateliers de co-construction des trajectoires de changement : i) une forme "intensive" qui se caractérise par des rotations courtes, avec peu de cultures et des indices de fréquence de traitements phytosanitaires (IFT) importants; ii) une forme "raisonnée" qui se caractérise par des rotations plus longues, avec davantage de cultures et des IFT réduits de 30 %, et iii) une forme plus extensive qui se caractérise par des rotations longues et diversifiées et un IFT nul (agriculture biologique). L'implantation d'infrastructures agroécologiques n'a pas été intégrée dans les simulations car ce levier territorial n'est jamais ressorti comme une variable significative dans les modèles prédictifs de la régulation biologique, probablement car nos données d'observation ne couvraient pas de situations dans lesquelles les infrastructures agroécologiques couvraient des surfaces suffisamment conséquentes.

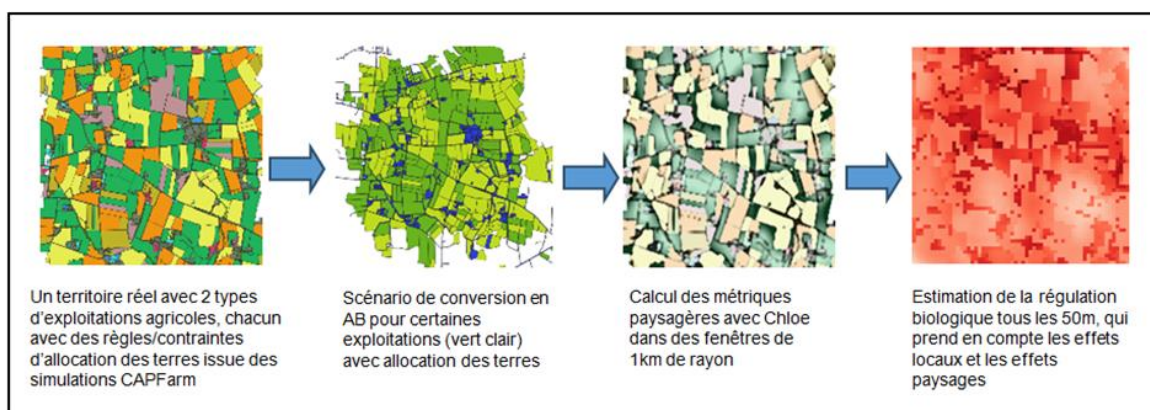


Figure 3. Principe de calcul de la régulation biologique en tout point de l'espace du territoire à l'aide de Chloé.

L'état "initial" du territoire se compose d'exploitations en majorité de forme intensive. L'état "trajectoire" traduit la trajectoire des exploitations vers des formes moins intensives, par exemple intensif vers raisonné ou intensif vers biologique ou raisonné vers biologique, sachant que certaines exploitations sont figées dans leur situation initiale ("trajectoire" = "initial"). Les simulations quantifient la régulation biologique à l'échelle de chaque exploitation du territoire sous les scénarios : (i) si rien ne change c.a.d. « état initial », (ii) si seulement l'exploitation en question change, (iii) si toutes les exploitations changent sauf l'exploitation en question, et (iv) si toutes les exploitations changent. Enfin, nous avons simulé un scénario collaboratif dans lequel les exploitants communiquent sur leurs intentions/possibilités d'allocations de cultures et dans lequel les assolements sont 'optimisés' au regard de la valeur de régulation biologique globale sur l'ensemble du territoire. Ainsi, l'outil quantifie le degré d'interdépendance entre voisins et la conséquence des décisions individuelles sur chacun, plutôt que des prévisions de gains en termes de régulation biologique.

La figure 4 présente le cas du territoire de grandes cultures de la Plaine de Dijon. L'état initial du territoire est composé en majorité d'exploitations en agriculture conventionnelle et rotations courtes de type colza-blé-orge (CS). Les trajectoires identifiées localement sont celles d'une diversification (CD) avec allongement et diversification des rotations avec notamment des cultures de printemps et d'été ou bien d'une conversion en agriculture biologique (AB). Le niveau de régulation correspond sur ce site au taux de prédation des œufs d'*Ephestia*, avec un modèle Cubist validé qui indique notamment une hausse de la régulation biologique en réponse à une baisse d'IFT. Le territoire comprend 11 exploitations dont 9 sous la forme intensive CS à l'état initial. La trajectoire de changement territorial implique le passage de 4 exploitations vers une forme raisonnée CD et de 4 exploitations vers une forme biologique AB. Les simulations indiquent que quand une seule exploitation change sur le territoire, le gain de régulation biologique pour cette exploitation est variable mais souvent inférieur à 6 % par rapport à la régulation biologique initiale. A l'opposé, on observe des gains de régulation biologique pouvant atteindre 20 % par exploitation si toutes les exploitations du territoire changent selon le scénario fixé. La concertation entre agriculteurs pourrait amener un gain supplémentaire de 10 à 40 % selon les exploitations.

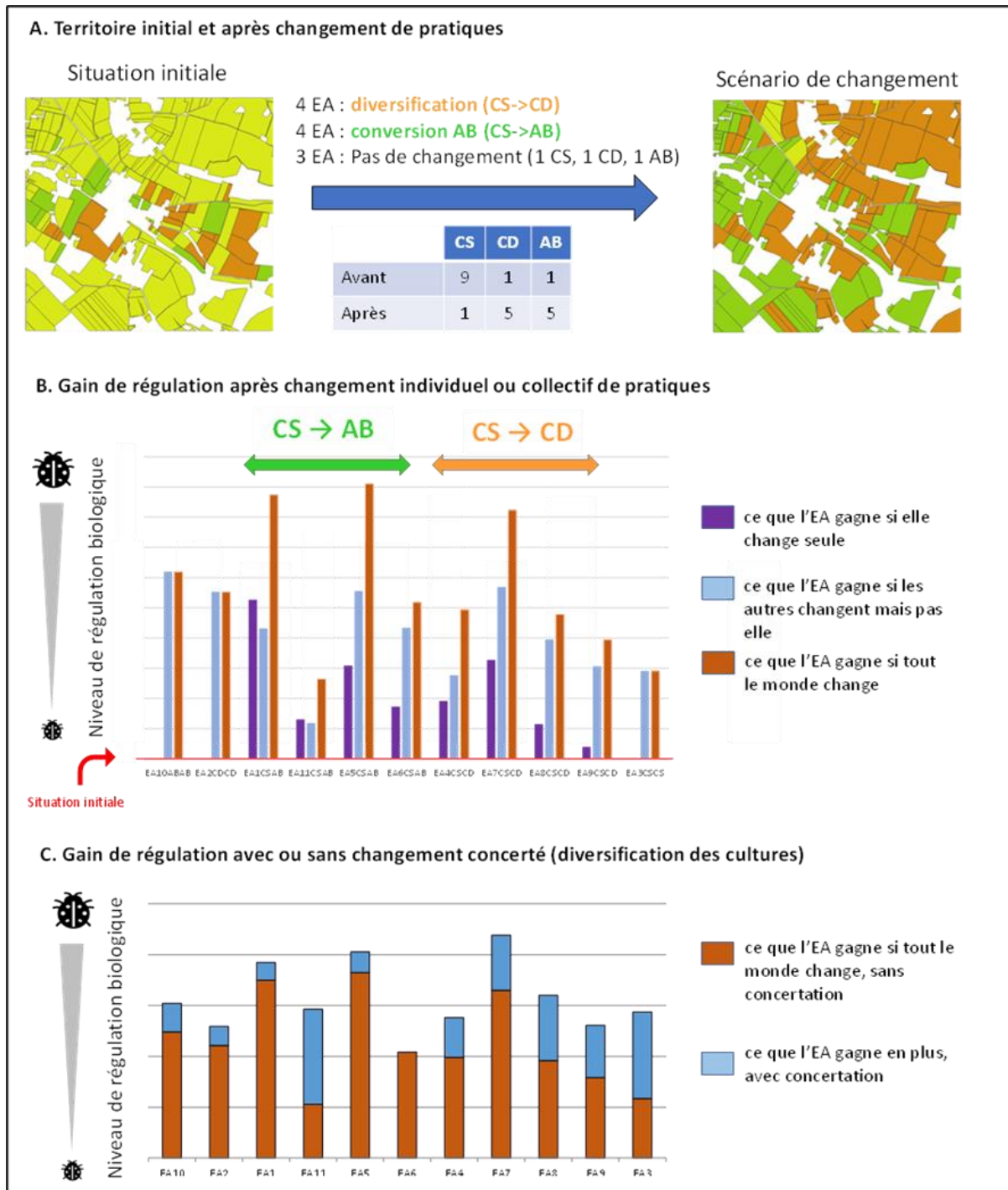


Figure 4. Application de l'outil de simulation sur le site 'Plaine de Dijon'. **A** Trajectoire de changement (CS = conventionnel rotations simples, CD = conventionnel rotations diversifiées et IFT réduit de 30 %, AB = agriculture biologique). **B** Gain de régulation biologique pour chaque exploitation selon les 3 scénarios. **C** Gain supplémentaire de régulation biologique pour chaque exploitation quand la concertation entre agriculteurs permet un assolement qui optimise la régulation biologique territoriale.



4. L'action collective pour renforcer les régulations biologiques

4.1 Evolution du positionnement des acteurs sur l'action collective

Pour quantifier le positionnement des acteurs sur la question de l'action collective, nous avons mobilisé la théorie du comportement planifié (TCP, Ajzen 1985) qui tente de prédire l'intention d'un individu d'adopter un comportement particulier à un moment donné et dans un lieu donné. Le comportement ciblé ici est de travailler collectivement à l'échelle du territoire pour améliorer la régulation biologique. Les données nécessaires à la mobilisation de la TCP ont été recueillies par un questionnaire rempli par les participants lors de l'Atelier 1 (début de projet) et à nouveau à la fin de l'Atelier 2 de restitution des analyses et simulations. Nos résultats montrent que les agriculteurs voient d'un œil favorable les actions collectives et que cela s'est accentué entre le début et la fin du projet. L'affirmation "il est bénéfique pour les exploitants d'agir collectivement" est approuvée ou fortement approuvée par 74 % des agriculteurs lors du premier atelier et par 90 % des agriculteurs lors du deuxième atelier. L'affirmation "Travailler collectivement dans les territoires permet de réduire les coûts de la mise en place des pratiques à l'échelle de l'exploitation donc augmente les chiffres d'affaires" est approuvée ou fortement approuvée par 53 % des agriculteurs lors du premier atelier et par 69 % des agriculteurs lors du deuxième atelier. Les personnes les plus influentes pour la décision d'un exploitant à s'engager dans une action collective sont les agriculteurs voisins (44 % et 20 % dans le premier et le deuxième atelier respectivement) et les Chambres d'Agriculture (5 % et 24 % dans le premier et le deuxième atelier respectivement). Néanmoins, les agriculteurs sont largement d'accord sur le fait qu'il est difficile de travailler collectivement et cela n'a pas évolué au cours du projet. En effet, moins d'un tiers des agriculteurs étaient d'accord avec l'affirmation "il est facile pour moi d'agir collectivement dans la mise en place de nouvelles pratiques", lors de l'Atelier 1 comme lors de l'Atelier 2.

4.2. Attentes et besoins sur les territoires

La restitution des résultats issus de la modélisation participative aux agriculteurs et institutionnels s'est révélée être un excellent outil de médiation pour entamer des échanges entre acteurs territoriaux sur les actions collectives qui pourraient être adaptées à leurs objectifs et contexte local. L'Atelier 2 a ainsi permis aux acteurs d'identifier ensemble un certain nombre d'actions collectives qui seraient pertinentes et de choisir ensemble les actions collectives à prioriser, et les leviers qui permettraient de lever les freins actuels à la mise en œuvre de ces actions.

A titre d'exemple, sur les trois sites régionaux de cultures annuelles (Plaine de Dijon, ZA Armorique à Rennes, ZA Pygar à Toulouse), la première action collective identifiée et plébiscitée concerne la diversification des rotations, avec des actions collectives plus ou moins ambitieuses allant de 'discuter et être conseillés ensemble' à Dijon jusqu'à former un groupement d'intérêt économique et environnemental (GIEE) pour un assolement commun à Toulouse (Figure 5). Un autre point commun qui était peu attendu concerne le sentiment de beaucoup d'acteurs d'être isolés des autres acteurs de leur territoire et le désir de mieux connaître et communiquer avec les acteurs de leur territoire. Ils ont exprimé le fait qu'il n'existe pas de structure ou d'initiatives pour ces échanges et proposent quelques pistes. Par exemple, si de nombreux participants aux ateliers sont investis dans différents groupements, ces derniers ne rassemblent pas les différents modes de production du territoire (par exemple AB et non AB). Les leviers identifiés par les acteurs comme importants à actionner pour faciliter la mise en œuvre d'actions collectives ont pu être classés dans trois catégories : (i) bénéficier d'accompagnement technique, (ii) bénéficier d'un soutien financier, et (iii) apporter des changements aux politiques publiques actuelles.



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

Figure 5. Caractéristiques des Ateliers 2 sur les sites régionaux en grandes cultures et polyculture-élevage. Sont répertoriées les actions collectives identifiées par les acteurs qui ont recueilli le plus de soutien lors de l'Atelier, et les leviers pour lever des freins techniques, organisationnels et institutionnels.

5. Conclusions

Le territoire est un niveau d'organisation écologique et social qui est encore trop peu mobilisé pour engager la transition vers des systèmes agricoles économes en pesticides. Le projet PREPARE montre la pertinence de travailler à cette échelle pour comprendre et tenter d'agir sur des processus écologiques tels que la régulation biologique en cultures annuelles et pérennes. Il a mis aussi en évidence qu'il est nécessaire de prolonger nos efforts de compréhension pour mieux modéliser et prédire la régulation biologique à l'échelle des paysages. Les résultats obtenus indiquent (i) que la réduction de l'utilisation de pesticides et la diversification des assolements sur un territoire renforcent les régulations biologiques, et (ii) que renforcer les régulations pour réduire l'utilisation de pesticides est beaucoup plus efficace si les changements de pratiques sont généralisés à l'échelle du territoire, voir développés de façon concertée. Le projet montre aussi que les acteurs du territoire y voient un espace d'interdépendances sur de multiples enjeux. Les agriculteurs voient l'intérêt à transformer leurs pratiques collectivement pour augmenter les régulations biologiques (ou répondre en même temps à d'autres enjeux) mais considèrent que les moyens et l'accompagnement de cette démarche ne sont pas au rendez-vous sur leur territoire. Ils identifient cependant des leviers sur les plans technique et financier, et en termes de politiques publiques qui pourraient permettre d'actionner les changements collectifs à l'échelle des territoires.



Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCID des auteurs

Sandrine Petit : 0000-0001-8781-8873

Audrey Alignier : 0000-0002-7619-7124

Stéphanie Aviron : 0000-0002-8518-3920

Pierre Franck : 0000-0002-1904-8325

Caroline Gibert : 0000-0002-0900-3430

Sylvie Ladet : 0000-0002-3079-9453

Claire Lavigne : 0000-0003-2869-5177

Lucile Muneret : 0000-0002-6776-2013

Sylvain Poggi : 0000-0003-3051-5091

Benoit Ricci : 0000-0002-8661-4200

Adrien Rusch 0000-0002-3921-9750

Aude Vialatte : 0000-0003-2614-2472

Juliette Young : 0000-0002-8522-0883

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Nous remercions tous les acteurs des territoires qui ont contribué à la démarche participative de PREPARE.

Déclaration de soutien financier

Les résultats présentés ont été acquis dans le cadre du projet PREPARE 'Prédire et comprendre les effets des paysages de pratiques sur les régulations biologiques' lauréat de l'appel d'offre « Leviers Territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques »

Références bibliographiques :

Ajzen I. 1985. From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior. In: Kuhl, J., Beckmann, J. (eds) Action Control. SSSP Springer Series in Social Psychology. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69746-3_2

Albrecht et al. 2020. The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23, 1488-1498.

Alexandridis et al. 2021. Models of natural pest control: Towards predictions across agricultural landscapes, *Biol. Cont.* 163,104761.

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

Bommarco R., Kleijn D., Potts S.G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol. Evol.* 28, 230-238.

Boldorini et al. 2024. Predators control pests and increase yield across crop types and climates: a meta-analysis. *Proc. R. Soc. B.*29120232522 <http://doi.org/10.1098/rspb.2023.2522>

Boussard H. & Baudry J. 2017. Chloe4.0: A software for landscape pattern analysis



- Boussard et al. 2018. CAPFARM: simulation d'allocations de couverts à l'échelle des exploitations agricoles et des paysages *Agronomie Environnement et Sociétés*, 8
- Carbonne B. et al. 2023. Conservation agriculture affects multitrophic interactions driving the efficacy of weed biological control. *Journal of Applied Ecology*; <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14475>
- Crowther L.I., Wilson K. & Wilby A. 2023. The impact of field margins on biological pest control: a meta-analysis. *BioControl*, 68, 387-396.
- Duru, M., Therond, O., Fares, M. 2015. Designing agroecological transitions; A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1237–1257
- Karp D.S., et al. 2018. Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115, e7863–e7870.
- Landis D.A. 2017. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic & Applied Ecology* 18, 1-12.
- Meier E.S., Lüscher, G., Herzog F., Knop, E. 2024. Collaborative approaches at the landscape scale increase the benefits of agri-environmental measures for farmland biodiversity, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 367, 108948, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108948>.
- Muneret L., Ricci B., Vialatte, A., Aviron S., Ducourtieux C., Biju-Duval L. & Petit S. 2023. Carabid beetles have hump-shaped responses to disturbance and resource gradients within agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 60, 581-591.
- Muneret L., Dosset A., Chauvel B., Carbonne B., Petit, S. 2024. Seed predation reduces weed biomass and contributes to crop productivity in arable fields. Proceedings 10th meeting IOBC-WPRS Working Group Landscape Management for Functional Biodiversity, Pisa, Italy.
- Petit S., Muneret L., Carbonne B., Hannachi M., Ricci B., Rusch A., Lavigne C. 2020. Landscape-scale expansion of agroecology to enhance natural pest control: a systematic review. *Advances in Ecological Research* 63, 1-48.
- Petit S., Deytieux V., Cordeau S. 2021. Landscape-scale approaches for enhancing biological pest control in agricultural systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193 (75)
- Petit S. et al. 2023. Building capacities for the design of agroecological landscapes: The added-value of Landscape Monitoring Networks. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, 342, pp.108263. <https://hal.inrae.fr/hal-03853832>
- Ricci B., Lavigne C., Alignier A., Thomas C., Vialatte A., Petit, S., 2019. Local pesticide use intensity conditions landscape effects on biological pest control. *Proc. R. Soc. B* 286, 20182898
- Rusch A., Chaplin-Kramer R., Gardiner M., Winqvist C., Woltz M., Bommarco R., 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: a quantitative synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 221, 198–204.
- Steingrover E.G., Geertsema W., van Wingerden W.K., 2010. Designing agricultural landscapes for natural pest control: a transdisciplinary approach in the Hoeksche Waard (the Netherlands). *Landsc. Ecol.* 25, 825–838.
- Quinlan J.R., 1992. Learning with Continuous Classes. Presented at the 5th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, Hobart, pp. 343–348.
- van Rijn et al. 2024. Flower strips in margins of potato fields: effects on biodiversity, predators and natural pest control. Proceedings 10th meeting IOBC-WPRS Working Group Landscape Management for Functional Biodiversity, Pisa, Italy.
- Vialatte et al. (2023) Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles. Rapport scientifique de l'Expertise scientifique collective. INRAE. 954 p.



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations Agronomiques* et son DOI, la date de publication.