



Jeu sérieux Ubuntu lors de l'atelier Biosefair
sur les Sciences et Recherches Participatives

Métaprogramme
BIOSEFAIR

INRAE



Biosefair : de la diversité dans les projets pour la biodiversité

Résultats des recherches soutenues par le métaprogramme Biosefair 2021 – 2026

Coordination : Sylvie Vanpeene et Isabelle Avelance (cheffes de projet BIOSEFAIR)

Sommaire

Avant-propos	3
Synthèse	4
Les recherches terminées	
ADORE - Un tableau de bord pour déployer une démarche de gestion adaptative d'une ferme à « logique de résultat ».....	10
AMDORE - Implication des agriculteurs dès la conception d'une démarche à « logique de résultat »	12
AMPLI GAMMA - Perspectives pour la recherche scientifique sur les relations entre paysage et biodiversité.....	14
BECO - Un jeu sérieux pour développer une gestion collective des ressources florales	16
BEEDET - Une méthode non létale utilisant l'ADN environnemental pour identifier les abeilles	18
BIOC@PT - Nouveaux outils pour évaluer automatiquement la population de coléoptères en forêt	20
BIODILUTIQUE - Dans les grands boisements, les tiques sont plus nombreuses et oiseaux et chevreuils jouent un rôle en hébergeant des <i>Borrelia</i>	22
BIOFORDIV - Des méthodes innovantes d'inventaires de la biodiversité montrent que la biodiversité forestière dépend notamment de la gestion forestière passée.....	24
C-DIVERS - Contribution contrastée des cultures diversifiées à bas intrants et des haies aux services écosystémiques en polyculture élevage	26
CONTICOMIC - Leviers pour la recherche sur la biodiversité microbienne du continuum sol-milieu aquatique au sein des agroécosystèmes	28
DIMIVEA - Amélioration de la précision des simulations couplées de flux de carbone et d'azote des sols d'agroécosystèmes	30
DISPERSAL - Privilégier des troupeaux ovins mixtes pour limiter la dispersion de graines exotiques dans leur toison	32
DYNAMIC - Des paysages agricoles stables depuis 2010 et des communautés d'oiseaux structurées par le niveau d'eau et les pratiques agricoles	34
ECART - De nouveaux dispositifs pour décrire l'étagement des microclimats et des communautés se développant sur les troncs	36
IFOSSA - Inventaire poussé de la biodiversité et des fonctions des sols en agroforesterie	38
iSERV - Le repeuplement piscicole a un effet sur la population et le fonctionnement des lacs	40
ISO SGDC - De nouveaux marqueurs génétiques pour l'identification d'espèces végétales patrimoniales du littoral Aquitain	42
LANDEV - Les obligations réelles environnementales (ORE), un dispositif pertinent de protection de la nature ordinaire ?	44
METAECOSERV - Application du concept de métaécosystème aux services rendus par les socio-hydrosystèmes	46
METAGROFORESTRY - L'organisation spatiale du système agroforestier influence le cycle de l'azote.....	48
MICROBIOMIQ - L'activité de photosynthèse des biofilms microbiens aquatiques soumis à un stress chimique diffère dans le temps.....	50
MODIMIV - Un nouveau modèle pour améliorer la simulation des flux de carbone (C) et d'azote (N) et mieux synchroniser l'offre et la demande en nutriments dans les agroécosystèmes	52
PARMENIDE - La diversité acoustique enregistrée est reliée à la naturalité des paysages	54
PASTOFUTUR - Un écosystème pastoral mieux connu des différents acteurs et de nouveaux outils de gestion collective.....	56
PRABIES - Raisonner la fertilisation pour préserver la richesse spécifique et la multifonctionnalité prairiale en contexte d'augmentation des températures	58
PRODIGE - Indicateur de biodiversité : les besoins et attentes des usagers identifiés	60
REFUSE - Faible opérationnalité du concept de services écosystémiques dans la restauration des cours d'eau	62
SICCCUB - En montagne, la biodiversité du sol dépend surtout du climat et de la chimie du sol forestier	64
SPABIO - Un nouveau modèle bioéconomique spatialisé pour gérer les espèces envahissantes	66
TRAMETES2 - Les cavités de pic noir ont un effet sur la biodiversité fongique des forêts	68
WATERSEED - L'eau dans les agroécosystèmes comme facteur de structuration de la biodiversité végétale ? Un modèle mécaniste pour relier circulation de l'eau et dispersion des graines dans les vignes.....	70

Thèses terminées

CAMARGUE - Modéliser le fonctionnement du delta apporte des pistes de gestion intégrée pour concilier agriculture et conservation des écosystèmes	74
ECOSYSTEMIX - Un prototype d'outil d'aide à la conception des mélanges d'espèces pour produire des services écosystémiques	75
ISOTÉODES - La biodiversité des lacs côtiers aquitains est structurée par les faibles capacités de dispersion des espèces et des filtrages environnementaux	76
PRAIRIES MC CC - Une démarche analytique novatrice basée sur les formes de distribution de traits des espèces végétales	77
SEINARIOS - Impacts de la connectivité, de la gestion et des scénarios climatiques sur les communautés de poissons de rivière	78
SYNBIOTOX - Comprendre les impacts potentiels des flux de contaminants d'origine agricole sur la faune aquatique dans les Zones Tampons Humides Artificielles	79

Les recherches en cours

Projet emblématique

SALUD - Comprendre les liens entre santé forestière et humaine, vulnérabilité aux changements globaux et diversité biologique	82
---	----

Les parcours avec projet exploratoire

ARTECO - Inférer les flux d'arthropodes dans les écotones entre milieux (semi-) naturels et cultivés	83
FARMSOUND - Un réseau multirégional de suivi de la biodiversité acoustique des paysages ruraux	84
SOUTERRE - Étude de la diversité et de la dynamique spatio-temporelle de la faune des eaux souterraines pour évaluer les échanges nappes-rivières et la qualité biologique des aquifères	85
VERTYGE - Biodiversité liée aux dendromicrohabitats épiphytiques le long de gradients altitudinaux	86

Les projets sans parcours exploratoire

AGROFORDIV - Poser les bases d'une exploration interdisciplinaire des systèmes agroforestiers diversifiés	87
COP26 - Évaluation de l'impact du cuivre sur la santé environnementale des écosystèmes terrestres et aquatiques	88
FUSEE - Forêt Urbaines et Services Écosystémiques : Évaluer pour piloter	89
RESOTEC - Utilisation des réseaux sociaux et de la télédétection pour l'estimation de services écosystémiques culturels en forêt	90

Thèses

CoPRAM - Évaluation de l'influence de la connectivité entre les éléments boisés du paysage sur le risque acarologique : approche par modélisation	91
DYNAGRASS - Dynamique temporelle de la biodiversité et des services écosystémiques des prairies permanentes françaises face aux changements globaux	92
JUST-PLAN - Justice environnementale et décision d'aménagement du territoire	93
MACROTOX - Empreinte de la pression chimique toxique sur l'évolution actuelle des communautés de macroinvertébrés des cours d'eau nationaux	94
MICROPLASTIQUES - Effets écotoxicologiques et conséquences écologiques des microplastiques sur le fonctionnement des sols	95
MODIMIR - Modélisation des effets de la diversité microbienne sur la régulation des cycles du carbone et des nutriments dans les agroécosystèmes	96
OCCAUI - Les paysages agricoles peu intensifiés permettent-ils de limiter le déclin des populations d'oiseaux ?	97
REMIFO - Quelle place les acteurs des territoires forestiers accordent-ils aux végétaux dans leurs représentations et pratiques collectives ?	98
SABEMAF - Structuration de l'activité biologique édaphique en lien avec la multifonctionnalité des sols des systèmes agroforestiers en milieu méditerranéen et tropical semi-aride	99
ZHYBRID-E - Détection de zones hybrides en milieu aquatique en réponse au changement climatique par e-barcoding	100



Avant-propos

Directeur

Marc Deconchat (Act)

Directrice adjointe

Christine Argillier (Aqua)

Cheffe de projet

Sylvie Vanpeene (Ecodiv)

Directrice scientifique

référente

Anne Varet (après Thierry Caquet)

Coordination nationale des métaprogrammes

Isabelle Maillet

Comité de pilotage

Sylvie Durrieu (ACT)

Céline Granjou (ACT)

Mickaël Hedde (AGROECOSYSTEM)

Fabrice Pierre (AlimH)

Marie-Agnès Coutellec (AQUA)

Adrienne Reysare (BAP)

Stéphanie Gaucherand (ECODIV)

Philip Roche (ECODIV)

Pierre Courtois (ECOSOCIO)

Nicolas Verzelen (MATHNUM)

Frédéric Joly (PHASE)

Adrien Rusch (SPE)

Nicolas Bernet (TRANSFORM)

Ont également contribué :

Olivier Théron (AGROECOSYSTEM)

Bernadette Julier (BAP)

Sandrine Petit-Michaud (SPE)

*Jean Philippe Delgenès
(TRANSFORM)*

Après 5 ans d'activité, le métaprogramme Biosefair a largement contribué à faire émerger des nouveaux axes de recherches interdisciplinaires et de nouvelles collaborations au sein des unités d'INRAE. Grâce à l'accompagnement des projets et les animations qui ont été organisées, une communauté scientifique prend forme notamment grâce à l'implication de tous les porteurs et porteuses de parcours et thèse, que nous remercions ici en mettant en valeurs les résultats obtenus. L'analyse de ces avancées dessine la silhouette de la contribution particulière d'INRAE pour répondre aux enjeux relatifs à la dégradation de la biodiversité et la valorisation des services écosystémiques. Il ressort que les sujets de recherche couvrent une large palette de problématiques et d'objets. Cette diversité présentée dans ce livret est un atout majeur dès lors que des liens sont tissés entre ces différentes avancées : c'est ce à quoi veut contribuer Biosefair en suscitant des échanges entre des sujets parfois très éloignés.

Pour faire vivre cette communauté scientifique et générer cette plus-value collective attendue de ces échanges, il faut bien évidemment un engagement, une volonté des personnes impliquées dans les projets soutenus. Qu'elles en soient ici remerciées. Le succès des ateliers thématiques témoigne clairement de cette motivation et envie de sortir des silos habituels. Il faut aussi un accompagnement attentif pour aider à faire émerger ces temps d'échanges. Le copil de Biosefair joue là un rôle essentiel. Merci à ses membres pour leur implication régulière et constructive pour faire vivre et concrétiser les idées, nombreuses, qui visent à favoriser un contexte propice à des recherches créatives.

La grande machine qu'est devenue Biosefair ne serait pas ce qu'elle est sans l'implication constante de deux personnes qui vont bientôt partir vers d'autres activités et profiter d'un repos mérité. Je profite de ce livret pour remercier Christine Argillier et Sylvie Vanpeene qui ont tant apporté à Biosefair pour lui donner son "ambiance" chaleureuse et bienveillante tout en poussant toujours vers l'intérêt scientifique et collectif. Biosefair, comme les 9 autres métaprogrammes, doit beaucoup au travail moins visible pour la communauté mais essentiel (notamment pour les dotations des équipes) de la cellule de coordination des métaprogrammes (Isabelle Maillet, Oana Vasiliu et Gwladys Medelice).

L'histoire de Biosefair entre dans sa dernière période, une nouvelle cheffe de projet Isabelle Avelange poursuivra l'animation, d'autres résultats viendront enrichir la déjà belle collection présentée ici. Des synthèses, des nouveaux axes pour le futur, des applications concrètes viendront très certainement couronner le tout d'ici peu. Vous serez invité.es à y prendre part. Le meilleur reste à venir... À suivre

Marc Deconchat pour la direction de Biosefair

Synthèse

Vue d'ensemble des acquis du métaprogramme Biosefair et des résultats des projets soutenus (2021-2025)

La dégradation de la biodiversité est un des changements globaux majeurs qui menacent actuellement fortement les conditions de vie des sociétés humaines par l'altération de services écosystémiques. INRAE est particulièrement concerné par ces enjeux du fait de ses objets d'étude. Des approches interdisciplinaires nouvelles pourraient venir compléter et enrichir les travaux scientifiques déjà menés par les équipes INRAE. C'est la visée du métaprogramme Biosefair. Après 5 ans d'activité, Biosefair peut dresser un premier bilan de ses réalisations.

Synthèse des résultats acquis en fonction des questions prioritaires¹

Les projets retenus par Biosefair se répartissent dans les 3 questions prioritaires du cadrage (Figure 1). La question 3 est la moins abordée, aussi bien dans les projets retenus que dans ceux déposés. Le copil a donc orienté le montage du projet phare SALUD sur cette question.

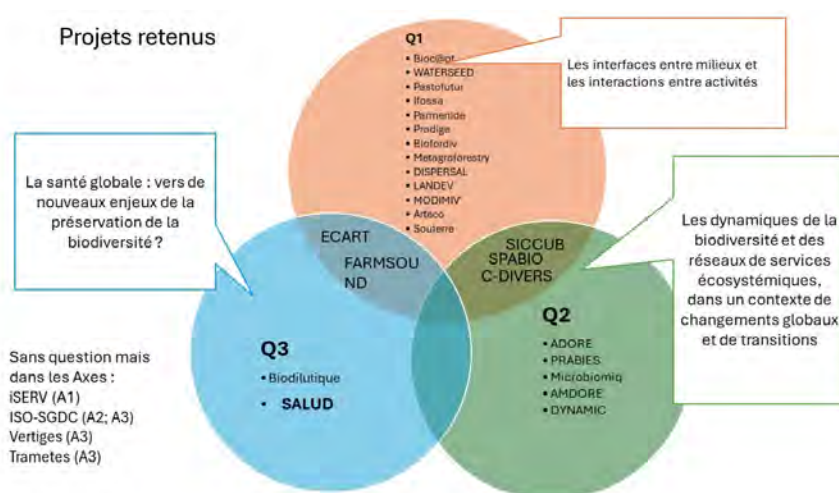


Figure 1 : Répartition des projets retenus par Biosefair dans les 3 questions prioritaires. La question 3, sur la santé globale, est nettement déficitaire comparativement aux autres questions.

Q1 – Comment les interfaces entre milieux et les interactions entre activités influent sur la biodiversité et les services écosystémiques ?

La première question prioritaire vise à développer la recherche sur la biodiversité et les services écosystémiques aux interfaces entre types d'occupation des sols, d'activités et d'organismes. Bien que ces questions ne soient pas nouvelles, Biosefair avait identifié un fort potentiel confirmé par la diversité des projets.

Plusieurs projets ont proposé des avancées conceptuelles. Le consortium **MetaEcoServ**, via une revue bibliographique, a formalisé l'apport des métaécosystèmes pour comprendre la spatialisation des services dans les hydrosystèmes, précisant leurs hypothèses et limites. Le projet **BECO** mobilise la notion de « bien commun » pour modéliser les interactions entre apiculture, agriculture et conservation des abeilles sauvages, questionnant les tensions potentielles autour des ressources florales.

La majorité des projets se concentrent sur les liens entre interfaces, hétérogénéité spatiale et socio-technique des territoires, et les réseaux de services. Une attention particulière est portée aux interactions entre acteurs de différentes activités socio-économiques pour dépasser les clivages sectoriels (projets **BECO**, **LANDEV**, **PRABIES**, **PASTOFUTUR** Thèse **SEINARIOS**). Les objets d'étude

¹Certains projets sont cités à titre d'exemple dans le texte, sans viser l'exhaustivité systématique.

varient (systèmes forestiers, prairiaux, agro-forestiers, plans d'eau) et les fonctions étudiées montrent une légère prédominance sur la pollinisation, les cycles du carbone et de l'azote et la biodiversité des sols.

Bien que visant souvent la preuve de concept, les projets associent des acteurs opérationnels pour produire des solutions de gestion. Le projet **SPABIO**, couplant modèles économiques et écologiques pour les espèces exotiques envahissantes, montre que l'éradication précoce de la jussie en Brière peut être contre-productive ; seules les actions dans les zones fortement envahies améliorent la situation. La thèse **ECOSYSTEMIX** a évalué des scénarios agroécologiques (choix d'espèces) pour optimiser les services, suggérant la promotion de mélanges graminées-légumineuses pour le stockage de carbone et la régulation des adventices.

Le développement de méthodes est une ambition transversale qui concerne ici la caractérisation de la biodiversité aux interfaces. Les projets intègrent l'ADN environnemental, les enregistreurs automatiques, le piégeage, la télédétection et les sciences citoyennes. Le projet **PARMENIDE** illustre cette transversalité : les enregistreurs acoustiques passifs pour les oiseaux produisent aussi des données ethnographiques sur la perception des paysages. L'analyse des sonogrammes, bien que difficile, apporte des informations fonctionnelles inédites. Un vaste réseau de suivi de la biodiversité sonore s'est constitué, mais les données s'accumulent plus vite que les capacités d'analyse. On note enfin que peu de travaux ciblent spécifiquement la caractérisation des services écosystémiques, qui reste peu questionnée.

Q2. Quelle est la dynamique des réseaux de services écosystémiques, dans un contexte de changements globaux et en réponse aux actions de pilotage engagées pour les transitions ?

Face au caractère souvent statique des travaux sur les services écosystémiques et au contexte du changement climatique, Biosefair visait à aborder l'enjeu de leur dynamique. Cependant, le manque de données a probablement limité le nombre de projets traitant réellement cette question.

La dimension temporelle a été abordée dans quelques projets, bien que rarement au cœur des enjeux. Elle est prise en compte via la plasticité phénotypique (**MICROBIOMIQ** : suivi de 15 mois), les déterminants environnementaux (**SICCCUB** : comparaison d'images de 1850 à aujourd'hui) ou la gestion adaptative (**ADORE** : 3 ans de suivi). Néanmoins, la disponibilité limitée des données et la faible profondeur temporelle restreignent la portée des analyses sur la dynamique des fonctions et services.

Deux projets interrogent toutefois la dimension temporelle via des projections dans un contexte d'adaptation climatique. Le projet **PRABIES**, croisant approche système et modélisation, simule l'impact des pratiques d'adaptation sur les services des prairies du Massif Central. Les résultats indiquent qu'il est primordial de raisonner la fertilisation pour préserver la richesse spécifique et la diversité des services. Le projet **C-DIVERS**, basé sur des enquêtes auprès d'agriculteurs bretons, analyse les déterminants socio-économiques de l'adoption de la diversification végétale. Les chercheurs montrent un glissement des moteurs d'adoption : à l'horizon 2040, la gestion agronomique devient le déterminant majeur, surpassant les risques perçus et les aspects économiques. La diversification végétale s'impose alors comme un levier pour la gestion des bioagresseurs, la réduction des intrants et l'alimentation animale. Dans ces travaux, les services écosystémiques (stockage de carbone, filtration de l'eau, protection des cultures, etc.) sont systématiquement envisagés comme des leviers à long terme.

Q3. La santé globale : nouveaux enjeux de la préservation de la biodiversité ?

Malgré les efforts pour promouvoir et faire émerger des recherches et des réflexions sur la place de la biodiversité dans des approches de type « santé unique » ou « santé globale » et l'organisation d'un temps de réflexion inter-département de deux jours sur le sujet « One Health » en 2024, peu de projets se sont vraiment saisis de cette priorité. Toutefois, **BIODILUTIQUE** teste l'hypothèse selon laquelle l'augmentation de la diversité spécifique au sein des communautés d'hôtes et de tiques engendre une dilution des *Borrelia spp.* et par conséquent, une diminution de la probabilité de transmission de ces bactéries à l'humain. De plus, le projet phare **SALUD** qui vise à mieux comprendre comment l'état de santé des écosystèmes forestiers influence directement ou indirectement la santé humaine, contribuera à progresser sur cette question.

Des avancées potentiellement mobilisables par les acteurs des territoires ou les politiques publiques

De nombreux projets associent des partenaires non-académiques et cela parfois dès la phase de co-construction du projet (**SPABIO**, **ECART**). Les actions conduites associent divers acteurs et essentiellement, des gestionnaires d'espaces (conservatoires d'espaces naturels ou botaniques, ONF, parcs naturels régionaux) ou des acteurs en charge de la mise en œuvre des politiques publiques (Chambres d'agriculture, Agences de l'eau, ANSES, OFB, collectivités), impliqués à des niveaux variables (depuis la définition des objectifs du projet jusqu'à une simple restitution des résultats en passant par un accompagnement ou des interventions communes

sur le terrain). Les actions visent essentiellement la production de connaissances nouvelles et qui pourront être, à plus ou moins long terme, valorisables dans un contexte d'appui aux politiques publiques (e.g. gestion des espèces invasives ou patrimoniales). Plusieurs projets ont produit ou envisagent de produire des outils mobilisables par des acteurs non-académiques. Le jeu sérieux AGORAPI est utilisé pour aborder avec des acteurs locaux la compétition pour la ressource florale entre abeilles sauvages et domestiques en vue d'une meilleure gestion du territoire agricole (**BECO**). Les réflexions sur les Obligations Réelles Environnementales portées par le projet **LANDEV** ont intéressé le ministère en charge de l'écologie. On peut signaler quelques collaborations avec des entreprises, notamment dans des projets de développement de capteurs de biodiversité.

Une partie de ces actions contribue aux transitions agroécologiques, dans les cultures, en élevage, par les pêcheurs et les apiculteurs, mais la préservation de la biodiversité semble être plus fréquemment invoquée comme motivation des collaborations. Biosefair a établi dès le départ des collaborations avec la DAPP (direction appui aux politiques publiques) qui donne un avis sur les réponses reçues aux appels à projet. Cette relation privilégiée devrait contribuer à mieux inscrire ces collaborations non-académiques dans le panorama des actions d'INRAE vers la recherche d'impacts en termes d'appui aux politiques publiques.

Les activités de Biosefair

Chiffres de la communauté Biosefair

Biosefair a mobilisé beaucoup de scientifiques et la communauté continue de s'accroître, avec plus de 30 nouveaux membres par an dans les deux dernières années.

- 380 collègues ont soumis un parcours ou proposé une thèse à un financement Biosefair et après sélection, 300 y ont contribué ;
- 510 collègues ont soumis un parcours ou une thèse et/ou participé à une animation en présentiel organisée par Biosefair (Rencontres, Ateliers) ;
- 670 collègues ont soumis un parcours ou une thèse et/ou participé à une animation en présentiel (Rencontres, Ateliers) et/ou suivi un webinar organisé par Biosefair.

La liste de diffusion comprend 400 contacts (internes et un peu d'externes).

Les collègues des départements ECODIV, ACT, AQUA et AGROECOSYSTEM représentent 70 % de la communauté qui a soumis des projets ou thèses (Figure 2). Néanmoins tous les départements sont représentés dans les soumissions.

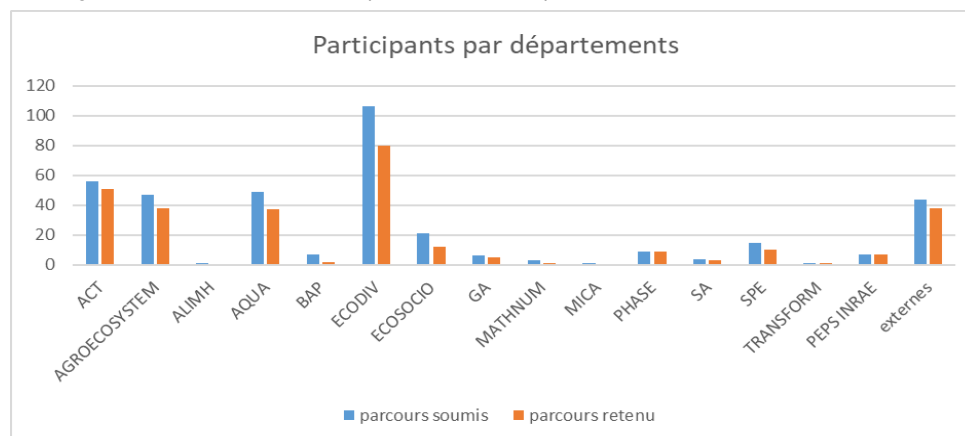


Figure 2 : Répartition des collègues ayant soumis un projet ou une thèse selon leur département d'appartenance (hors AMI 2026).

Depuis 2021, Biosefair a organisé 3 Rencontres (réunions plénières de sa communauté) et 5 ateliers thématiques. Les thèmes des ateliers ont été définis en fonction des attentes des collègues exprimées lors des rencontres plénières.

Rencontres plénières

- Lyon - 18-19 octobre 2021
- Orléans - 17 - 19 octobre 2022
- Lyon - 15-16 novembre 2024
- Lyon - 21 - 22 mai 2026

Ateliers thématiques

- Méthodes d'inventaire innovantes - Lyon 7 - 8 sept 2022
- Téledétection - Montpellier - 14 - 15 novembre 2023
- Sciences humaines et sociales - Lyon - 4-5 avril 2024
- Interfaces - Lyon - 24-25 novembre 2025

Les parcours soutenus

Le succès aux appels à manifestation d'intérêt montre l'attractivité du métaprogramme malgré les montants relativement faibles proposés et l'absence de possibilité de recrutement de CDD ou de post-doc (Figure 3).

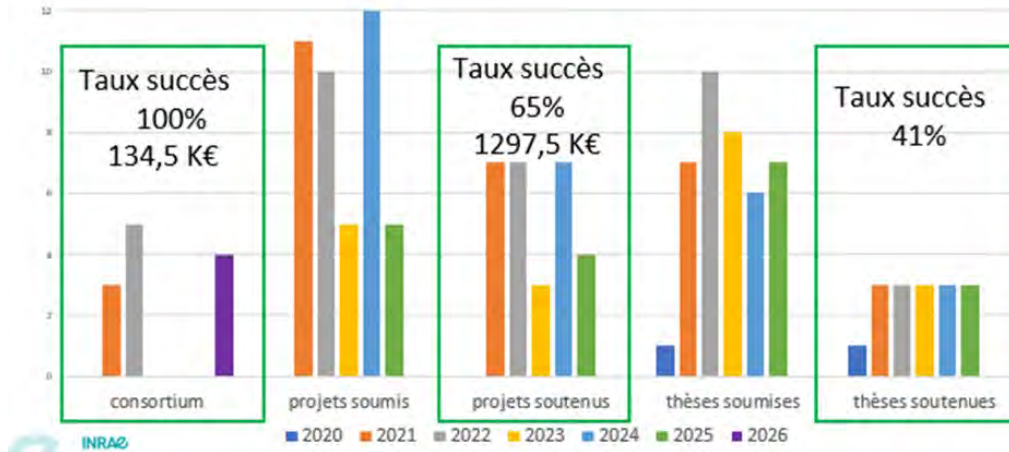


Figure 3 : Nombre de soumissions et taux de succès aux AMI et demandes d'allocations doctorales

À ce jour nous avons soutenu : 28 projets exploratoires dont 23 ont rendu leur bilan ; 1 projet phare et 11 consortia dont 7 ont rendu leur bilan et 16 thèses dont 6 ont été soutenues.

Tous les parcours et thèses financés font l'objet d'un article les présentant sur l'[internet Biosefair](#) (dans « nos actions »). Quand ils sont terminés, ils sont complétés par un article (dans « nos résultats ») présentant une synthèse des résultats et un fichier (bilan scientifique) plus complet.

La majorité des projets impliquent des collègues relevant de 3 à 4 unités avec un nombre médian de 7 participants, venant de 2 ou 3 départements. Les liens entre départements au sein des projets (Figure 4) sont variés et ne privilégient pas des relations bilatérales trop marquées même si les liens entre ECODIV et ACT dominent du fait de leur forte représentation numérique dans Biosefair. Le projet phare SALUD rassemble 29 participants de 10 unités relevant de 3 départements (ECODIV, ACT et SA) et 2 co-tutelles (ONIRIS et AgroParisTech).

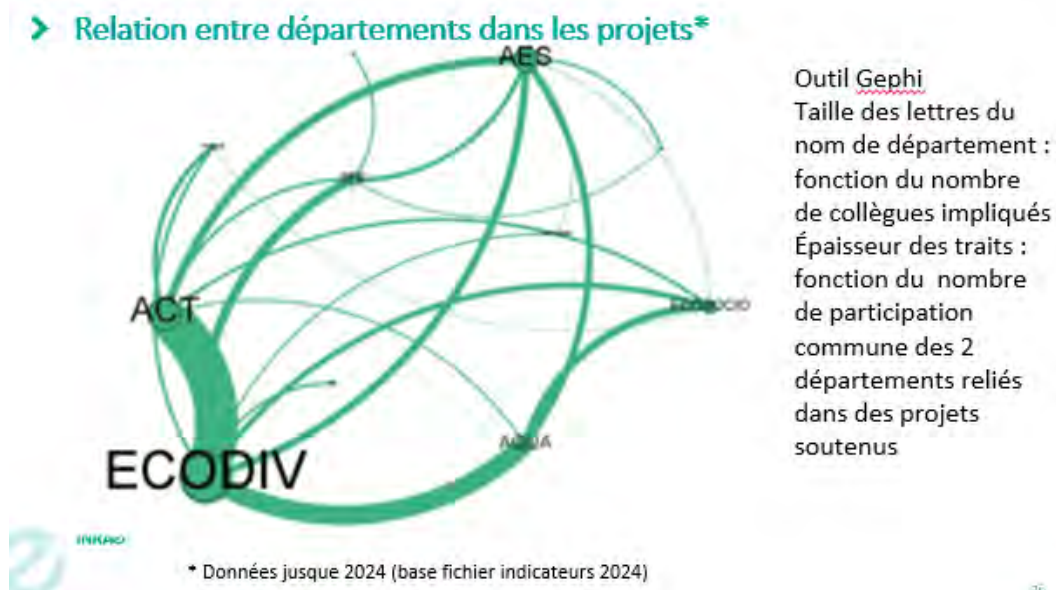


Figure 4 : Relations entre départements dans les projets

Productions

La collection [Hal Biosefair](#) moissonne automatiquement les productions déposées sur HAL qui mentionnent le soutien de Biosefair. Il est à noter que les porteurs ne déposent pas systématiquement les mémoires de stage (M2 majoritairement) qui ont alimenté les projets. Seize projets ont déjà eu des articles publiés, 9 d'entre eux ont publié 1 ou 2 articles à ce jour et 5 en ont publié 3 ou plus, pour un total de 33 articles publiés pour le moment. En ne tenant pas compte des projets qui se sont terminés fin 2025, seulement 2 parcours n'ont aucune valorisation académique envisagée pour le moment. Une quarantaine d'articles ont été publiés soit directement en lien avec les résultats des projets ou thèses soutenues, soit parce que des collaborations plus larges ont valorisé des données produites lors du projet. Une vingtaine d'articles sont annoncés en préparation dans les bilans de fin de projet.



Figure 5 : Nuage de mots construit à partir des titres de thèses et de projets (jusque AMI 2024)

Les recherches terminées



Contacts

Daphné Durant

daphne.durant@inrae.fr

Raymond Reau

raymond.reau@inrae.fr

Mots clés

Biodiversité

Exploitation agricole

Gestion adaptative

Ingénierie écologique

Logique de résultats

Disciplines impliquées

Agroécologie

Agronomie

Écologie animale

Écologie fonctionnelle

Écologie végétale

Gestion de l'eau

Sciences de la conception

Sciences de gestion

Systèmes d'élevage

Zootéchnie

Départements concernés

[ACT](#)

[AGROECOSYSTEM](#)

[AQUA](#)

Unités impliquées

[UE Saint-Laurent-de-la-Prée](#)

[UMR SADAPT](#)

[UR EABX](#)

[UE FERLus](#)

[UMR AGRONOMIE](#)

Partenaires

Un expert ornithologue

[La fédération de pêche de la](#)

[Charente](#)

Un tableau de bord pour déployer une démarche de gestion adaptative d'une ferme à « logique de résultat »

La mise en œuvre d'une démarche de gestion adaptative de la biodiversité, avec les acteurs, a été testée sur des dispositifs expérimentaux INRAE. ADORE montre des résultats contrastés selon les espèces ciblées. Il montre également l'influence du parcours personnel de l'agriculteur sur le choix des espèces cibles et le rôle de sa formation dans la perception de la démarche. Traduire une logique d'actions sous forme d'un tableau de bord est un bon outil de médiation pour la mise en œuvre de ce type de démarche. Une enquête auprès d'agriculteurs a fait ressortir les éléments à prendre en compte pour la transposer en conditions réelles d'exploitation.

ADORE - Outiller la restauration de la biodiversité dans les exploitations agricoles : application d'une démarche à logique de résultats

Le dernier rapport de l'IPBES (2022) fait le constat alarmant que la biodiversité continue de décliner au niveau mondial. Dans les milieux agricoles, l'intensification des pratiques est la principale pression associée à ce déclin. De nombreuses initiatives ont été lancées en Europe pour accompagner les agriculteurs motivés pour accueillir une riche biodiversité sur leur ferme. Les Mesures Agro-Environnementales (MAE) de la PAC sont « orientées vers l'action » et s'accompagnent de moyens financiers incitatifs pour les agriculteurs s'engageant dans de « bonnes » pratiques. Cependant leur efficacité est controversée. Ces démarches étant principalement guidées par une « logique de moyens », certains scientifiques suggèrent de les orienter clairement vers la fourniture de résultats concrets. En d'autres termes, conditionner les paiements à l'obtention de résultats. Ne faut-il pas s'y prendre autrement pour préserver la biodiversité ? Ne vaudrait-il pas mieux penser et agir dans une « logique de résultats » ?

Démarches

Dans le domaine de la qualité de l'eau, une démarche de gestion adaptative à logique de résultats a été testée avec succès dans une aire d'alimentation de captage concernant plusieurs dizaines d'agriculteurs. ADORE a cherché à adapter cette méthode au service rendu par l'agriculture à la biodiversité à l'échelle de l'exploitation agricole de l'unité expérimentale INRAE de Saint-Laurent-de-la-Prée (située dans les marais de Rochefort-sur-Mer, en Charente-Maritime).

La démarche, pluriannuelle, consiste à enchaîner des cycles annuels - composés de quatre étapes :

1. mise en œuvre ;
2. monitoring des espèces cibles, de leurs habitats et des pratiques agricoles réalisées ;
3. analyse collective résultats et apprentissages ;
4. re-conception du projet pour l'année suivante.

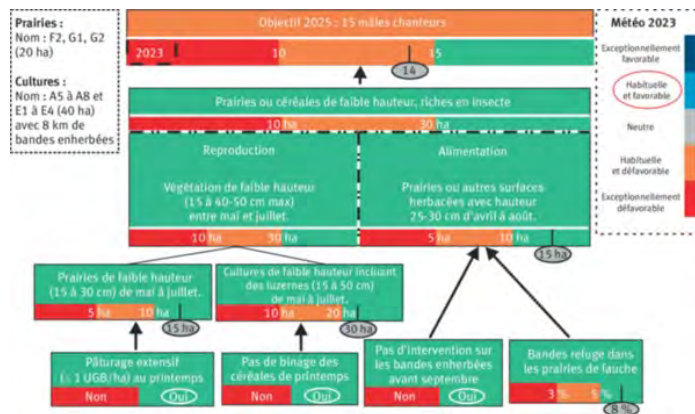
Pour les 11 espèces « cibles » choisies, l'abondance attendue de l'espèce, l'habitat nécessaire à cette espèce et enfin les pratiques proposées pour obtenir cet habitat et cette abondance ont été définis. Cette logique d'action a été traduite sous la forme de tableaux de bord permettant d'afficher la logique d'action au départ, d'organiser les observations à réaliser (monitoring) pour connaître les résultats obtenus et les pratiques effectivement réalisées, pour analyser ces résultats et notamment comprendre, le cas échéant, la non-obtention des résultats escomptés.

Résultats

Premiers résultats sur la ferme expérimentale

ADORE a permis l'analyse des trois premières années d'application de la démarche sur la ferme (2021, 2022 et 2023) qui montre des résultats variables selon les espèces cibles :

- Succès très rapide pour l'Alouette des champs en laissant des bandes non fauchées dans les prairies ou les luzernes,
- Peu de Vanneau huppé malgré un habitat favorable lié sans doute à l'évolution générale des populations de ce migrateur,
- Pour la Rousserolle effarvate, ni les habitats souhaités, ni les abondances attendues n'ont pu être obtenus.



Exemple du tableau de bord « résultats » de 2023 de l'Alouette des champs. Une case colorée en vert signifie que le résultat est atteint, en orange qu'il est moyennement satisfaisant.

Résultats de l'enquête auprès d'agriculteurs : prise en compte de la biodiversité

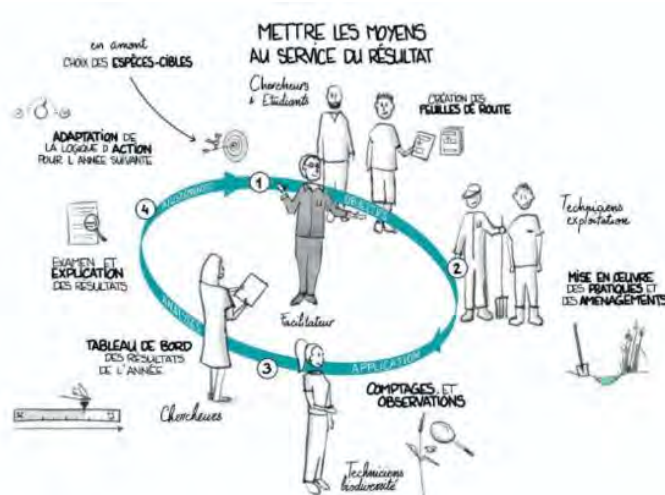
La biodiversité n'est pas vue comme un atout économique pour l'exploitation : en général, les agriculteurs n'attendent pas de plus-value pour leur chiffre d'affaires.

Le parcours personnel de l'agriculteur (sa formation) semble influencer la nature de la biodiversité prise en compte (« écosystème » versus quelques espèces perçues d'intérêt fonctionnel ou non) et être un élément fort du niveau de raisonnement des pratiques pour conserver la biodiversité.

Si on souhaite intégrer la conservation de la biodiversité comme un objectif de l'exploitation agricole (au même titre que la production), les agriculteurs devraient être amenés à s'approprier des connaissances et les re-contextualiser. Mais passer d'une biodiversité « imposée » à une biodiversité « appropriée » suppose alors de pouvoir l'observer et de disposer d'indicateurs de gestion pour accompagner l'action.

Une production de résultat originale

Sketchnote – Préserver la biodiversité sur les fermes : et si nous pensions et agissions dans une logique de résultats ?



Publications

Durant, D., Farruggia, A., Grimonpont H., Reau R. (2025) Results-based approach for biodiversity management at the farm scale: proposal for a new method. *Journal of Wildlife Management*, 90, pp.e70144

Durant D., Lemaire, N., Teynié, A., Kernéis, E., Reau, R. (2025) Préserver la biodiversité sur les fermes : et si nous pensions et agissions dans une logique de résultats ?. *Sciences Eaux & Territoires*, 48, pp8249



Contacts

Aude Barbottin

aude.barbottin@inrae.fr

Ghylene Goudet

ghylene.goudet@inrae.fr

Mots clés

Biodiversité

Territoire d'exploitation agricole

Gestion adaptative

Démarche collective

Indicateurs

Disciplines impliquées

Écologie

Agronomie

Physiologie Animale

Sciences de gestion

Zootecnie

Départements concernés

ACT

PHASE

Unités impliquées

UE PAO

UMR PRC

UE Saint-Laurent-de-la-Prée

UMR SADAPT

Implication des agriculteurs dès la conception d'une démarche à « logique de résultat »

AMDORE, dans le prolongement d'ADORE, visait à organiser des ateliers participatifs puis à mettre en œuvre une démarche à logique de résultats sur deux sites pilotes. AMDORE a montré une évolution du regard porté par les acteurs sur la biodiversité et un changement de posture, passant d'une biodiversité qui dérange à une vision plus positive. Les actions définies en groupe seront pérennisées suite aux nombreux résultats positifs.

AMDORE - Outiller la restauration de la biodiversité dans les exploitations agricoles : amélioration d'une démarche à logique de résultat

Enrayer l'érosion de la biodiversité dans les milieux agricoles nécessite de développer des démarches et des outils qui permettent aux agriculteurs et aux collectifs agricoles de se réapproprier cet enjeu, pour mieux le gérer. Le projet ADORE avait permis de développer une démarche de gestion de la biodiversité sur les fermes qui proposait de « laisser la main » aux agriculteurs quant à ce qu'ils veulent faire pour conserver/favoriser la biodiversité, en pilotant ces projets avec « une logique de résultats ». Cependant, la diffusion de cette méthode pouvait être limitée par 1) l'adhésion des agriculteurs ou des collectifs agricoles à la démarche et aux objectifs de préservation/restauration de la biodiversité et 2) le choix des indicateurs les plus pertinents pour suivre les résultats des actions engagées en faveur de la préservation/restauration de la biodiversité.

Le projet AMDORE proposait d'approfondir la démarche, en s'attaquant aux éléments méthodologiques qui permettent de positionner la gestion de la biodiversité comme un objectif pour les agriculteurs ou collectifs agricoles. Il s'agissait notamment de tester les modalités d'intégration d'une étape de conception collective des enjeux de biodiversité.



Démarches

Le projet a été mis en place au sein de l'Unité Expérimentale de Physiologie Animale de l'Orfrasière (UEPAO, INRAE Centre Val de Loire, site de Nouzilly). Deux équipes ont participé à la démarche qui se structurait en 3 étapes itératives basées sur la méthode KCP (Knowledge-Concepts-Proposals).

Lors de la première étape, chaque membre de l'équipe explicite la notion de biodiversité à sa manière, puis un choix collectif des éléments de biodiversité à travailler est réalisé.

Lors de la deuxième étape, un atelier de partage de connaissances sur les éléments de biodiversité retenus en étape 1 et la mise en débat des connaissances permet d'aboutir au choix des actions à entreprendre, aux objectifs sur l'année et aux mesures à réaliser par les équipes elles-mêmes.

La troisième étape permet le retour sur les résultats observés, l'analyse des résultats au regard des objectifs fixés et la définition de nouveaux objectifs et actions pour l'année à venir.

Cette démarche itérative a été mise en place sur 2 années successives pour une équipe et sur une seule année pour l'autre.

Pour la première équipe, la biodiversité ciblée portait sur des espèces considérées comme nuisibles (ragondins, corvidés, mouches/taons et guêpes...), des espèces patrimoniales (hirondelles et chauves-souris), des fonctions écosystémiques (dégradation de la matière organique et ombrage des pâtures) et une biodiversité globale en réhaussant la hauteur de fauche des pâtures. Pour l'autre, les objectifs choisis étaient d'évaluer l'activité biologique des sols dans 5 parcelles et d'implanter des bandes fleuries.

Résultats

Les actions choisies ont pour la plupart été réalisées et suivies : comptages matin et soir du nombre de ragondins vus sur une parcelle de pâture ; installation de nichoirs pour hirondelles sous un hangar à paille et suivi leur présence/absence dans les nids ; installation de nichoirs à chiroptères ; mesure de hauteur de fauche et relevés les dégâts sur la faune, pose de LEVAbags pour mesurer l'activité biologique des sols.

Les retombées du projet concernant la préservation de la biodiversité sur le site INRAE de Nouzilly sont nombreuses et contribuent à la démarche RSE du site. Plusieurs actions en faveur de la biodiversité seront pérennisées : installation de nichoirs à hirondelles et à chauves-souris, remontée de la hauteur de fauche, engagement des équipes dans un projet de plantation de micro-bosquets, plantation de bandes fleuries.

Les premiers éléments semblent indiquer que la démarche visant à favoriser l'appropriation requiert des conditions initiales, notamment la présence d'un ingénieur réseau et un leadership partagé au sein du collectif. Néanmoins, il semble malgré tout que la méthode proposée permette, *a minima* de faire évoluer la perception de la biodiversité, ce qui peut être perçu à travers l'évolution du vocabulaire mobilisé par les participants. La biodiversité est ainsi devenue un objet fédérateur de l'équipe.



CONSORTIUM

2022-2023

Contacts

Laurent Bergès

laurent.berges@inrae.fr

Mots clés

Hétérogénéité spatiale

Mosaïque paysagère

Biodiversité

Multifonctionnalité

Disciplines impliquées

Agroécologie

Agroforesterie

Biologie de la conservation

Bryologie

Écoacoustique

Écohydroécologie

Écologie forestière, du paysage,

végétale et animale, trophique,

aquatique

Entomologie

Génomique du paysage

Gestion forestière

Mécanismes de dispersion

Modélisation

Ornithologie

Départements concernés

ACT

AGROECOSYSTEM

AQUA

ECODIV

MATHNUM

SPE

Unités impliquées

UR LESSEM

UMR BAGAP

UMR DYNAFOR

UR EFNO

UR PSH

UMR ABSys

UMR LISAH

UR EABX

UREP

UR LISC

UMR SAVE

Partenaires

UMR ECOBIO Université Rennes 1

Université de Jyväskylä (Finlande)

Perspectives pour la recherche scientifique sur les relations entre paysage et biodiversité

La revue bibliographique réalisée par AMPLI GAMMA a identifié les enjeux en termes de recherche sur les contextes géographiques, les écosystèmes et les groupes taxonomiques au regard de la relation entre hétérogénéité des paysages et biodiversité.

AMPLI GAMMA - Aménagement des paysages et multi-diversité gamma

Dans un contexte global de perte et de fragmentation des habitats naturels, de changements d'usages des sols et des pratiques de gestion, une question est centrale pour comprendre et analyser le rôle des types de gestion sur la biodiversité dans nos paysages anthropisés et proposer des modes d'organisation du paysage plus favorables à la biodiversité. Quel est le lien entre hétérogénéité de composition et de configuration de la mosaïque paysagère et diversité spécifique et fonctionnelle multi-taxonomique à différentes échelles spatiales ?

Démarches

Pour faire un état de l'art sur cette question, une revue systématique sur la relation entre hétérogénéité paysagère et biodiversité, respectant les standards en vigueur a été réalisée. Les objectifs de cette revue sont les suivants :

1. explorer et analyser à partir de résultats d'études empiriques de terrain la relation entre hétérogénéité du paysage et diversité (relation HD), en axant sur la nature de la relation (positive, négative, en courbe en cloche) ;
2. analyser quels sont les facteurs de l'étude, qu'ils soient d'ordre méthodologique (ex. qualité du plan d'échantillonnage, taille de l'échantillon) ou écologique (contexte paysager de l'étude, type d'hétérogénéité, niveau de biodiversité analysé) qui peuvent expliquer la variabilité de cette relation.



© INRAE

Résultats

Deux phases de tri et d'extraction appliquées successivement ont abouti à sélectionner 159 références et 3523 résultats élémentaires à partir des 2605 références identifiées en premier lieu.

Les études ont été réalisées principalement dans quatre contextes géographiques (% relatifs au nombre de résultats élémentaires) : l'Espagne (19 %), l'Europe (15 %), la France (13 %) et l'Allemagne (12 %). Les écosystèmes échantillonnés sont très majoritairement agricoles (72 %), les autres cas portant sur des milieux multiples (14 %), forestiers (8 %) ou aquatiques (5 %).

Les groupes taxonomiques étudiés sont en majorité les oiseaux (22 %), les plantes (17 %), les abeilles (14 %), les papillons (8 %), les carabidés (7 %), les syrphes (3,1 %) et les mammifères (2,3 %), les autres groupes taxonomiques (reptiles, amphibiens, mollusques, poissons, annélides, collemboles, arachnides, bactéries, champignons, protistes) représentant chacun moins de 1 % des observations.

La relation HD analysée est très souvent non significative (75,6 %), les relations positives (16,7 %) sont plus fréquentes que les relations négatives (5,6 %). Les relations de type courbe en cloche (Hmax) sont anecdotiques (0,6 %).

Perspectives

Des données complémentaires sont en cours d'acquisition et de nouvelles analyses permettront de préciser les premiers résultats.

D'ores et déjà, les résultats obtenus sont intéressants et permettent d'identifier les principales lacunes dans les recherches sur la relation HD, en termes de groupes taxonomiques étudiés, de type d'hétérogénéité et de paysage échantillonnés ou de contexte géographique.

La revue systématique permettra d'estimer dans quelle mesure les recommandations de viser à accroître l'hétérogénéité des cultures et des pratiques agricoles au niveau du paysage (hétérogénéité de composition) et de diminuer la taille des parcelles (hétérogénéité de configuration) sont transposables ou non à d'autres types de paysages, notamment en forêt, en milieu aquatique ou en paysage mixte.



CONSORTIUM

2021-2023

Contacts

Cécile Barnaud

cecile.barnaud@inrae.fr

Mots clefs

Ressource florale

Apiculture

Agriculture

Bien commun

Compétition entre abeilles

Jeux sérieux

Disciplines impliquées

Agroforesterie

Apiculture

Écologie du paysage

Géographie humaine

Recherche-action participative

Départements concernés

ACT

ECODIV

Unités impliquées

UMR DYNAFOR

UMR ABEILLES ET ENVIRONNEMENT

Partenaires

ITSAP, l'institut de l'abeille :

apiculture

Laboratoire Sens (Savoirs,
environnement et société)

Cirad : recherche-action
participative

Parc National des Cévennes

Un jeu sérieux pour développer une gestion collective des ressources florales

Considérant la ressource florale comme bien commun qui pourrait faire l'objet de compétitions, BECO a soutenu le développement d'un jeu sérieux afin d'amorcer des réflexions collectives entre apiculteurs et gestionnaires. Il met en évidence qu'un système d'agriculture « frugal » est le plus favorable à cette ressource.

BECO - Abeilles et concertation. Voir les ressources florales comme un bien commun pour concilier agriculture, apiculture et biodiversité

Sous l'effet de l'évolution des pratiques agricoles, du changement climatique et de l'augmentation du nombre d'apiculteurs et de ruchers, on voit émerger dans les territoires des tensions autour des ressources florales (nectar, pollen) utilisées par les abeilles. Longtemps considérées comme illimitées, ces ressources florales semblent être l'objet d'une certaine compétition, à la fois inter-spécifique entre abeilles sauvages et domestiques et intra-spécifique entre abeilles domestiques. Ceci amène à considérer ces ressources comme un bien commun à gérer collectivement, en associant non seulement les apiculteurs et les gestionnaires de la biodiversité, mais également les agriculteurs qui façonnent ces paysages et dont les pratiques influencent la disponibilité des ressources florales.

Le projet BECO a visé à mieux comprendre les interactions entre l'apiculture, l'agriculture et la conservation des abeilles sauvages à l'échelle des paysages, et ce au travers des ressources florales utilisées par les abeilles. Il s'est appuyé sur le cas d'un territoire de montagne, le Parc National des Cévennes et il a accompagné des processus de concertation et d'action collective émergeant sur ces questions.



© INRAE - Cécile Barnaud

Démarches

Pour avancer dans la compréhension de ces enjeux et des systèmes socio-écologiques associés, BECO a développé une approche transdisciplinaire associant :

- de l'écologie spatiale pour mesurer et caractériser la compétition entre abeilles sur les ressources florales,
- de l'écologie des paysages pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur les paysages et les ressources florales,
- des sciences sociales pour comprendre et accompagner les interactions sociales autour de la gestion de ce bien commun,
- des approches participatives impliquant les acteurs d'un territoire d'étude, le Parc National des Cévennes, de façon à co-construire des connaissances actionnables.

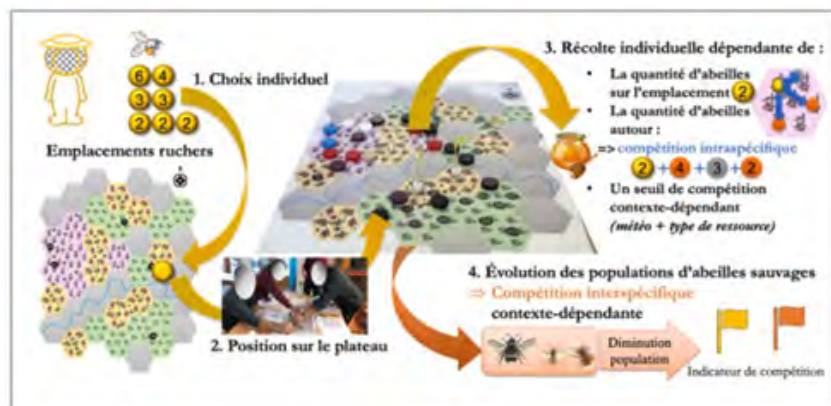
Deux thèses ont été associées à ce projet, en partenariat avec le Parc National des Cévennes.

La thèse de [Léo Mouillard-Lample](#) (soutenue en décembre 2023) – Compétitions entre abeilles, l'émergence des ressources florales comme un bien commun ? : Analyse socio-écologique et accompagnement d'une action collective pour le partage des ressources florales pour concilier apiculture et préservation des abeilles sauvages dans le parc national des Cévennes. Cette thèse, centrée sur la compétition entre abeilles sauvages et domestiques, a interrogé les interactions entre apiculture et conservation des abeilles sauvages autour de la question suivante : dans quelle mesure est-il pertinent de considérer les ressources florales comme un bien commun ?

La thèse de [Gabriel Gonella](#) (soutenue en janvier 2025) – Interactions entre apiculture et agropastoralisme, une approche par les ressources florales. Cette thèse, centrée sur les interactions entre apiculture et agriculture via les ressources florales, vise à identifier les freins et leviers à la production de paysages agricoles riches en ressources florales favorables à l'apiculture.

Résultats

Des relevés de terrain suggèrent qu'il y a bien des phénomènes de compétition entre abeilles sur le territoire d'étude – d'un point de vue écologique, on a donc bien affaire à des biens communs. Sur le plan social, si la plupart des apiculteurs disent ne pas percevoir cette compétition, les entretiens individuels montrent que les représentations sont en train d'évoluer, et que certaines pratiques apicoles essaient de limiter cette compétition. Un jeu de rôles (jeu sérieux AGORAPI) a été développé et testé dans le territoire du Parc National des Cévennes, pour susciter des réflexions collectives entre apiculteurs et gestionnaires sur des formes innovantes de gestion concertée des ressources florales à l'échelle d'un territoire.



Actions des joueurs et joueuses et résultats de ces actions

L'analyse d'entretiens semi-directifs conduits avec des apiculteurs et des agriculteurs du Mont Lozère a permis de comprendre les logiques des apiculteurs, les ressources florales qu'ils utilisent et les impacts des systèmes agricoles sur ces ressources florales. Les ressources florales utilisées par les apiculteurs sont menacées par les voies de développement agricole dominantes - intensification des pratiques agricoles dans les zones cultivées et extensification des pratiques de pâturage dans les parcours. Les systèmes agricoles « frugaux », basés sur des intrants et des investissements réduits et des pratiques à forte intensité de main-d'œuvre, à savoir une utilisation intensive des pâturages, sont les plus favorables aux ressources florales.

L'analyse du volet social des interactions entre apiculteurs et agriculteurs (représentations mutuelles, relations) montre qu'ils interagissent surtout autour de l'accès aux ressources florales à travers la recherche d'emplacements, et très peu au sujet de la production des ressources florales.

Une version simplifiée et transférable du jeu AGORAPI est en cours de réalisation pour diffusion auprès de potentiels utilisateurs (gestionnaires de la nature et organismes apicoles).

Publications

[Mouillard-Lample, L., Gonella, G., Decourtye, A., Henry, M., Barnaud, C. \(2023\) Competition between wild and honey bees: Floral resources as a common good providing multiple ecosystem services. *Ecosystem Services*, 62, pp.101538](#)

[Gonella, G., Leoni, E., Mouillard-Lample, L., Aubron, C., Decourtye, A., Deonchat M., Barnaud, C. \(2024\) Beekeeping and agropastoralism interactions through floral resources in the French Mount Lozère. *Agronomy for Sustainable Development*, 44 \(5\), pp.49](#)



CONSORTIUM

2021-2022

Contacts

Magalie Pichon

magalie.pichon@inrae.fr

Alain Vignal

alain.vignal@inrae.fr

Mots clefs

ADN environnemental

Abeilles

Fleurs pollinisées

Preuve de concept

Disciplines impliquées

Biologie moléculaire et génomique

Écologie du paysage

Départements concernés

ECODIV

GA

Unités impliquées

UMR DYNAFOR

UMR GenPhySe

Une méthode non létale utilisant l'ADN environnemental pour identifier les abeilles

BEEDET a montré, en conditions contrôlées, qu'il est possible de détecter les espèces d'abeilles (sauvages et domestique) passées sur les fleurs en identifiant l'ADN qu'elles y laissent lorsqu'elles butinent. La preuve de concept établie doit maintenant être optimisée pour des conditions réelles.

BEEDET - Identification des abeilles sauvages et domestiques par des méthodes moléculaires non destructives

Il existe plus de 20 000 espèces d'abeilles sauvages dans le monde et près de 1000 en France qui jouent un rôle essentiel dans la pollinisation des végétaux sauvages et cultivés. Cette grande diversité d'espèces d'abeilles qui se différencient les unes des autres en termes de morphologie, de mobilité, de préférence florale, de sites de nidification et de période de vol, rassemble des pollinisateurs irremplaçables qui sont aussi aujourd'hui menacés. Pour enrayer ce phénomène, il est important d'évaluer les facteurs (pratiques agricoles, gestion des territoires etc..) ayant un impact sur la santé des abeilles domestiques (résistance au varroa par exemple) mais aussi sur l'abondance et la diversité des abeilles sauvages.

Le déclin des insectes pollinisateurs est aujourd'hui un fait avéré rapporté dans de nombreux médias, journaux scientifiques. Pour mettre fin à cette disparition rapide et massive des insectes pollinisateurs diverses actions ont été engagées en France telles que le plan pollinisateurs (2021-2026) et en Europe avec la rédaction de l'article 8 de la Commission Européenne (Juin 2022) qui prévoit « l'obligation d'inverser le déclin des pollinisateurs et de parvenir à une évolution à la hausse des populations de pollinisateurs jusqu'à atteindre des niveaux satisfaisants. Cette obligation s'appuiera sur la mise en place d'une méthode de surveillance des pollinisateurs ».

Cependant à l'heure actuelle les inventaires et les suivis d'insectes pollinisateurs se heurtent à d'importants verrous méthodologiques liés à un manque d'entomologistes et de méthodes fiables, standardisées permettant les identifications jusqu'à l'espèce. À côté des verrous méthodologiques, il existe également une forte attente sociétale et institutionnelle pour suivre les populations de pollinisateurs dans des différents contextes environnementaux avec des méthodes qui préservent les spécimens vivants.

Dans ce contexte nous avons proposé de mettre au point un protocole non létal, facilement remobilisable par des instituts ou des associations pour identifier les abeilles sauvages à partir des traces qu'elles peuvent laisser sur les fleurs en butinant tels que des soies, des fèces ou encore de la salive.



Lithurgus cornutus femelle



© Remi-Rudelle

Démarches

Un dispositif expérimental en conditions contrôlées a été conçu. Quatre plants de fraisiers, couramment utilisés comme pollinomètres, ont été placés dans des enceintes « insects proof » ou exposés à l'air libre pendant 3 jours.

- Dans la condition A les plants de fraisiers ont été mis en contact avec 4 abeilles appartenant à 3 espèces piégées au filet et photographiées pour identification (*Anthophora plumipes*, *Andrena* sp. et *Lasioglossum* sp).
- Dans la condition B les plants ont été exposés à l'air libre avant la collecte des fleurs.
- Dans la condition C les plants de fraisiers n'ont pas été en contact avec des insectes pollinisateurs.

Après 3 jours les fleurs sont récoltées individuellement puis congelées et stockées à - 20 °C avant l'extraction des ADNs provenant des traces.



En préalable aux travaux de métabarcoding ADNe nous avons construit une base de barcodes de référence pour les abeilles sauvages de la région d'Occitanie. Des minibarcodes (16S d'insectes de 250 bps) classiquement utilisés pour identifier de l'ADN partiellement dégradé, provenant d'échantillons environnementaux (ADNe) ont été séquencés.

Résultats

Optimisation des conditions d'extraction et d'amplification des ADNs

- Mise au point du protocole d'extraction de l'ADN à partir de traces de passage d'insectes déposées sur les fleurs.
- Définition des conditions d'amplification du minibarcode 16S adaptées à plusieurs genres en partant de très faible quantité d'ADN potentiellement dégradé.
- Optimisation des conditions de séquençage MiSeq (profondeur de lecture, prix).

Traitement bioinformatique des données

Il est possible de détecter deux des espèces introduites manuellement : *Anthophora* et *Andrena* (A). Cependant plusieurs espèces d'abeilles sauvages appartenant à différents genres mais également des séquences d'autres insectes pollinisateurs comme des syrphes (*Philantus*) sont aussi détectées.

La détection de séquences dans les conditions C (pas d'introduction manuelle d'abeilles) provient du fait que les fraisiers utilisés dans cette expérience provenaient de pépinières extérieures.

En revanche, nous avons trouvé beaucoup de contaminations d'*Homo sapiens* et de séquences correspondant à de l'ADN 16S de fraisiers. Pour la poursuite des travaux, il faudra limiter l'effet de ces contaminations par exemple en utilisant des oligonucléotides de blocage qui visent à réduire l'amplification des contaminations.

La preuve de concept est concluante : en conditions contrôlées, il est possible de détecter le passage d'insectes à partir de fleurs butinées.

Publication

[Marquisseau, A., Canale-Tabet, K., Labarthe, E., Pascal, G., Klopp, C., Pornon, A., Escaravage, N., Rudelle, R., Vignal, A., Ouin, A., Ollivier, M., Pichon, M. \(2025\) Building a reliable 16S mini-barcode library of wild bees from Occitania, south-west of France. *Biodiversity Data Journal*, 13, pp.e137540](#)



PROJET
EXPLORATOIRE

2021-2023

Contacts

Christophe Bouget

christophe.bouget@inrae.fr

Bernard Benet

bernard.benet@inrae.fr

Mots clefs

Capteurs photographiques

Automatisation

Métabarcoding

Biodiversité forestière

Agrius

Bryophytes

Disciplines impliquées

Biodiversité forestière

Entomologie

Intelligence artificielle

Métabarcoding

Robotique

Taxonomie des Bryophytes

Départements concernés

ECODIV

MATHNUM

Unités impliquées

UR EFNO

UR TSCF

USC Ecodiv – Université de Rouen

Normandie

UR P2E – Université d'Orléans

Partenaires

Laboratoire IRBI CNRS - Université

de Tours

Nouveaux outils pour évaluer automatiquement la population de coléoptères en forêt

BIOC@PT a testé et adapté un prototype de capteur photographique de coléoptères et la création et entraînement d'un réseau de neurones pour la reconnaissance visuelle automatisée de ces insectes. Il s'est montré performant avec 90 % de reconnaissance sur des espèces d'*Agrius* et de *Scolytes*.

BIOC@PT - Capteurs automatiques de biodiversité en forêt

Depuis plusieurs décennies, en raison du déclin rapide et alarmant de la biodiversité, la surveillance des changements environnementaux est devenue un enjeu crucial. Les méthodes classiques de suivi de la biodiversité ne sont plus adaptées et il est nécessaire d'envisager une automatisation de la collecte d'échantillons par images, vidéos et sons.

Grâce aux avancées réalisées durant la dernière décennie dans les domaines de la génomique, de l'informatique et de l'intelligence artificielle, les capteurs peuvent maintenant être associés à des technologies de barcoding d'ADN environnemental, de reconnaissance visuelle ou sonore autonome pour identifier ou dénombrer les espèces.



© INRAE - Christophe Bouget

Démarches

Le projet BIOC@PT a exploré de nouveaux moyens d'acquérir des données de biodiversité, plus rapides et moins coûteuses que la détermination morphologique classique en laboratoire, en automatisant les relevés sur le terrain (par des capteurs) et la détermination des espèces (par des techniques d'intelligence artificielle appliquées à la reconnaissance photographique), dans une triple optique de biovigilance, de suivis de biodiversité et d'étude des patrons spatiotemporels de biodiversité. Cette démarche exploratoire a concerné deux groupes taxonomiques forestiers importants et relativement mal connus (insectes et bryophytes) et pourra être adaptée à d'autres groupes.

Études bryologiques et mycologiques

Un test de faisabilité de reconnaissance visuelle autonome par apprentissage profond a été conduit sur des photos de spores de bryophytes, échantillonnées en forêt par aspiration active de particules aéroportées avec un capteur Cyclone Sampler automatique. Nous avons développé un algorithme de type CNN apte à discriminer des objets de type « spore » et constitué une banque photo des diaspores de 54 espèces de Bryophytes, incluant les espèces recensées par inventaire naturaliste sur les sites d'échantillonnage par aspiration.

Prototype de capteur entomologique photographique

Un prototype de capteur d'insectes à piège photographique automatique a été mis au point et testé en forêt sur un groupe d'espèces de coléoptères xylophages (*buprestes Agrius sp.*). En collaboration avec la société Cap2020 pour l'ingénierie mécatronique du capteur (boîtier, capteur optique rétro-éclairage, communication, sauvegarde, autonomie énergétique), nous avons transformé un piège Lindgren vert, sélectif à l'égard des buprestes, en un prototype de capteur photographique sélectif, non destructif, automatique et connecté.

Reconnaissance visuelle autonome des photos de coléoptères *Agrius*

L'objectif à moyen terme est un piège photographique automatique avec algorithme embarqué de traitement des photos. Dans BIOC@PT nous avons travaillé sur un outil de tri automatique de laboratoire capable d'assurer la reconnaissance automatique (classification par apprentissage profond) de coléoptères photographiés au laboratoire, de façon à automatiser le dépouillement d'échantillons provenant de pièges classiques.

Résultats

Études bryologiques et mycologiques

Sur les données d'apprentissage, le taux de reconnaissance global est insuffisant, entre 63 % et 80 %, et la sensibilité et la précision moyenne sont faibles pour l'ensemble des espèces, avec des confusions fréquentes entre certaines espèces.

Prototypage de capteur entomologique photographique

La mise à jour à distance du script pilotant la fréquence régulière des prises de vue et la télétransmission des clichés sont opérationnelles. La géométrie d'une nouvelle chambre de prise de vue, avec collerette anti-retour, optimisée après observation du comportement des insectes piégés, a été intégrée à la version 2 du boîtier de capteur Cap2020 et testée avec succès en forêt à l'été 2024 (photo).



Reconnaissance visuelle autonome des photos de coléoptères *Agrilus*

Un réseau de neurone personnalisé a été créé puis entraîné pour discriminer les classes (espèces) d'une photothèque d'apprentissage constituée de plusieurs milliers de clichés des 7 principales espèces régionales du genre *Agrilus* et d'une espèce d'*Agrilus* exotique envahissante. Puis 8 espèces de scolytes ont été ajoutés. Le réseau de neurones montre de bonnes performances à discriminer les taxa. Avec la photothèque d'apprentissage augmentée, le taux de reconnaissance global atteint 90 %.

L'algorithme entraîné avec la photothèque de laboratoire s'est montré capable de discriminer les espèces d'*Agrilus* sur des photos provenant du capteur de terrain, pourtant moins qualitatif au niveau optique que le microscope numérique de labo.

Publications

[Le Borgne, H. & Bouget, C. \(2023\) Suivis de biodiversité par la reconnaissance automatique des espèces sur photographies : perspectives et défis. *Naturae*, 6, pp.75-96](#)

[Le Borgne, H. & Bouget, C. \(2023\) Suivis acoustiques de biodiversité : perspectives et défis en milieu continental terrestre. *Naturae*, 8, pp.129-150](#)

[Le Borgne, H. & Bouget, C. \(2024\) La reconnaissance des espèces basée sur l'ADN : applications, perspectives et défis en milieu continental terrestre. *Naturae*, 3, pp.31-67](#)

[Caruso, V., Shirali, H., Bouget, C., Cerretti, P., Curletti, G., de Groot, M., Groznic, E., Gutowski, J.M., Pyliatuk, C., Plewa, R., Roques, A., Sallé, A., Sweeney, J., Wühl, L., Rassati, D. \(2026\) Image-based recognition using advanced neural networks can aid surveillance of *Agrilus* \(Coleoptera, Buprestidae\) jewel beetles. *NeoBiota*, 105, pp.319-336 \(accepted 23/01/2026\)](#)



PROJET
EXPLORATOIRE

2021-2023

Contacts

Olivier Plantard

olivier.plantard@inrae.fr

Sabrina Gaba

sabrina.gaba@inrae.fr

Mots clés

Biodiversité

Éco-épidémiologie des maladies à tiques

Éco-Health

Paysage

Zoonose

Disciplines impliquées

Agroécologie

Dynamique de population

Éco-épidémiologie

Écologie et systématique des tiques

Écologie des communautés

Écologie du paysage

Écologie spatiale

Épidémiologie

Géomatique

Gestion de données

Interactions hôte-parasite

Méthodes moléculaires

Modélisation dynamique

Sociologie

Départements concernés

SA

SPE

Unités impliquées

UMR BIOEPAR

USC CEBC - Résilience (Centre d'études biologiques de Chizé)

Dans les grands boisements, les tiques sont plus nombreuses et oiseaux et chevreuils jouent un rôle en hébergeant des *Borrelia*

BIODILUTIQUE confirme le rôle des caractéristiques des paysages sur l'abondance des tiques : dans les grands boisements les tiques sont plus nombreuses sur la végétation. La prévalence globale de la *Borrelia* spp. est de 8,2 %. Les oiseaux jouent un rôle de réservoir à *Borrelia* plus important que les micromammifères. La densité de chevreuil influe sur dynamique des populations de tiques.

BIODILUTIQUE - Biodiversité, effet dilution et maladies à Tique : analyse de la relation entre prévalence d'agents pathogènes, diversité des Tiques, diversité des hôtes le long de gradients paysagers

Les liens entre biodiversité et santé constituent un front de science où le concept d'effet de dilution occupe une place centrale mais encore débattue. Les maladies à tiques, souvent zoonotiques, constituent un pathosystème particulièrement pertinent pour explorer ce concept. Le projet BIODILUTIQUE a exploré les liens entre la biodiversité des communautés d'hôtes et de tiques et la diversité des agents pathogènes transmis par ces tiques, avec un focus tout particulier sur les bactéries du genre *Borrelia* responsables de la maladie de Lyme.



© INRAE - Bernard Chaubet

Démarches

BIODILUTIQUE s'est intéressé aux rôles des boisements, des prairies et des cultures sur la diversité des vertébrés et des tiques, ainsi que sur la prévalence des agents pathogènes qu'elles portent. 62 fenêtres paysagères distribuées sur deux gradients paysagers de proportion de boisements et de prairies sur la Zone Atelier Plaine & Val de Sèvre ont fait l'objet de collecte de tiques et de suivi par caméras.

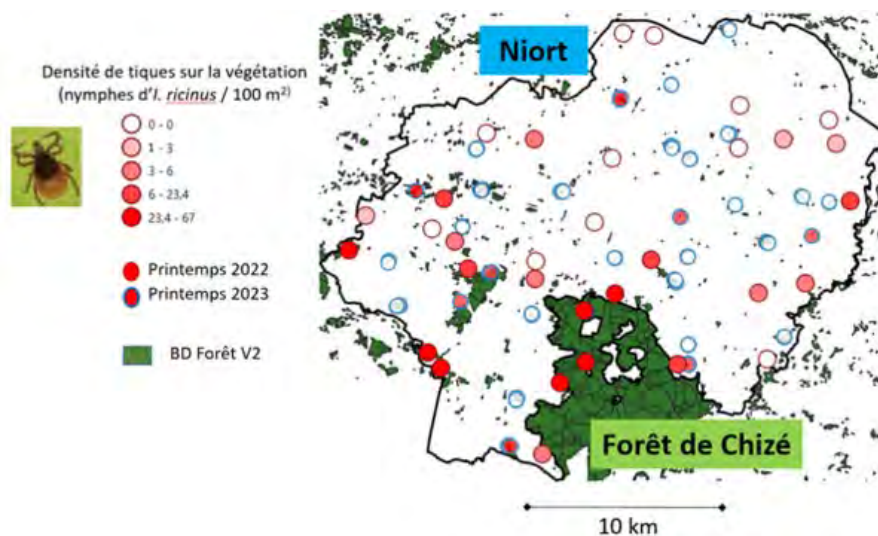
Aux printemps 2022 et 2023, 4 546 tiques ont été collectées, dont 4 386 sur la végétation, 71 sur des micromammifères et 89 sur des oiseaux.

Au total, 7 espèces de tiques ont été identifiées, dont 90,1% d'*Ixodes ricinus*, espèce généraliste pouvant piquer l'homme, et 9,2 % d'*Ixodes frontalis*, espèce spécialisée sur les oiseaux (passereaux - Turridés et Corvidés - et colombidés).

Les captures de micromammifères (n=271) ont révélé la présence de 6 espèces, dont les 3 plus abondantes étaient la crocitude musette (50,2 %), le mulot sylvestre (34,2 %) et le campagnol agreste (10 %). L'analyse des données issues des pièges photographiques (n=723 vidéos) posés dans les fenêtres a révélé la présence de 10 espèces de mammifères sauvages et diverses espèces d'oiseaux.

Résultats

Les densités de tiques les plus importantes ont été observées dans les boisements les plus grands, alors que les boisements plus petits, surtout ceux situés dans des fenêtres peu boisées et moins connectées à d'autres boisements, présentaient des densités plus faibles voire nulles.



Carte montrant la densité des nymphes de tiques

L'analyse d'ADNs de tiques a révélé une prévalence globale des *Borrelia* de 8,2%, dont 3,2% correspondant à 2 espèces de *Borrelia* dont les réservoirs principaux sont des oiseaux et 2,2% à une espèce de *Borrelia* dont les réservoirs principaux sont des micromammifères. Par ailleurs, ces tiques collectées sur la végétation étaient aussi porteuses de bactéries pathogènes zoonotiques et de protozoaires.

L'analyse de l'ADN extrait des biopsies de micromammifères (n=80) a révélé la présence de bactéries des genres *Bartonella* (37,5 %) et *Ehrlichia* (1,2 %), de *Neohrlichia mikurensis* (1,2 %) et du protozoaire *Apicomplexe Hepatozoon* sp. (33,7 %). Parmi les *I. ricinus* collectées sur oiseaux (n=66), 51,5 % étaient infectées par *B. garinii* ou *valaisiana*.

Un modèle mécanistique multi-hôtes et multi-agents pathogènes a été développé. Une analyse de sensibilité met en évidence l'influence très marquée de la densité des chevreuils ; bien que ces derniers ne constituent pas des hôtes propices à la multiplication de *Borrelia*, ils jouent un rôle important dans la dynamique des populations de tiques. Les oiseaux semblent jouer un rôle plus important que les petits mammifères en tant que réservoirs de ces agents pathogènes.

La thèse COPRAM soutenue par Biosefair poursuit ces recherches : Évaluation de l'influence de la connectivité entre les éléments boisés du paysage sur le risque acarologique : approche par modélisation - voir p91



PROJET
EXPLORATOIRE
2023-2025

Contacts

Pilar Fernandez-Conradi

pilar.fernandez@inrae.fr

Thomas Boivin

thomas.boivin@inrae.fr

Mots clés

Indicateurs de biodiversité

Métabarcoding

ADN environnemental

Interdisciplinarité

Disciplines impliquées

Entomologie

Ornithologie

Botanique

Écologie des communautés

Écoacoustique

Systématique moléculaire

Interactions entre la gestion forestière et la biodiversité

Départements concernés

ECODIV

Unités impliquées

URFM

URZF

UMR RECOVER

UMR DYNAFOR

Partenaires

Conservatoire d'Espaces Naturels

(CEN) d'Occitanie

Centre Régional de la Propriété

Forestière (CRPF)

Des méthodes innovantes d'inventaires de la biodiversité montrent que la biodiversité forestière dépend notamment de la gestion forestière passée

BIOFORDIV a montré l'influence plus ou moins marquée de l'historique de gestion forestière et des facteurs biogéographiques sur la biodiversité et la structure des communautés de plusieurs taxons (coléoptères saproxyliques, oiseaux, flore vasculaire). L'acoustique passive et l'ADN environnemental sont des méthodes innovantes et prometteuses pour la réalisation de ces suivis de biodiversité.

BIOFORDIV - Diversité taxonomique, fonctionnelle et phylogénétique des biocénoses forestières le long d'un gradient de naturalité

Situés à un carrefour biogéographique entre influences atlantiques et méditerranéennes, les écosystèmes forestiers d'Occitanie et leur biodiversité sont particulièrement impactés par les changements climatiques et leurs conséquences fonctionnelles dans les biocénoses. Notre capacité à relever des enjeux de conservation face aux perturbations environnementales repose en partie sur le développement d'outils de suivi et de quantification de la biodiversité plus rapides, moins coûteux et non létaux. Ils peuvent contribuer à la production d'indicateurs du potentiel de résilience de ces forêts aux perturbations, sur lesquels l'adaptation d'une gestion forestière favorable à la conservation de la biodiversité pourra se baser.

Le projet BIOFORDIV vise à analyser la réponse de la biodiversité forestière à l'historique de gestion sylvicole et au gradient de naturalité des sapinières autochtones anciennes, en mobilisant une approche pluri-taxonomique et interdisciplinaire. Il s'inscrit dans un contexte de forte attente sociétale et opérationnelle concernant la gestion durable des forêts et la conservation de la biodiversité, en particulier dans les massifs montagnards soumis à des héritages d'exploitation contrastés.



© INRAE - Thomas Boivin

Démarches

Les travaux ont été menés dans deux massifs des Pyrénées, le Canigou et le Burat, au sein de hêtraies-sapinières représentatives de trois catégories de forêts correspondant à un gradient d'anthropisation : (i) des forêts de production actuellement exploitées, (ii) des forêts anciennement exploitées mais laissées en libre évolution depuis au moins 50 ans, et (iii) des vieilles forêts présentant de très rares traces d'exploitation, remontant à plus de 100 ans. BIOFORDIV s'est appuyé sur l'étude de trois groupes indicateurs complémentaires (oiseaux forestiers, coléoptères saproxyliques et flore vasculaire) afin de caractériser la biodiversité sous différentes dimensions (taxonomique, fonctionnelle et phylogénétique) et d'en analyser les déterminants.

Les communautés biologiques et les composantes environnementales ont été caractérisées à l'aide d'inventaires standardisés, couplés à l'évaluation de méthodes innovantes de suivi de la biodiversité, telles que l'acoustique passive, l'analyse automatisée des données et les outils moléculaires basés sur l'ADN environnemental (ADNe). La comparaison avec les méthodes classiques a permis d'en tester la complémentarité, les performances et les limites opérationnelles.

Résultats

Les communautés biologiques répondent de manière différenciée à l'historique de gestion forestière. À l'échelle multi-taxonomique, la richesse spécifique apparaît principalement déterminée par le contexte propre à chaque massif, tandis que la composition des communautés, leur abondance et certaines dimensions de la diversité sont fortement influencées par le degré de naturalité et la maturité des peuplements. C'est le cas par exemple des communautés de coléoptères saproxyliques (qui vivent du bois mort) qui sont nettement structurées par l'historique sylvicole, soulignant l'importance de la qualité et de la continuité des habitats plutôt que de la seule quantité de ressources. Les richesses, abondance et diversité phylogénétique des communautés d'oiseaux augmentent avec la complexité structurale des peuplements et la densité de dendromicrohabitats, identifiés comme des éléments clés. La flore vasculaire révèle une forte différenciation entre massifs et une influence marquée des conditions locales, tout en mettant en évidence une spécificité floristique associée aux vieilles forêts.

Les approches innovantes ont confirmé leur intérêt. L'acoustique passive, couplée à l'outil d'identification automatisée BirdNET, a montré des performances comparables aux points d'écoute standardisés. Les analyses par ADNe ont permis de détecter une part significative des espèces et genres d'insectes identifiés morphologiquement, ainsi que des espèces complémentaires aux approches classiques, et d'accéder à une diversité fongique jusque-là peu documentée.

Dans son ensemble, BIOFORDIV souligne l'importance d'intégrer des indicateurs qualitatifs de structure forestière, tels que les dendromicrohabitats et la continuité écologique, dans l'évaluation et la gestion des forêts. Le projet renforce ainsi les recommandations en faveur de pratiques sylvicoles visant à préserver ou enrichir ces éléments, y compris en forêt de production. Les résultats et limites identifiées ont directement conduit à la construction du projet [SALUD \(2025-2029, p82\)](#), qui prolonge BIOFORDIV en élargissant le dispositif spatial, les taxons étudiés et en intégrant une approche « One Health », afin de renforcer la portée scientifique et opérationnelle des travaux.



Contacts

Stéphanie Aviron

stephanie.aviron@inrae.fr

Matthieu Carof

matthieu.carof@agrocampus-ouest.fr

Mots clés

Multifonctionnalité

Système diversifié

Haie

Facteur décisionnel

Interdisciplinarité

Disciplines impliquées

Agroécologie du paysage

Agronomie systémique

Économie rurale

Départements concernés

ACT

PHASE

Unités impliquées

UMR BAGAP

UMR SAS

UMR SMART

UE 3P

Partenaires

Institut Agro Rennes-Angers

Contribution contrastée des cultures diversifiées à bas intrants et des haies aux services écosystémiques en polyculture élevage

C-DIVERS montre des effets complexes de la diversité des cultures et les haies, à l'échelle locale ou paysagère, qui ne permettent pas de favoriser l'ensemble des performances attendues pour le développement d'agroécosystèmes multifonctionnels. Toutefois la présence d'une haie en bordure de parcelle favorise certaines performances écologique (pollinisation) ou agronomique (production agricole). Sur le long terme (15 ans) la diversification végétale devient un levier pour la gestion des bioagresseurs, le moindre recours aux intrants chimiques et l'alimentation des animaux d'élevage.

C-DIVERS - Contribution des systèmes de culture diversifiés à bas intrants et des haies à soutenir la multifonctionnalité des agroécosystèmes en polyculture-élevage

La transition vers des systèmes agricoles durables et résilients, alliant conservation de la biodiversité et amélioration des services écosystémiques, est nécessaire. Les systèmes de culture diversifiés et à faibles niveaux d'intrants (i.e. conçus avec un niveau élevé de diversité cultivée et pour utiliser peu de pesticides et de fertilisants azotés) et les haies sont identifiés comme des moyens potentiels pour opérer la transition vers de tels systèmes, mais des lacunes importantes demeurent concernant leur contribution respective à promouvoir la multifonctionnalité des agroécosystèmes. Les échelles spatiales - parcelle ou paysage - auxquelles les effets des systèmes de culture diversifiés et à faibles niveaux d'intrants et les haies opèrent, ainsi que les facteurs freinant ou facilitant leur mobilisation par les agriculteurs sont également insuffisamment renseignés à ce jour.

L'objectif du projet C-DIVERS était d'explorer, dans des exploitations de polyculture-élevage, en Bretagne :

- Les effets de la diversité cultivée, de l'usage des intrants (pesticides et fertilisants azotés) et des haies, aux échelles de la parcelle et du paysage, sur la multifonctionnalité des agroécosystèmes,
- Les freins et leviers à la mise en œuvre de systèmes de culture diversifiés et à faibles niveaux d'intrants et des haies au sein de l'exploitation.



© INRAE

Démarches

Nos hypothèses initiales étaient que

- Les systèmes de culture avec rotations diversifiées et faibles niveaux d'intrants, avec des haies en bordure de parcelles, ainsi qu'un contexte paysager hétérogène (diversité cultivée et densité de haies élevées) et à faible usage de pesticides (surfaces importantes en agriculture biologique) favorisent une multifonctionnalité élevée,
- Les freins et leviers à la diversification végétale (i.e. la mise en œuvre de rotations diversifiées, l'implantation ou le maintien des haies) diffèrent selon l'échelle de temps considérée et selon les déterminants socioéconomiques et techniques à l'origine de ces freins et leviers : en particulier, les déterminants externes à l'exploitation (e.g. les politiques publiques, la structuration des filières) ont plus d'influence, à long terme, sur les freins et leviers à la diversification végétale que les déterminants internes,
- Le coût d'opportunité (i.e. une manière d'évaluer les freins et leviers économiques de la diversification végétale) est, à long terme, défavorable aux haies du fait d'un coût d'entretien trop élevé.

Pour tester ces trois hypothèses, nous avons articulé (i) une évaluation des performances environnementales (sept fonctions), agronomiques (une fonction) et socioéconomiques (deux fonctions) sous-jacentes à la multifonctionnalité de parcelles de céréales d'hiver présentant des niveaux de diversité de culture en rotation et contextes paysagers contrastés, (ii) des enquêtes compréhensives, s'appuyant sur les résultats d'une étude prospective externe préalable au projet C-DIVERS, pour identifier les déterminants socioéconomiques et techniques agissant comme freins et leviers à l'adoption de systèmes de culture diversifiés et à l'adoption ou au maintien des haies à court et long terme, et (iii) un calcul économique des coûts d'opportunité à long terme de l'implantation ou du maintien des haies dans une exploitation, selon différents projets de valorisation de celles-ci (il n'a pas été possible de faire ce calcul pour la mise en œuvre de systèmes de culture diversifiés).

Résultats

Nos résultats montrent que la diversité des cultures et les haies, que ce soit à l'échelle locale ou paysagère, ne permettent pas de favoriser l'ensemble des performances attendues pour le développement de d'agroécosystèmes multifonctionnels. Ils soulignent toutefois que la présence d'une haie en bordure de parcelle favorise certaines performances, écologique (pollinisation) ou agronomique (production agricole). Par ailleurs, la réduction de l'usage des pesticides localement ressort comme un levier d'intérêt pour la conservation de la biodiversité. Cependant, la diversité des cultures au sein des mosaïques paysagères semble réduire la fonction de régulation des bioagresseurs de cultures, possiblement en lien avec des effets dilution.

Concernant les déterminants socioéconomiques et techniques, nos résultats montrent qu'à court terme, les caractéristiques de l'agriculteur (e.g. les normes auxquelles il est soumis, les risques perçus) sont décisives pour la diversification végétale, tout comme les coûts et bénéfices marchands et la gestion agronomique. A cela s'ajoutent des déterminants externes à l'exploitation comme les politiques publiques et la structuration des filières (mais pas les technologies accessibles ou le comportement des consommateurs pourtant souvent mentionnés dans la littérature). Sur le long terme (quinze ans), nos résultats montrent que les déterminants liés à la gestion agronomique l'emportent devant les risques perçus et les coûts et bénéfices marchands : la diversification végétale devient un levier pour la gestion des bioagresseurs, le moindre recours aux intrants chimiques et l'alimentation des animaux d'élevage. Cependant, le calcul des coûts d'opportunité sur 25 ans relatifs aux haies montre qu'aucun projet ne permet de compenser la perte de surface en production convertie en haies, même si la gestion d'emprise avec l'adhésion à la MAEC « Biodiversité » du second pilier de la PAC paraît la plus avantageuse quant aux retours sur investissement et au coût d'opportunité.

Publication

[Doussinault, L., Aviron, S., Carof, M., Alignier, A. \(2026\) Crop diversity in rotation and hedgerows: Two important but potentially insufficient levers to support the multifunctionality of agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 404, pp.110371.](#)



CONSORTIUM

2021-2022

Contacts

Stéphane Pesce

stephane.pesce@inrae.fr

Mots clés

Continuum sol-milieu aquatique

Agrosystème

Biodiversité microbienne

Coalescence

Interface

Disciplines impliquées

Ecotoxicologie microbienne

aquatique et terrestre

Biologie moléculaire

Biostatistique et bioinformatique

Fonctionnement des milieux

benthiques

Départements concernés

AGROECOSYSTEM

AQUA

Unités impliquées

UR RiverLy

UMR AGROECOLOGIE

UMR CARTEL

UMR EMMAH

UR EABX

Partenaires

LECA CNRS

Leviers pour la recherche sur la biodiversité microbienne du continuum sol-milieu aquatique au sein des agroécosystèmes

En s'intéressant aux concepts de "coalescence" (rencontres de communautés différentes) et de « continuum fonctionnel » dans le cas de communautés microbiennes présentes sur le continuum environnemental aquatique - terrestre, CONTICOMIC a identifié les limites des études actuellement menées sur ces sujets ainsi que les besoins en termes de concept, méthodes et compétences/disciplines à mobiliser pour faire avancer la recherche dans ce domaine.

CONTICOMIC - Identifier les leviers scientifiques pour appréhender le rôle du continuum sol-milieu aquatique dans le maintien de la biodiversité fonctionnelle microbienne dans les agroécosystèmes

La prise en compte de continuums environnementaux et des zones d'interface pour l'étude et la gestion des écosystèmes gagne progressivement en intérêt dans les sphères scientifiques et opérationnelles. Dans ce contexte, le rôle du continuum sol-milieu aquatique dans le maintien de la biodiversité et de la fonctionnalité des milieux (fonctions et services écosystémiques) est souvent questionné et encore très peu étudié. Ce constat s'explique notamment par le cloisonnement des recherches par type de milieu (écologues terrestres et aquatiques ne travaillent que très rarement ensemble) et par des limites scientifiques, tant d'un point de vue conceptuel que méthodologique (en particulier en termes de dispositifs expérimentaux qui intègreraient les compartiments terrestres et aquatiques).

Les agroécosystèmes, qui présentent de forts enjeux socio-économiques, sont des écosystèmes qui illustrent bien l'importance du continuum sol-milieu aquatique de par les liens étroits entre les bassins versants et les milieux aquatiques adjacents, en particulier dans les têtes de bassin versant. Si ces liens sont relativement bien étudiés concernant les transferts des substances chimiques (nitrates, phosphates, résidus de pesticides et de substances médicamenteuses...), ils restent peu pris en compte du point de vue des échanges biologiques entre ces milieux. Dans les agroécosystèmes, les communautés microbiennes sont présentes dans tous les compartiments de l'environnement où elles assurent de nombreux processus écologiques qui contribuent à un large panel de fonctions et services écosystémiques. Ainsi, ce sont des modèles d'étude qui semblent particulièrement bien adaptés pour aborder ce type de problématique, en s'appuyant notamment sur la notion émergente de « coalescence ».

Dans ce contexte, ContiComiC visait à mener une réflexion collective concernant les concepts de « coalescence » et de « continuum fonctionnel » dans les agroécosystèmes et les approches/méthodes à développer pour explorer ces concepts à partir de l'étude de la biodiversité microbienne et de certains services qu'elle supporte.



© INRAE Motte

Démarches

Un séminaire de travail organisé les 24 et 25 novembre 2021 a réuni 8 participants représentant 4 UR/UMRs INRAE (RiverLy, Agroécologie, CARRETEL, EMMAH) et une UMR non INRAE (LECA).

Ce séminaire a permis de :

- Définir le cadre scientifique et replacer la notion de coalescence microbienne dans un contexte du continuum sol-milieu aquatique ;
- Identifier les principaux enjeux scientifiques autour de cette notion ;
- Dresser un état des lieux de la littérature existante sur le sujet et en faire une analyse critique ;
- Définir les principaux besoins conceptuels et méthodologiques et lister les compétences/disciplines à mobiliser.

Résultats

Outre l'importance de prendre en compte les différentes zones d'interface entre les compartiments environnementaux, l'un des principaux enjeux identifiés concerne le besoin de mieux comprendre comment les processus de coalescence dans les zones d'interface influencent la capacité des communautés microbiennes nouvellement formées à assurer leur rôle écologique, sur la base des fonctions auxquelles elles contribuent.

L'étude de la littérature menée en parallèle, a montré que peu d'études prennent en compte les processus de coalescence le long du continuum sol-milieu aquatique. En outre, tous les travaux recensés présentent des limites méthodologiques (choix de la stratégie spatiale et temporelle d'échantillonnage, pas de prise en compte de la dimension fonctionnelle), qui rendent difficile l'évaluation de l'influence de ce continuum sur les caractéristiques structurelles et surtout fonctionnelles des communautés microbiennes. En revanche, les développements méthodologiques récents, en particulier dans le domaine des « omiques » et dans ceux de la bioinformatique et des biostatistiques permettent d'envisager la mise en œuvre de nouvelles approches particulièrement adaptées à l'étude des processus de coalescence microbienne au niveau de différentes interfaces environnementales dans les agrosystèmes en abordant cela à la fois du point de vue taxonomique, structurel et fonctionnel.

Les échanges et réflexions collectives mettent aussi clairement en évidence le besoin de mobiliser un large panel de compétences interdisciplinaires pour réellement appréhender le rôle du continuum sol-milieu aquatique dans le maintien de la biodiversité fonctionnelle microbienne dans les agroécosystèmes. Les disciplines à mobiliser (hors écologie microbienne) incluent, de manière non exhaustive, l'hydrologie, la pédologie, la modélisation (des flux), la bioinformatique, les biostatistiques et l'écologie fonctionnelle.



CONSORTIUM

2022-2023

Contacts

Gianni Bellocchi

gianni.bellocchi@inrae.fr

Sébastien Fontaine

sebastien.fontaine@inrae.fr

Mots clefs

Modélisation

Flux de carbone et d'azote

Diversité microbienne et végétale

Sol

Disciplines impliquées

Modélisation

Écologie microbienne

Relations plantes/micro-organismes

du sol

Départements concernés

ECODIV

AGROECOSYSTEM

Unités impliquées

UREP

UMR IAM

UMR AGROECOLOGIE

Partenaires

CREA Research Centre for

Agriculture and Environment (Italie)

CNRS LIEC (Laboratoire

interdisciplinaire des
environnements continentaux)

Amélioration de la précision des simulations couplées de flux de carbone et d'azote des sols d'agroécosystèmes

Axé sur la séquestration du carbone et la production de biomasse, DIMIVEA a produit, à partir de modèles existants, un simulateur qui prend en compte la diversité microbienne et végétale pour calculer les flux de carbone (C) et d'azote (N) dans les sols. Il offre une représentation plus précise des cycles couplés C-N en intégrant la représentation explicite et dynamique de la biodiversité. Il a débouché sur le projet MODIMIV (voir p52) et la thèse MODIMIR (voir p96) qui visent à améliorer encore le simulateur.

DIMIVEA - Diversité microbienne et végétale dans les agroécosystèmes multi-spécifiques - modélisation des relations

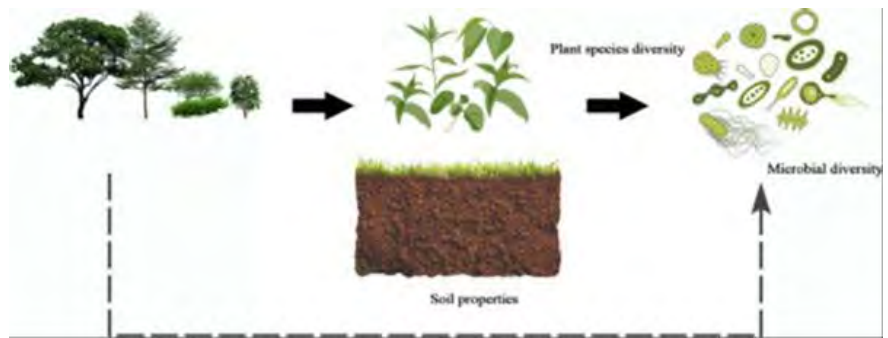
La modélisation biogéochimique est utilisée pour évaluer l'impact des activités agricoles et du climat sur les cycles du carbone et des nutriments des écosystèmes ainsi que les services ou di-services associés, tels que la production de biomasse, les émissions/le stockage du carbone et la rétention des nutriments. Dans une perspective d'agroécosystème, DIMIVEA s'intéresse à la caractérisation physico-chimique et biochimique des sols, à la diversité fonctionnelle des communautés végétales et microbiennes et à la définition d'indicateurs de services écosystémiques afin de mieux simuler la fourniture des services écosystémiques.

DIMIVEA a eu pour objectif de modéliser les dynamiques de la biodiversité des communautés pour mieux simuler la fourniture des services écosystémiques. Le projet visait à dépasser les modèles simplifiés actuels en intégrant la diversité biologique dans des simulateurs explicites et dynamiques.



© 4045 - Free photo beautiful park

En se concentrant sur les caractéristiques des communautés végétales et microbiennes dans des couverts végétaux mixtes, DIMIVEA aspire à fournir un cadre conceptuel pour étendre le potentiel des modèles, permettant une estimation plus fiable des processus écologiques soutenant les services écosystémiques dans les agroécosystèmes.



Résultats

DIMIVEA, axé sur la compréhension des interactions entre la diversité végétale et microbienne dans les écosystèmes multi-spécifiques, a établi des bases conceptuelles en intégrant progressivement la dynamique de la diversité végétale dans les modèles de simulations. Il s'agit notamment de simuler les interactions entre les flux C-N, le climat, et les pratiques agricoles, tout en introduisant la diversité végétale dans les modèles de flux C-N. Les démarches de prototypage ont cherché à développer un cadre conceptuel dynamique reliant la diversité biologique et les flux biogéochimiques, considérant la biomasse, la structure biogéochimique et les interactions avec les microorganismes du sol.

Le simulateur développé offre une représentation plus précise des cycles couplés C-N dans les agroécosystèmes, allant au-delà des schémas simplistes habituels en intégrant la représentation explicite et dynamique de la biodiversité. Au départ axé sur la séquestration du carbone et la production de biomasse, le projet a utilisé le couplage des modèles ModVege (végétal) et SYMPHONY (microbien).

Les lacunes identifiées dans la représentation des racines, la dynamique phénologique, le ratio C/N et d'autres processus nécessiteront une calibration des paramètres pour améliorer la précision du modèle. La dynamique du rapport C-N et l'allocation au sein des plantes jouent également un rôle crucial à explorer.

Perspectives

Les résultats et les questions qui ont émergé à la suite du projet DIMIVEA ont motivé la mise en œuvre du projet exploratoire MODIMIV (« Modélisation des relations entre la diversité microbienne et végétale dans les agroécosystèmes multi-spécifiques », voir p52) et de la thèse MODIMIR (« Modélisation des effets de la diversité microbienne sur la régulation des cycles du carbone et des nutriments dans les agroécosystèmes », voir p96), soutenue par Biosefair.



Contacts

Christophe Baltzinger

christophe.baltzinger@inrae.fr

Jérôme Boucherot

jerome.boucherot@inrae.fr

Mots clés

Pastoralisme

Patrimoine naturel et culturel

Socialité

Biodiversité

Zoochorie

Disciplines impliquées

Écologie comportementale

Botanique

Entomologie

Géographie

Départements concernés

[GA](#)

[ECODIV](#)

Unités impliquées

[UR EFNO](#)

[UE P3R](#)

Partenaires

[Conservatoire d'espaces naturels](#)

[Centre-Val de Loire](#)

[UMR CITERES - INSA Centre-Val de](#)

[Loire](#)

[Unité Biodiv'AG - Université](#)

[d'Angers](#)

[Laboratoire d'éco-entomologie](#)

[\(bureau d'études\)](#)

Privilégier des troupeaux ovins mixtes pour limiter la dispersion de graines exotiques dans leur toison

DISPERSAL montre que le mouton a un fort potentiel épizoochore. En bord de Loire la pression d'herbivorie réduit très rapidement la disponibilité alimentaire et nécessite un déplacement fréquent des troupeaux augmentant les possibilités de dispersion des graines. Le comportement social influe sur le transport de graines, la présence de jeunes au sein du troupeau, limite le temps de rétention des graines dans le pelage, notamment pour une espèce exotique envahissante très présente en bord de Loire. Le pâturage ovin maintient une communauté de coléoptères coprophages très diversifiée.

DISPERSAL – Dispersion des plantes par les herbivores pâturant sur les annexes de Loire

La Loire charrie des sédiments chargés de graines de plantes indigènes et exotiques qui se déposent lors des cycles de crues/décrues sur ses annexes du fleuve. A l'interface entre milieu aquatique et milieu terrestre, DispERSAL s'est intéressé aux répercussions du pastoralisme ovin (au sein de l'initiative Pasto'Loire) pratiqué sur des espaces gérés par le CEN (Conservatoire des Espaces Naturels) Centre Val de Loire. Le focus a été porté sur les processus écologiques associés à la présence des herbivores domestiques sur la dynamique spatiale et temporelle de la flore des annexes pâturées, en particulier l'herbivorie et la dispersion zoochore. Certains atouts du pastoralisme ovin sont bien identifiés, notamment le maintien de l'ouverture des milieux et la réduction du risque d'embâcles, mais les risques potentiels liés à la propagation de plantes exotiques au sein d'espaces remarquables pour leur biodiversité, dans des paysages classés patrimoine Unesco, le sont beaucoup moins.



© Cédric Chapelier

Démarches

DISPERSAL a évalué les apports fluviaux sur différents compartiments de la flore : la banque de graines du sol, la flore exprimée, la flore pâturée et celle dispersée par les ovins. En parallèle et sur les mêmes placettes d'échantillonnage, l'entomofaune associée au pastoralisme, impliquée dans le recyclage de la matière organique a été étudiée sur deux cycles annuels.

En complément des observations *in situ*, une expérimentation a été menée en conditions contrôlées avec les brebis et agnelles de race Romane élevées à l'UE P3R INRAE d'Osmoy. Elle a testé l'effet de la socialité animale sur la dispersion épizoochore de *Xanthium strumarium*, une espèce exotique envahissante des bords de Loire. L'effet du ratio brebis/agnelles au sein du groupe sur le temps de rétention et la distance de dispersion de cette plante a été analysé.

Résultats

La lampourde *Xanthium strumarium* espèce exotique envahissante des bords de Loire produit des fruits pourvus de crochets qui facilitent sa dispersion épizoochore (mais ils peuvent également flotter et être dispersés par le fleuve). Ses fruits été retrouvés dans la majorité des toisons des moutons étudiés (18 toisons sur 24). L'expérimentation avec les brebis et agnelles a par ailleurs démontré que ces fruits peuvent être dispersés sur des distances importantes (plusieurs kilomètres). Les conditions sont réunies pour que les moutons pâturant des sites où cette plante est installée, soient bien des relais de propagation de l'espèce et que notamment au gré des parcours pastoraux, cette plante puisse envahir le paysage.

Plus il y a d'agnelles dans le troupeau, plus les temps de rétention et les distances de dispersion des fruits sont courts. Le comportement social des agnelles (plus de contacts avec les autres animaux et plus de toilettage individuel) décroche plus rapidement les fruits de la toison ou les transfère à d'autres moutons avec une adhésion moins bonne du fruit. D'un point de vue pratique, mener des troupeaux mixtes incluant adultes et jeunes, tend à diminuer les distances de dispersion des fruits de cette plante.

Dans les 24 toisons étudiées 35 espèces différentes ont été identifiées (entre 3 et 13 espèces différentes et entre 8 et 377 diaspores d'une même espèce par toison). Ces résultats confortent le fort potentiel épizoochore du mouton.

L'étude floristique menée montre peu de sélectivité alimentaire par le mouton, avec un effet significatif du pâturage entraînant une réduction de la biomasse (recouvrement par espèce), de la hauteur maximale des espèces, de la densité d'espèces et de la diversité. La charge animale présente sur chacun des parcs sur une période d'une dizaine de jours amène une pression d'herbivorie qui réduit très rapidement la disponibilité alimentaire et nécessite donc un transfert régulier des zones pâturées vers des zones non pâturées.

L'étude de la banque de graines du sol (réalisée par l'UMR Citeres) a identifié 117 taxons capables de germer. 5 espèces représentent plus de la moitié des germinations (*Portulaca oleracea*, *Urtica dioica*, *Lindernia dubia*, *Digitaria sanguinalis* et *Cyperus fuscus*) et les espèces exotiques sont rares.

La flore locale exprimée est distincte de la banque de graines du sol, mais la pluie de graines contribue à expliquer une part de la flore exprimée.

La présence du pastoralisme ovin en bord de Loire maintient des communautés riches de coléoptères coprophages (39 espèces identifiées dont certaines concernées par des statuts de protection) impliqués dans le recyclage de la matière organique.

Publication

[Roux, A., Balson, C., Audiguier, M., Battista, M., Marcon, D., Pays, O., Baltzinger, C. \(2026\). Age ratio in groups of a social ungulate affects epizoochorous dispersal and diaspore exchanges, *Oikos*, e11894.](#)



Contacts

Daphné Durant

daphne.durant@inrae.fr

Aude Barbottin

aude.barbottin@inrae.fr

Mots clés

Oiseaux communs

Paysage

Systèmes agricoles

Gestion collective de l'eau

Marais poitevin

Disciplines impliquées

Agronomie

Agroécologie

Écologie

Géomatique

Hydrologie

Départements concernés

ACT

ECODIV

Unités impliquées

UE Saint-Laurent-de-la-Prée

UMR SADAPT

UMR DYNAFOR

Partenaires

UMR CESCO - OFB/MNHN

Établissement Public du Marais

Poitevin

Chambre d'Agriculture de Vendée

Des paysages agricoles stables depuis 2010 et des communautés d'oiseaux structurées par le niveau d'eau et les pratiques agricoles

DYNAMIC montre une stabilité des assolements et des composantes semi-naturelles du paysage du Marais Poitevin liée en grande partie aux contraintes pédoclimatiques des différents sites. Les communautés d'oiseaux sont structurées par les pratiques agricoles dans les prairies inondables et les cultures.

DYNAMIC - Changements récents dans les communautés d'oiseaux en marais en lien avec la dynamique des systèmes agricoles et des paysages

Depuis plusieurs décennies, les changements de l'agriculture en Europe, incluant à la fois intensification et déprise selon le contexte géographique, sont en partie responsables d'une modification importante de la biodiversité, les populations d'oiseaux des milieux agricoles étant particulièrement impactées (perte globale de 48 % des effectifs européens en 30 ans).

Les échelles spatiales, de l'exploitation agricole au paysage, sont reconnues comme particulièrement importantes à prendre en compte dans la perspective des transitions agroécologiques et de la conciliation entre production agricole et préservation de la biodiversité. Cependant, peu d'études se sont intéressées aux évolutions conjointes des systèmes agricoles et de la biodiversité à ces échelles.



© INRAE

Démarches

DYNAMIC explore, au sein d'agroécosystèmes du Marais poitevin, comment ont évolué les communautés d'oiseaux sur plus d'une décennie sur 3 sites en lien avec les évolutions des systèmes agricoles notamment. Ces sites d'environ 1000 ha chacun présentent des proportions de prairies et cultures contrôlées (100 % prairies, 50-50 prairies – cultures et 100 % cultures). Ils ont déjà été suivis au cours de deux périodes (2010-2012 puis 2022-2023) pour leurs populations d'oiseaux et les systèmes de culture et d'élevage mis en œuvre par une trentaine d'agriculteurs.

Le projet DYNAMIC avait pour ambition de :

- Compléter les données écologiques nécessaires pour analyser les variations des communautés d'oiseaux, notamment en lien avec l'évolution des niveaux d'eau ;
- Actualiser la cartographie des assolements et des éléments semi-naturels
- Proposer une méthode d'analyse des variations conjointes des composantes paysagères, agricoles et des communautés d'oiseaux.

Résultats

L'analyse des données d'assolement et des composantes semi-naturelles du paysage montre une grande stabilité des paysages agricoles sur les trois sites suivis entre les deux périodes. Compte tenu des contraintes pédoclimatiques des différents sites et des réglementations existantes, les prairies présentent une grande stabilité (du fait de l'hydromorphie des sols). Inversement, les contraintes climatiques et la nature des sols limitent les possibilités de diversification des cultures dans la zone cultivée. Les assolements restent dominés par le blé dur, le tournesol et le maïs avec une forte homogénéité des pratiques mises en œuvre sur les différentes cultures.

Des travaux spécifiques ont été réalisés afin de modéliser les niveaux d'eau dans les zones inondables des trois sites pour les deux périodes étudiées. A partir d'images satellites, d'un modèle numérique de terrain et d'une prospection directe sur le terrain, il a été possible d'identifier les zones inondées et le niveau d'eau dans les parcelles pour l'année 2025. Les évolutions climatiques (répartition et intensité de la pluviométrie) ne permettent pas d'extrapoler le MNT pour les années antérieures.

Pour les deux périodes analysées, les communautés d'oiseaux montrent une grande structuration pour les trois sites d'étude. Le site « prairie » présente des communautés dominées par les oiseaux d'eau et les espèces spécialistes des espaces prairiaux. Le site « mixte » accueille des communautés spécialistes des milieux agricoles ouverts et des espèces prairiales, avec une structuration interne hétérogène. Le site « cultures » accueille majoritairement des espèces spécialistes des milieux ouverts agricoles.



Contact

Marion Gosselin

marion.gosselin@inrae.fr

Mots clés

Pratiques de rétention

Microclimat

Houppier

Biodiversité

Dépérissement

Disciplines impliquées

Micrométéorologie

Écologie des communautés

Écologie forestière

Bryologie

Mycologie

Écophysiologie forestière

Départements concernés

ECODIV

PHASE

Unités impliquées

UR EFNO

URZF

UMR Biogeco

UMR ISPA

USC Ecodiv-Rouen

UE PAO

Partenaires

Office national des Forêts (ONF)

Centre National de la Propriété

Forestière (CNPF)

Département Santé des Forêts (DSF)

De nouveaux dispositifs pour décrire l'étagement des microclimats et des communautés se développant sur les troncs

ECART a testé un système de mesure de variables microclimatiques et un outil de captation de spores en canopée. Ces données ont été mobilisées pour explorer les facteurs de distribution de cette biodiversité dans les arbres. Les premiers résultats montrent des associations d'espèces de bryophytes bien différenciées entre haut du tronc, base du tronc et reste du houppier ou encore un effet négatif du dépérissement des arbres sur la richesse de bryophytes en partie haute de l'arbre.

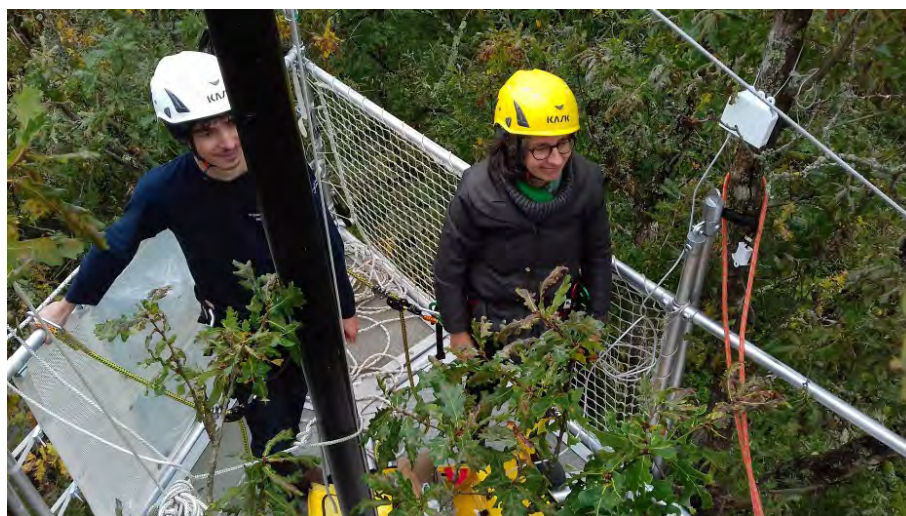
ECART - Efficacité conservatoire des arbres de rétention en contexte de changement climatique

La rétention d'arbres-habitats pérennes, épargnés par les coupes, est une recommandation en faveur de la biodiversité forestière. Les changements climatiques en cours exposent ces arbres à des stress accrus (sécheresse, canicule, parasites et phytophages) entraînant des dépérissements, en particulier au sein de trouées en régénération. Les gestionnaires s'interrogent sur l'efficacité des arbres de rétention dans ces situations : les espèces forestières associées peuvent-elles réaliser leur niche si l'arbre dépérit rapidement ?

À l'interface forêt-atmosphère, les houppiers sont les premiers exposés aux rayons du soleil : par le haut s'ils sont en peuplement fermé, sur toute la hauteur s'ils sont isolés ou en lisière. Leur défoliation risque de modifier la structuration spatiale du microclimat forestier. Nous faisons l'hypothèse que les houppiers partiellement défoliés des arbres dépérissants réduisent l'effet tampon du couvert forestier sur le microclimat du sous-bois, ainsi que les écarts de température et d'humidité entre les couronnes internes et externes des houppiers.

Le projet vise à :

- Décrire l'étagement des microclimats et des communautés dans les arbres (aspects méconnus dans les houppiers),
- Identifier les facteurs pouvant influencer cet étagement, avec des hypothèses sur l'état sanitaire, l'essence, la position de l'arbre en cœur ou bordure d'îlot et taille de l'îlot,
- Réaliser les développements méthodologiques nécessaires à l'acquisition des données en canopée.



Démarches

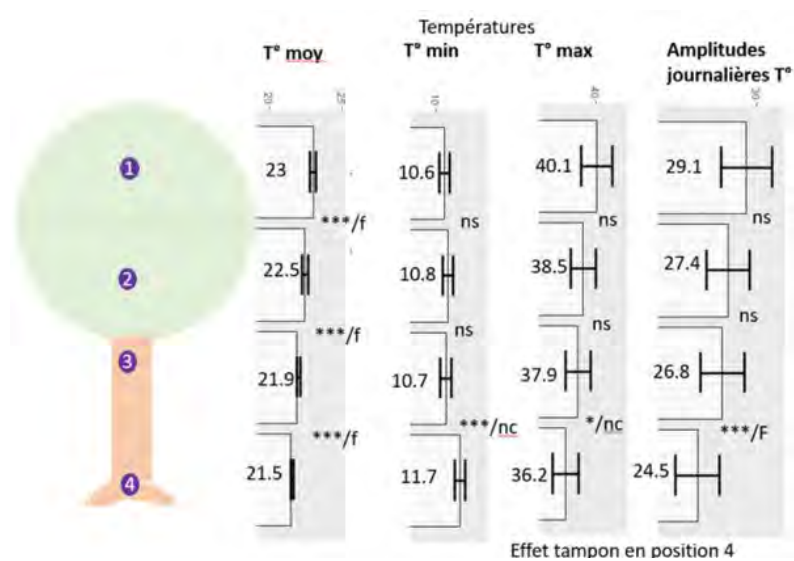
Le projet repose sur 3 questions écologiques et 3 questions méthodologiques.

D'un point de vue écologique, comment les variables micrométéorologiques (température et humidité relative de l'air) et la biodiversité épiphyte (bryophytes, champignons lignicoles) se structurent-elles dans le houppier et sur le tronc, selon que l'on est sur chênes sessiles sains vs. dépérissants (question E1), sur chênes sessiles vs. pédonculés (question E2), sur chênes sessiles en bordure vs. en cœur d'îlot, et selon la taille de l'îlot (question E3) ?

D'un point de vue méthodologique, l'acquisition des données a nécessité le prototypage et le déploiement d'un système de mesure de variables microclimatiques en 8 points de l'arbre sur un double gradient vertical (4 points le long du tronc) et horizontal (4 points dans le houppier, 2 en couronne interne et 2 en couronne externe), autonome pour mesurer et télétransmettre les données sur une année à raison d'une mesure toutes les heures : le prototype DC, système filaire sur le principe du daisy-chaining a été déployé sur tous les arbres échantillonnés (question M1), et comparé sur un des arbres à la solution mPi, sans fil (question M2). Enfin, un test de capteurs automatiques de spores de bryophytes et champignons, potentiellement utile pour des inventaires en canopée, a été réalisé pour preuve de concept (question M3).

Résultats préliminaires

Les données du gradient sanitaire ont été acquises en 2024 sur 6 paires de chênes sains/dépérissants, en peuplements adultes fermés (forêts domaniales de Vierzon et Tronçais). La question E2 sera traitée sur les données bryologiques en base de tronc seulement. Les données sur 20 arbres en cœur ou bordure d'îlots sont en cours d'acquisition (2025-2026) en forêts domaniales de Vierzon, Orléans et Saint-Palais. Les variables micrométéorologiques de 2024 ont été analysées par modèles linéaires généralisés à effets mixtes (effets de la position dans l'arbre, de l'état sanitaire ou de leur interaction), de même que la richesse bryologique (effets seuls ou en interaction de la position, l'état sanitaire, les variables micrométéorologiques). La composition des cortèges de bryophytes a été analysée par Analyse Canonique des Correspondances.



Ces premiers résultats ont été discutés le 3 décembre 2025 en atelier réunissant les partenaires du projet, des gestionnaires forestiers (CNPF, DSF, ONF), d'autres chercheurs d'INRAE (URFM, ISPA, PIAF, LESSEM) ou d'autres instituts (laboratoire EDYSAN - Université de Picardie). Les apports des différentes disciplines ont permis d'identifier des acquis appréciés, des points d'amélioration (design expérimental, formulation des hypothèses ou manière de traiter les données), des manques (variables non prises en compte dans l'échantillonnage), des ressources à mobiliser. De nombreux points restent à étudier pour évaluer en quoi les évolutions climatiques et les dépérissements influencent l'efficacité des pratiques de rétention et identifier les recommandations pratiques les plus adaptées.



PROJET
EXPLORATOIRE

2022-2024

Contacts

Mickaël Hedde

mickael.hedde@inrae.fr

Sophie Gaudriault

sophie.gaudriault@inrae.fr

Mots clés

Agroforesterie

Fonctions

Sol

Réseaux

Disciplines impliquées

Agronomie

Écologie des réseaux d'interactions

Écologie microbienne

Écologie des invertébrés

Écophysiologie des arbres

Fonctions du sol

Microfaune

Macrofaune

Phénologie des plantes

Départements concernés

AGROECOSYSTEM

BAP

SPE

Unités impliquées

UMR Eco&Soils

UE DIASCOPE

UMR DGIMI

UMR PHIM

Inventaire poussé de la biodiversité et des fonctions des sols en agroforesterie

IFOSSA a comparé la biodiversité présente dans un dispositif agroforestier expérimental selon les usages du sol (témoin agricole, témoin forestier et en agroforesterie : linéaire sous arboré et allée cultivée). Il fournit un inventaire de groupes faunistiques présents durant la saison de croissance de la végétation (plusieurs centaines de taxa). Parallèlement, les fonctions du sol (régulation des adventices, des pathogènes, dynamique de la matière organique et stabilité structurale) ont fait l'objet d'une analyse selon ces modalités d'usage du sol.

IFOSSA - Distribution des réseaux d'interactions et des fonctions dans un système spatialement hétérogène, cas de l'agroforesterie

L'agroforesterie définie au sens large par la présence d'arbres dans les paysages agricoles, est un exemple de cultures mixtes qui augmentent la « biodiversité planifiée ». Ces arbres de par leurs structures pérennes permettent la mise en place d'un microclimat qui varie dans le temps, entraînant une modification de la biodiversité associée et l'activité des organismes par diversification des habitats. Cependant, peu de travaux se sont intéressés aux effets de l'agroforesterie sur les organismes du sol et sur les fonctions qu'ils remplissent.

L'hypothèse principale du projet est que la modification de l'organisation spatiale des parcelles par l'implantation d'arbres aboutit à une augmentation de la diversité et de la multifonctionnalité des parcelles agricoles.



© INRAE - UMR Eco&Soils

Démarches

Cette étude a été réalisée sur le Dispositif Instrumenté en Agroforesterie Méditerranéenne sous contrainte hydrique (UE Diascope, Mauguio). Le dispositif expérimental factoriel de 5 ha (3 blocs) compare 3 modalités : plantations forestières (Robinier), système agroforestier et grande culture. Au sein du système agroforestier, plusieurs habitats sont dissociés : (i) le linéaire d'arbres et la bande enherbée à leur pied et (ii) l'allée cultivée. Les cultures (succession de cultures céréales/légumineuses) sont menées en agriculture conventionnelle, à bas niveau d'intrants. Le site instrumenté suit le rayonnement arrivant au sol, la température et l'humidité du sol à différentes profondeurs, la croissance racinaire et les teneurs en nutriments de la solution du sol.

Pour chaque variable mesurée (biodiversité, fonction), soixante valeurs sont obtenues sur le dispositif comprenant les modalités : témoin agricole (C), témoin forestier (F) et en agroforesterie : linéaire sous arboré (AF-LSA) et allée cultivée (AF-C).

Les mesures de biodiversité ont été obtenues par métagénomique de l'ADN environnemental (bactéries, champignons, protistes), extraction (nématodes, arthropodes des sols), piégeage (arthropodes) caméra automatique (mammifères), photographie (pollinisateurs).

La mesure des fonctions a été réalisée par différentes méthodes :

- Régulation biologique des graines d'adventices évaluée par carte de graines ;
- Capacité du sol à supprimer les nématodes phytoparasites par essai de laboratoire ;

- Taux de dégradation de litière de Robinier par une expérience de litterbag ;
- Stabilité de la structure des sols par mesure des macroagrégats du sol après désagrégation à l'eau ;
- Rendements des cultures et croissance des robiniers par des suivis.

Résultats

Sur la biodiversité

L'identification morphologique ou moléculaire a permis de caractériser les communautés d'ingénieurs du sol, de macroarthropodes de surface, de nématodes libres et parasites (phytophages et entomopathogènes), de champignons et de bactéries (libres dans le sol et associés aux nématodes parasites), d'adventices, d'invertébrés aériens phytophages, prédateurs et parasites. Plusieurs centaines de taxa ont été identifiées donnant accès à un inventaire quasi exhaustif des différents taxa et groupes trophiques présentant sur le site durant la saison de croissance de la végétation (certains protocoles ont été réalisés trois fois pendant le printemps).

- **Mammifères et herbivorie** : l'activité-densité des lapins était plus importante en agroforesterie qu'en culture monospécifique.
- **Insectes volants** : la diversité d'invertébrés volants est plus importante en présence d'arbres qu'en zone cultivée. Toutefois, plus d'individus ont été collectés dans les pièges colorés posés en culture monospécifique que dans ceux posés en plantation forestière. Les parcelles d'agroforesterie présentent des valeurs intermédiaires. L'attribution des taxons aux différents groupes trophiques montrent un effet marqué des différents usages, qui change au cours de la saison de végétation.
- **Macrofaune de surface** : la présence d'arbres n'impacte pas l'abondance et la diversité des invertébrés à la surface du sol (ce qui est différent de ce qui est trouvé dans la littérature où un impact positif significatif de l'agroforesterie sur l'abondance et la diversité des organismes du sol, par rapport aux cultures sans arbres a été montré).
- **Nématodes libres** : une plus grande diversité d'herbivores et une plus faible diversité de prédateurs est observée dans la culture monospécifique que dans les autres modalités.

Sur les fonctions des sols

Les réseaux d'interactions ont été reconstruits à l'aide des observations de terrain soit directement comme les interactions bipartites soit inférées en combinant les données de cooccurrence des taxons avec un graphe de connaissances sur les interactions trophiques dans les sols (via des bases de données). L'intensité de la réponse des différents groupes taxonomiques et trophiques est analysée en comparant les valeurs obtenues à celles obtenues dans le témoin agricole et dans le témoin forestier. La réponse de la structure/composition des modules reconstruits est testée face à l'organisation spatiale des placettes agroforestières.

- **Régulation des adventices** : la consommation des graines est la plus forte dans le témoin agricole (~70 %), la plus faible dans le témoin forestier (~30 %). Les communautés de granivores de fin d'hiver (Carabidae sur ce dispositif) sont plus actives dans les parcelles agricoles que dans leur équivalent agroforestier et forestier, probablement par la sélection d'un cortège d'espèces adaptées.
- **Régulation des nématodes phytoparasites** : dans les échantillons prélevés sous couvert végétal, cette capacité de régulation est plus importante que dans les échantillons prélevés dans les cultures monospécifiques.
- **Régulation des insectes** : L'agroforesterie semble avoir un impact positif sur le cycle parasitaire des nématodes entomopathogènes, organismes piliers des réseaux trophiques du sol.
- **Stabilité structurale** : Vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols significativement augmentée dans le linéaire sous arboré en comparaison à l'allée cultivée en agroforesterie, l'allée d'arbres a un effet positif sur le comportement hydrique de la parcelle (corrélé à la teneur en C des sols).

Une thèse soutenue par Biosefair a été associée à ce projet : [SABEMAF](#) - Structuration de l'activité biologique édaphique en lien avec la multifonctionnalité des sols des systèmes agroforestiers en milieu méditerranéen et tropical semi-aride - voir p99

Publications

[Masson, A.-S., Bouton, F., Bellafiore, S., Aribi, J., Marsden, C., Hedde, M., Trap, J. \(2025\) Soil fauna in agroforestry contributes to the suppressiveness to plant-parasitic nematodes: a case study in a Mediterranean area. *Applied Soil Ecology*, 208. pp.105962](#)

[Vion-Guibert, L., Marsden, C., Degruene, F., Forest, M., Henon, N., Masson, A.-S., Notton, D., Orrière, S., Trap J., Verheyde, F., Versavel, C., Vignac, P., Hedde M. \(2026\) Mediterranean alley-cropping agroforestry modifies arthropod temporal dynamics with divergent effects on trophic groups. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 397.](#)



PROJET
EXPLORATOIRE
2023-2025

Contacts

Allan Raffard

allan.raffard@inrae.fr

Mots clés

Diversité intraspécifique

Repeuplement

Cycle des nutriments

Production de biomasse

Évaluation économique

Disciplines impliquées

Écologie évolutive et fonctionnelle

Génétique des populations

Théorie métabolique de l'écologie

Évaluation économique

Chimie environnementale

Gestion et écologie piscicole

Scalimétrie

Départements concernés

[AQUA](#)

[ECODIV](#)

[ECOSOCIO](#)

Unités impliquées

[UMR CARRTEL](#)

[UMR DECOD](#)

[UMR RECOVER](#)

[UMR BETA](#)

Partenaires

[SETE CNRS](#)

[Fédération de pêche de Haute-](#)

[Savoie](#)

[AAPPMA - Anney lac pêche](#)

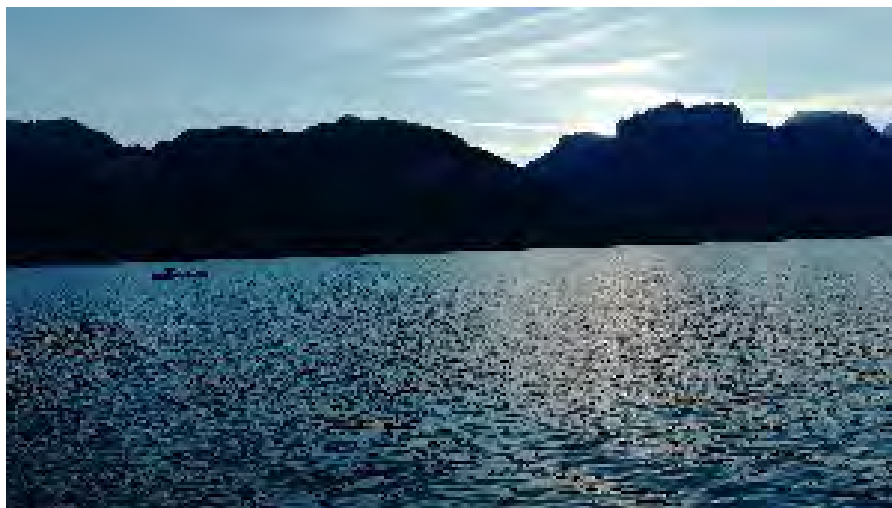
Le repeuplement piscicole a un effet sur la population et le fonctionnement des lacs

iSERV a montré que la population actuelle d'ombles chevaliers du lac d'Annecy repose majoritairement sur l'alevinage. Les résultats suggèrent un impact de l'origine des alevins sur la tolérance à la température. Ils montrent que l'omble modifie la structure des communautés aquatiques avec peu d'effet cependant sur le fonctionnement du lac. Le repeuplement pourrait donc modifier les services écosystémiques du lac. Des conflits potentiels entre usagers sont identifiés quand ils sont interrogés sur la gestion souhaitée du lac. Des conflits potentiels entre usagers sont identifiés quand ils sont interrogés sur la gestion souhaitée du lac.

iSERV - Relation diversité intraspécifique - services écosystémiques : rôle des pratiques de repeuplement piscicole

La diversité intraspécifique joue un rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes. Cependant, elle est fortement affectée par les activités humaines. Par exemple, les poissons d'eau douce sont soumis à la pression du changement climatique, à la pêche, à la pollution et aux pratiques de gestion telles que le repeuplement. Ces espèces soutiennent des services écosystémiques majeurs, comme la production halieutique, la régulation des nutriments et la qualité de l'eau. La modification de leur diversité intraspécifique pourrait donc d'avoir des conséquences écologiques et socio-économiques importantes.

Ce projet s'est intéressé aux effets des pratiques de repeuplement des ombles chevaliers (*Salvelinus umbla*) dans les lacs alpins sur les liens diversité intraspécifique-services écosystémiques. Le repeuplement peut altérer la diversité intraspécifique, affectant indirectement la biomasse des populations de poisson et le cycle des nutriments, des services importants pour la pêche et la qualité de l'eau. Néanmoins, les liens entre pratiques de gestion piscicole et services écosystémiques restent largement inexplorés.



© INRAE - J. Guillard

Démarches

Le projet iSERV était composé de trois volets afin de :

- Lier la diversité intraspécifique issue du repeuplement au cycle des nutriments (service de régulation) aux échelles individuelle et écosystémique avec une approche en mésocosmes ;
- Quantifier *in situ* les effets du repeuplement sur la diversité génétique et la production de biomasse de poisson (service de production) ;
- Quantifier la préférence de la population locale pour des stratégies de conservation de l'omble.

Résultats

Les études menées dans le lac d'Annecy montrent que la population actuelle d'omble chevalier dépend très fortement de l'alevinage, les individus issus de la reproduction naturelle étant très peu abondants. Les poissons provenant de la pisciculture locale et les individus naturels présentaient des structures génétiques, des taux de croissance et des traits phénotypiques très similaires, suggérant une forte proximité entre ces origines. En revanche, les poissons issus de la pisciculture du Léman étaient légèrement différenciés génétiquement, et affichaient une croissance plus élevée. Malgré des intensités d'alevinage contrastées, les individus des deux piscicultures contribuaient de manière comparable à la population, indiquant que l'origine des poissons alevinés peut influencer leur survie et leur contribution à la biomasse totale, un service clé pour la pêche.

Les expérimentations en laboratoire ont mis en évidence des différences fonctionnelles selon l'origine et la date de ponte des poissons, notamment au niveau de la consommation de zooplancton et d'excrétion d'ammonium, avec des réponses thermales contrastées. Ces variations suggèrent que le repeuplement pourrait modifier le cycle des nutriments et le fonctionnement trophique du lac, en particulier dans un contexte de réchauffement climatique.

Enfin, une expérience en mésocosmes a montré que l'omble chevalier influence la structure des communautés aquatiques par des effets top-down sur le zooplancton et que les différences entre origines pouvaient modifier l'abondance de certains taxons présents dans la communauté. Les effets globaux sur le fonctionnement de l'écosystème étaient modérés. Dans l'ensemble, le projet souligne que les pratiques de repeuplement affectent la diversité intraspécifique et, possiblement, les services écosystémiques associés.

Le volet socioéconomique d'iSERV a analysé les préférences du public en matière de gestion des usages récréatifs et des populations piscicoles du lac d'Annecy (via un atelier avec les parties prenantes et une enquête auprès d'environ 1000 personnes). Les résultats mettent en évidence une disposition significative à payer pour un renforcement du contrôle des usages du lac et, en particulier, pour des stratégies de repeuplement reposant sur des ressources génétiques locales. Cependant, pêcheurs et non-pêcheurs expriment des attentes différentes vis-à-vis de la régulation des usages et des stratégies de gestion, ce qui confirme l'existence potentielle de tensions entre catégories d'usagers et souligne l'importance d'intégrer cette diversité de préférences dans les décisions publiques.



PROJET
EXPLORATOIRE

2021-2023

Contacts

Aurélien Jamoneau

aurélien.jamoneau@inrae.fr

Olivier Lepais

olivier.lepais@inrae.fr

Mots clés

Diversité génétique

Diversité taxonomique

Lac

Macrophytes

Gestion

Disciplines impliquées

Bioinformatique

Biologie moléculaire

Écologie des communautés

Génétique des populations

Taxonomie

Départements concernés

AQUA

ECODIV

Unités impliquées

UR EABX

UMR Biogeco

Partenaires

Conservatoire Botanique National

Sud Atlantique

Syndicat de gestion SIAEBVELG :
gestion des lacs de Carcans-Hourtin
et Lacanau et animateur de sites

Natura 2000

Communauté de Communes des

Grands Lacs : animateur de site

Natura 2000

Réserve naturelle nationale de

l'étang Noir : gestionnaire d'espace
protégé

Association Landes Nature :

animateur de site Natura 2000

De nouveaux marqueurs génétiques pour l'identification d'espèces végétales patrimoniales du littoral Aquitain

Pour contribuer à la conservation de 9 espèces végétales patrimoniales de lacs aquitains (Isoetes), ISO-SGDC a mis au point des marqueurs génétiques et un protocole pour les génotyper de façon très précise par séquençage haut-débit. La mise en routine de cette méthode permettra d'obtenir une caractérisation fine de la diversité génétique végétale.

ISO SGDC - Relations entre la diversité génétique et taxonomique des communautés végétales des lacs du littoral Aquitain

Le rôle de la diversité génétique dans le maintien de la diversité des espèces et le fonctionnement des écosystèmes est maintenant reconnu. Face aux changements environnementaux, cette diversité contribue largement à la résilience des écosystèmes comme aux capacités d'adaptation des espèces. Intégrer la diversité génétique au sein des espèces est par conséquent essentiel afin de déployer des actions de gestion et de conservation. Les lacs et étangs du littoral aquitain, écosystèmes uniques à l'échelle nationale et européenne, hébergent une diversité biologique végétale importante aujourd'hui fortement menacée.

Alors que la diversité taxonomique de ces communautés est bien connue, la connaissance de leur diversité génétique est pour l'instant inexistante. Améliorer cette connaissance et analyser les relations entre diversité génétique des espèces au sein d'une communauté et diversité taxonomique des communautés semblent indispensables pour une meilleure gestion de ces écosystèmes, en particulier pour ses espèces patrimoniales.



© INRAE - Aurélien Jamoneau

Démarches

Neuf espèces appartenant aux communautés à « isoétides » de cinq plans d'eau du littoral aquitain ont été échantillonnées : *Lobelia dortmanna*, *Littorella uniflora*, *Baldelia ranunculoides*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Juncus bulbosus*, *Schoenoplectus pungens*, *Eleocharis multicaulis*, *Phragmites australis* et *Chara fragifera*. Au total, plus de 3 000 individus ont ainsi été prélevés sur l'ensemble des plans d'eau au cours du printemps 2022 et 2023. L'identification et le développement d'une centaine de marqueurs génétiques (microsatellites) pour chacune des espèces ont été réalisés.

Résultats

ISO-SGDC a permis la mise au point de marqueurs génétiques et d'un protocole permettant de les génotyper de façon très précise par séquençage haut débit. Un des défis a été de trouver des conditions expérimentales qui s'adaptent à la diversité des espèces végétales étudiées.

L'analyse de la structure génétique des différentes espèces a montré des diversités génétiques variables en fonction des espèces. Globalement, les espèces les plus communes possèdent une diversité génétique plus importante, alors que les espèces rares et menacées présentent une diversité plus faible. Une structuration régionale de la diversité a été mise en avant pour certaines espèces, avec une forte différenciation génétique malgré une proximité géographique. Un patron d'isolement par la distance est identifié pour toutes les espèces, mais d'intensité variable selon les taxons, reflétant des capacités de dispersion contrastées.

L'analyse des corrélations espèces-diversité génétique (SGDC) révèle une dépendance d'échelle marquée pour les huit espèces. Chez *B. ranunculoides* et *S. pungens*, la corrélation est entièrement liée aux facteurs environnementaux (surface lacustre, connectivité hydraulique, couvert naturel). Pour les autres espèces, les résultats suggèrent que processus démographiques locaux et contraintes de dispersion régionales structurent la biodiversité de manière découplée.

Ces résultats démontrent que les processus de limitation de dispersion et de filtrage environnemental agissent conjointement pour structurer la biodiversité des lacs côtiers aquitains. La conservation des habitats d'intérêt communautaire 3 110 nécessite une approche équilibrée combinant gestion locale de la qualité d'habitat et gestion régionale de la connectivité fonctionnelle).

Ce projet bénéficie d'une forte attente de la part des gestionnaires et en particulier du Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique (CBNSA) dans le cadre de l'animation et de la mise en œuvre du plan national d'action sur ces espèces.

Ces travaux s'inscrivent dans la continuité du projet multi-partenarial Vigie-Lacs (<https://www.biodiversite-nouvelle-aquitaine.fr/connaître/enjeux-de-territoire/le-projet-vigie-lacs/>).

Une thèse soutenue par Biosefair a été associée à ce projet : ISOTÉIDES - Diversité génétique et taxonomique des communautés à isoétides des lacs et étangs du littoral aquitain – voir p76

Publication

Debailleul, E-M., Jamoneau, A., Lepais, O. (2026) Genetic diversity of aquatic macrophytes in Aquitaine lakes. *Conservation Genetics*, 27 (1), pp.20



Contacts

Romain Melot

romain.melot@inrae.fr

Guillaume Pain

g.pain@groupe-esa.com

Mots clés

ORE obligations réelles
environnementales

Contrat

Propriété

Foncier

Environnement

Agriculture

Disciplines impliquées

Sociologie

Géographie

Droit

Économie

Écologie

Départements concernés

[ACT](#)

[AGROECOSYSTEM](#)

[ECOSOCIO](#)

Unités impliquées

[UMR SADAPT](#)

[UMR BAGAP](#)

[UMR Innovation](#)

[UMR AGROECOLOGIE](#)

[UMR SMART](#)

[UMR GREDEG](#)

Partenaires

[Fédération des conservatoires
d'espaces naturels](#)

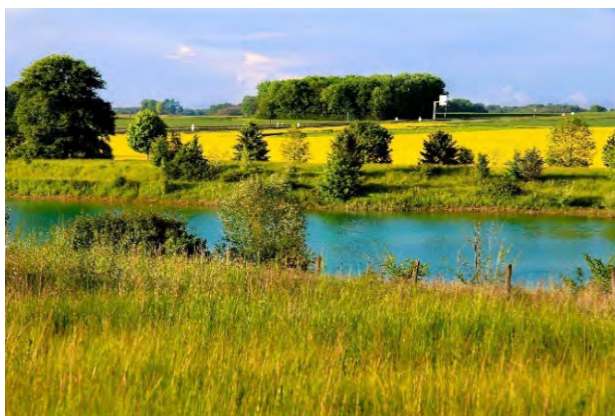
Les obligations réelles environnementales (ORE), un dispositif pertinent de protection de la nature ordinaire ?

LANDEV a montré que les ORE, par leur souplesse, semblent être un outil adapté pour protéger des terrains tout en maintenant une activité agricole, sur le long terme. Cependant, la plupart des opérateurs enquêtés considèrent que le gain écologique des ORE compensatoires est faible. Ce travail montre les limites actuelles des ORE, mais aussi qu'elles contribuent à la diversification des responsabilités et des acteurs, à la coopération et à l'émergence de compétences.

LANDEV - Propriété foncière et contrats environnementaux en agriculture

Face à l'érosion de la biodiversité, les politiques publiques fixent un agenda ambitieux, qu'illustre par exemple en France la stratégie nationale pour la biodiversité. Celle-ci fixe ainsi un axe de protection et de restauration des écosystèmes qui vise à déployer des aires protégées sur 30 % du territoire, incluant 10 % de protection forte. Dans ce contexte, les politiques publiques environnementales se traduisent par des outils de contractualisation de plus en plus diversifiés et sophistiqués, qui ont pour la plupart un impact direct ou indirect sur les droits de propriété foncière qu'il s'agit de documenter empiriquement.

L'objectif de notre projet exploratoire est d'étudier la manière dont la propriété foncière oriente les pratiques contractuelles dans le cadre de ces contrats et de proposer une analyse réflexive sur les clauses et cahiers des charges à visée environnementale dès lors qu'ils impactent les droits du propriétaire, en qualité de gestionnaire principal (propriétaire-exploitant ou propriétaire non agriculteur d'espaces naturels qui ne sont pas valorisés par l'agriculture) ou en qualité de bailleur d'un exploitant. Le projet est en effet parti du constat que les pratiques contractuelles impactant les propriétaires fonciers, publics et surtout privés, sont encore insuffisamment documentées.



© Roben David - Pixabria (libre de droit)

Démarches

Parmi les différents objets contractuels identifiés comme champ d'investigation au moment de la conception du projet de recherche, l'équipe du projet LANDEV s'est concentrée sur l'étude exploratoire des pratiques en matière d'obligations réelles environnementales, en raison de la forte accélération de ces initiatives locales durant les trois dernières années. Les recherches ont porté sur le recensement et l'analyse de cas d'études relatifs aux obligations réelles environnementales, en partenariat avec les organisations particulièrement impliquées dans la gouvernance de ces initiatives contractuelles, en particulier l'Office français de la biodiversité et la fédération des Conservatoires d'espaces naturels. Un objectif pour nous était d'analyser la construction des cahiers des charges et la variabilité des obligations contractuelles recensées au travers d'études de cas en nous intéressant aux présupposés qui guident leur adoption, aux inflexions connues dans le processus de négociation et à leur impact attendu sur les milieux naturels et la multifonctionnalité des paysages. Nous avons comme également pour objectif d'évaluer quelle perception les acteurs concernés avaient de l'outil, dans la perspective d'expliquer son degré d'appropriation et de mobilisation par les parties prenantes.

Dans une perspective de sciences sociales, nous nous sommes intéressés au profil des propriétaires impliqués, à la gouvernance multi-acteurs des montages contractuels et aux caractéristiques géographiques des espaces concernés. Dans une perspective de sciences écologiques, nous avons questionné la nature des engagements contractuels en prenant en compte les types de milieux naturels concernés et les actions de conservation ou de restauration envisagées.

Résultats

Les ORE étudiées contribuent à élargir et diversifier les acteurs impliqués dans la préservation des milieux naturels. Elles permettent, notamment dans certains cas, la mobilisation de propriétaires privés, de notaires, mais aussi d'associations naturalistes.

Un travail mené sur les modalités d'implication des collectivités locales montre que les ORE sont mobilisées dans ce cadre au service de stratégies variées : protéger la biodiversité, mais aussi préserver la qualité et la quantité de la ressource en eau, accompagner le portage foncier de projets agricoles locaux.

Enfin, nous avons analysé l'influence des ORE sur la gouvernance territoriale de la compensation écologique. Nous mettons en évidence le rôle ambivalent de l'outil : porteur d'innovations en matière de durée, de contractualisation et de diversification des acteurs, mais aussi limité par un gain écologique qui reste perçu comme faible par la plupart des opérateurs enquêtés.

L'outil présente certaines limites liées à la capacité des acteurs à s'engager collectivement sur le long terme et à gérer d'éventuelles difficultés : tensions entre parties, disparition d'acteurs, effets du changement climatique ou autres aléas.

Malgré ces limites, ces contrats incitent à la coopération et favorisent parfois l'émergence de nouvelles compétences du côté des propriétaires privés, du secteur associatif ou des collectivités en matière de préservation et de restauration des milieux naturels.



CONSORTIUM

2022-2023

Contacts

Thibault Datry

thibault.datry@inrae.fr

Aliénor Jeliaskov

alienor.jeliaskov@inrae.fr

Mots clés

Métaécosystème

Socio-hydrosystème

Services écosystémiques

Disciplines impliquées

Agroécologie

Écologie des communautés et du paysage

Écologie trophique

Écologie fonctionnelle

Écophysologie

Dynamiques éco-évolutives

Hydrosystèmes continentaux, des lacs, des rivières, des estuaires, des zones hyporhéiques

Modélisation de la biodiversité

Départements concernés

[AGROECOSYSTEM](#)

[AQUA](#)

[ECODIV](#)

[MATHNUM](#)

Unités impliquées

[UR RiverLy](#)

[UR HYCAR](#)

[UR EABX](#)

[UMR CARTEL](#)

[UMR LISAH](#)

[UMR DECOD](#)

[UREP](#)

Partenaires

[IEES-Paris CNRS](#)

[MARBEC](#) Université de Montpellier

[CESCO MNHN](#)

[SETE CNRS](#)

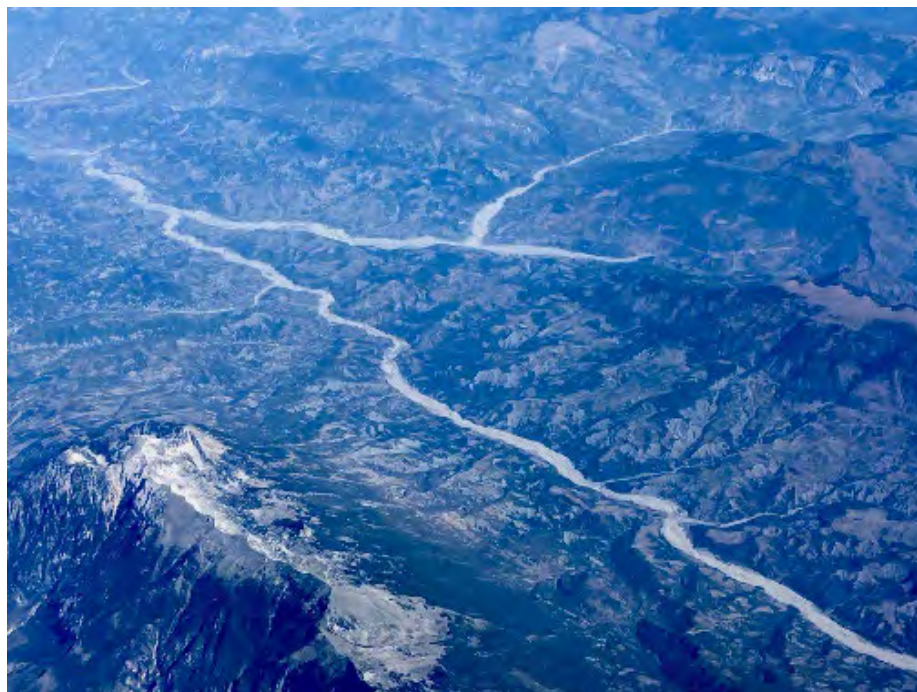
[Université de Floride](#)

Application du concept de métaécosystème aux services rendus par les socio-hydrosystèmes

METAECOSERV a publié un article conceptuel publié dans la revue Bioscience : « Intégration du cadre métaécosystémique à la dynamique des services écosystémiques dans les socio-hydrosystèmes. »

METAECOSERV - Le concept de métacommunautés comme outil pour la compréhension et la gestion des services écosystémiques dans les hydrosystèmes

Les eaux douces, hotspots de biodiversité et supports majeurs de services écosystémiques, sont parmi les écosystèmes les plus menacés sur Terre. Les mesures de gestion de ces écosystèmes ont classiquement été pensées à des échelles locales, en lien avec le concept de niche écologique, sans nécessairement prendre en compte la variabilité paysagère dans les plans d'action, ce qui a souvent limité le succès de ces mesures. Aujourd'hui, notre compréhension de la façon dont la biodiversité et les services écosystémiques sont organisés dans ces environnements dynamiques a considérablement progressé, notamment grâce à l'émergence des concepts de métacommunautés et méta-systèmes, formalisant les processus et dynamiques agissant à différentes échelles spatio-temporelles des communautés et des écosystèmes. Le cadre méta-écosystémique, qui se concentre sur les flux d'organismes, de matière et d'énergie entre les écosystèmes à différentes échelles spatiales et temporelles, offre des outils précieux pour des évaluations écosystémiques plus holistiques. Or, l'apport de ces concepts dans le domaine des services écosystémiques en milieu aquatique n'a pas encore été formalisé, testé ni traduit en outils de gestion.



© Bonada

METAECOSERV a adapté l'apport de la théorie des méta-systèmes et ses corollaires dans la compréhension et la gestion des services écosystémiques supportés par les hydrosystèmes afin de mieux comprendre les liens entre biodiversité et services écosystémiques et leur organisation spatio-temporelle dans les paysages. Ce travail a permis d'identifier des échelles spatiales pertinentes de gestion des hydrosystèmes dans un contexte de changement global. En effet, une meilleure intégration des processus écologiques régionaux impliqués dans l'organisation spatio-temporelle de la biodiversité dans les pratiques de gestion permettra de conserver et restaurer efficacement la biodiversité et les processus écosystémiques associés dans un environnement global changeant en particulier face aux événements extrêmes (inondations, sécheresses, tempêtes) qui altèrent de manière récurrente les connectivités physiques et écologiques des hydrosystèmes.

Résultats

METAECOSERV a rédigé un article conceptuel sur l'intérêt d'étudier les hydrosystèmes dans un cadre méta-écosystémique. Un tel cadre unifié est essentiel pour comprendre comment les services écosystémiques sont influencés par la dynamique spatio-temporelle des organismes, de la matière et de l'énergie, ce qui nous permet de mieux comprendre comment les changements dans une partie du système hydrologique se traduisent par des changements dans d'autres parties. Le cadre proposé aide également à identifier les synergies et les compromis entre les services écosystémiques et l'influence des conditions environnementales. Enfin, ce cadre unifié renforce notre capacité à éclairer la prise de décision, à concevoir des stratégies de gestion adaptative qui tiennent compte de l'évolution des conditions environnementales, en particulier dans le contexte du changement climatique, et à atténuer les inégalités sociales.

Publication

[Truchy, A., Eme, D., Jabot, F., Vinatier, F., Jamoneau, A., Petit, E.J., Villeneuve, B., Carassou, L., Datry, T., Jeliaskov, A. \(2025\). Integrating metaecosystem framework with ecosystem service dynamics in sociohydrosystems. Bioscience, 76, pp238-253](#)



PROJET
EXPLORATOIRE
2023-2025

L'organisation spatiale du système agroforestier influence le cycle de l'azote

Contacts

Simon Boudsocq

simon.boudsocq@inrae.fr

Céline Casenave

celine.casenave@inrae.fr

Mots clés

Agroforesterie

Méta-écosystème

Azote

Spatialisation

Interaction arbre-culture

Disciplines impliquées

Écologie théorique

Modélisation écologique

Modélisation des flux

Modélisation mathématique

Écologie des méta-écosystèmes

Étude de la microfaune, de la macrofaune et des fonctions du sol

Départements concernés

[AGROECOSYSTEM](#)

[ECODIV](#)

[MATHNUM](#)

Unités impliquées

[UMR Eco&Sols](#)

[UMR MISTEA](#)

[UMR ABSys](#)

Partenaire

[IEES Paris](#)

Un modèle de type méta-écosystème a été développé pour étudier les flux d'azote en système agroforestier (SAF). Son application sur le site expérimental DIAMS a montré que l'organisation spatiale du SAF, en interaction avec les pratiques agricoles, structure fortement la distribution des stocks et flux d'azote entre sous-unités paysagères, avec des conséquences sur la production végétale et la capacité du système à limiter les pertes d'azote par lixiviation.

METAGROFORESTRY – La gestion et l'agencement spatial des systèmes agroforestiers comme leviers du recyclage de l'azote : une approche par modélisation de type méta-écosystème

Les systèmes agroforestiers (SAF) associent arbres, cultures et/ou pâturages afin d'optimiser la production agricole tout en améliorant la fourniture de services écosystémiques. Leur fonctionnement repose sur des interactions complexes entre sous-unités végétales et pédologiques, dont l'intensité dépend étroitement de l'organisation spatiale du système et des pratiques agricoles associées. Parmi les processus clés gouvernant ces interactions, le cycle de l'azote joue un rôle central dans la productivité végétale, la fertilité des sols et la durabilité des SAF.

Ce projet s'est appuyé sur l'hypothèse que l'agencement spatial des sous-unités d'un SAF, combiné aux pratiques de gestion, constitue un levier majeur pour influencer les flux, la distribution et la conservation de l'azote au sein du système, via des mécanismes de complémentarité et de transfert entre sous-unités. L'objectif principal était de développer un cadre de modélisation permettant d'analyser conjointement les effets de l'organisation spatiale et des pratiques agricoles sur la dynamique de l'azote, et d'en évaluer les conséquences sur la production végétale et la fertilité du système.



© INRAE

Démarches

Pour atteindre cet objectif, le projet a mobilisé une approche de modélisation fondée sur le concept de méta-écosystème, représentant explicitement les différentes sous-unités constitutives d'un SAF (arbres, cultures, couverts herbacés) et les flux d'azote qui les relient. Le SAF est ainsi décrit comme un ensemble d'écosystèmes interconnectés par des flux de matière, dont l'intensité dépend à la fois de la configuration spatiale et des pratiques de gestion.

Un modèle mathématique dynamique, basé sur un système d'équations différentielles, a été construit pour décrire les stocks et flux d'azote au sein de chaque sous-unité et entre sous-unités. Les paramètres spatiaux du modèle correspondent aux surfaces relatives des sous-unités et à leurs zones de chevauchement fonctionnel, définies par la distribution spatiale des chutes de litière arborée et par la répartition horizontale et verticale des systèmes racinaires des arbres. Ces chevauchements conditionnent l'intensité des transferts d'azote entre sous-unités, notamment via les apports de litière et la compétition pour l'acquisition des ressources du sol.

Le modèle intègre également la présence de racines arborées en profondeur, permettant de représenter un effet de « safety net », par lequel les arbres peuvent capter l'azote soumis à la lixiviation vers les horizons profonds et contribuer à sa redistribution vers les couches superficielles via la litière. Les pratiques agricoles (semis, récoltes, fertilisation, gestion des résidus, taille des arbres) sont intégrées sous forme de perturbations des stocks et des flux, afin de représenter le caractère géré et temporellement structuré des SAF.

Le modèle a été appliqué à un système agroforestier méditerranéen étudié sur le site expérimental instrumenté DIAMs (Mauguio). Sa paramétrisation s'est appuyée sur des données existantes, complétées par de nouvelles mesures de terrain portant sur les teneurs en azote de différentes biomasses végétales des sous-unités du système. Ces mesures ont permis de renseigner les teneurs en azote des différentes composantes végétales du système et d'en intégrer les ordres de grandeur dans le modèle.

Résultats

Les résultats montrent que l'organisation spatiale du SAF, en interaction avec les pratiques agricoles, structure fortement la distribution des stocks et flux d'azote entre sous-unités, avec des conséquences sur la production végétale et la capacité du système à limiter les pertes d'azote par lixiviation. Au-delà du cas étudié, le projet fournit un cadre de modélisation générique et transférable, permettant d'explorer des scénarios de gestion et de spatialisation des SAF, et contribuant à une meilleure compréhension du fonctionnement biogéochimique de ces agroécosystèmes complexes.



PROJET
EXPLORATOIRE

2022-2024

Contacts

Nicolas Creusot

nicolas.creusot@inrae.fr

Olivier Lepais

olivier.lepais@inrae.fr

Mots clés

Communautés microbiennes
aquatiques
Métabolisme
Biodiversité microbienne
Fonctions écosystémiques
Écotoxicologie

Disciplines impliquées

Analyse de la composition algale
Analyse des lipides
Analyses statistiques multi-omiques
Mesures physico-chimiques
Métabolisme
Métagénomique

Départements concernés

AQUA

ECODIV

Unités impliquées

UR EABX

UMR Biogeco

L'activité de photosynthèse des biofilms microbiens aquatiques soumis à un stress chimique diffère dans le temps

La combinaison d'analyses métagénomiques et métabolomiques déployées dans MICROBIOMIQ ont caractérisé des biofilms microbiens aquatiques en termes de biodiversité, de fonction, de variation au cours du temps et de réponse au stress chimique (pollution par un herbicide). Les méta-données collectées pourront ultérieurement supporter le développement d'outils de gestion pour la biosurveillance de la qualité des eaux.

MICROBIOMIQ - Approches multi-omiques pour la caractérisation du lien entre biodiversité structurelle et l'activité microbienne dans l'évolution naturelle du périphyton

Les communautés microbiennes périphytiques aquatiques sont des assemblages complexes de micro-organismes (algues, bactéries, champignons, cyanobactéries, protozoaires) qui constituent des biofilms plus ou moins attachés à des surfaces immergées (inertes ou vivantes) dans la plupart des écosystèmes aquatiques. Ces communautés jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes et le maintien des services écosystémiques (e.g. production primaire, cycles biogéochimiques).



© Motte

Dans le contexte des changements globaux, un des enjeux majeurs pour la santé environnementale et humaine est de mieux comprendre la réponse de ces communautés à ces multiples pressions en termes d'acclimatation, d'adaptation et de résilience afin de pouvoir préserver les fonctions/services écosystémiques associés. En particulier, face à la contamination chimique de ces écosystèmes, l'un des défis actuels est d'arriver à déterminer comment les fluctuations « naturelles » de la biodiversité structurelle et le fonctionnement microbien liés aux conditions environnementales modulent la réponse au stress chimique de ces communautés.

Les nouvelles méthodes d'analyse dites « omiques » et leur combinaison ouvrent de nouvelles perspectives en éco(toxico)logie microbienne pour répondre à ces déficits de connaissance. Les « omiques » comprennent par exemple :

- la métagénomique non ciblée qui permet d'explorer de manière simultanée la diversité en espèces d'une communauté et son potentiel fonctionnel (i.e. réservoir de gènes) ;
- la métabolomique « non-ciblée » qui permet de donner une vision globale de l'activité microbienne en réponse à l'environnement (elle analyse tous les produits intermédiaires produits dans un échantillon biologique).

MICROBIOMIQ avait pour objectif de mieux comprendre le lien entre l'activité microbienne (i.e. métabolome), la biodiversité structurelle (diversité des espèces et des gènes via la métagénomique) et la sensibilité au stress chimique de biofilms périphytiques en lien avec les changements « naturels » dans la composition et le fonctionnement de ces communautés dépendantes des conditions environnementales. En mettant en œuvre une approche combinant métagénomique et métabolomique sur ces biofilms le projet se focalise sur la modulation de la photosynthèse qui est une fonction clef portée par ces communautés et qui est fortement impliquée dans les cycles biogéochimiques et la production primaire.

Plus spécifiquement MICROBIOMIQ vise à répondre aux questions suivantes :

- Q1. Quel est le lien entre les changements temporels de biodiversité, d'activité microbienne et de fonction photosynthétique au sein de communautés périphytiques aquatiques en condition naturelle ?
- Q2. Quelle est la conséquence de ces changements naturels sur la sensibilité de ces communautés au stress chimique ?
- Q3. Quel est le lien entre les changements structuraux et fonctionnels dans la modulation de l'activité photosynthétique par la pression chimique en conditions contrôlées ?

Démarches

MICROBIOMIQ couple des investigations *in situ* (suivi longitudinal sur 15 mois - 1 mesure par mois dans un étang) et des expérimentations au laboratoire (expositions aiguës mensuelles) basées sur une approche pluri-disciplinaire combinant la métagénomique, la méta-métabolomique, la mesure d'activité photosynthétique et la caractérisation physico-chimique des milieux. La combinaison de ces méthodes permet d'appréhender de manière novatrice et précise les interrelations entre les changements dans les facteurs environnementaux, la diversité taxonomique, l'activité microbienne et la fonction photosynthétique ainsi que leur sensibilité à la pression chimique en conditions naturelles et contrôlées, en s'appuyant sur des approches bio-informatiques.

Les prélèvements *in situ* ont mesuré la structure taxonomique, l'activité microbienne, la photosynthèse du périphyton en parallèle du suivi de la physico-chimie de l'eau et des conditions météorologiques.

Mensuellement, une partie du périphyton collecté a été exposé à un herbicide modèle (la terbuthylazine) pendant 4 h afin de déterminer le niveau de sensibilité de la communauté au niveau moléculaire/biochimique (métabolomique) et au niveau physiologique/fonctionnel (rendement photosynthétique).

Une exposition de 4 semaines a été réalisée en canaux avec du périphyton collecté dans le même étang. La structure taxonomique, l'activité microbienne, l'activité photosynthétique du périphyton ont été mesurées au temps initial puis après 24 h, 72 h, 1, 2, 3 et 4 semaines en parallèle du suivi de la physico-chimie de l'eau.

Résultats

Aucune corrélation n'a été mise en évidence entre la diversité taxonomique et la diversité métabolique, témoignant d'un certain asynchronisme entre la biodiversité structurelle et la biodiversité fonctionnelle (Q1). En revanche, la diversité alpha taxonomique s'est révélée être corrélée aux variations de température : la diversité de tous les taxons (présence/absence) diminue avec la température, celle des taxons typiques et dominants augmente avec la température. Le rôle prépondérant de la température dans la structuration taxonomique est mis en évidence tandis que l'activité microbienne semble être influencée par davantage de facteurs, en particulier les nutriments (SO₄, NO₃) (Q1).

En parallèle de cette dynamique de la structure et du fonctionnement de la communauté, un changement de la sensibilité a été observé à l'échelle du métabolome tandis que la sensibilité de la fonction photosynthétique était relativement stable (Q2).

MICROBIOMIQ met en évidence une forte hétérogénéité dans la réponse du métabolome à la terbuthylazine en termes de nombre de métabolites, de profils de réponse et de classes de métabolites suggérant que les voies de toxicité pourraient varier dans le temps. Ces résultats suggèrent que des réponses physiologiques similaires peuvent provenir de diverses voies moléculaires.

Les résultats du projet améliorent notre compréhension du lien entre les changements naturels de la biodiversité microbienne et le fonctionnement des communautés aquatiques périphytiques ainsi que leur sensibilité à la pression chimique. Ces nouvelles connaissances sont un préalable indispensable à l'établissement de modèle permettant de prédire, dans le contexte des changements globaux, l'évolution des fonctions écosystémiques et des services associés à partir de la mesure de descripteurs de biodiversité (eDNA) et/ou de descripteurs métabolomiques. Ainsi, l'ensemble des méta-données collectées dans ce projet pourront ultérieurement supporter le développement d'outils de gestion dans le cadre d'approche de biosurveillance de la qualité des eaux.

Une thèse associée au projet a été réalisée par [Arthur Medina](#) (soutenue en décembre 2024) – Décryptage métabolomique de la relation pression chimique agricole / impact sur la photosynthèse au sein de biofilms dulcicoles

Publication

[Medina, A., Eon, M., Mazzella, N., Bonnineau, C., Millan-Navarro, D., Moreira, A., Morin, S., Creusot, N. \(2024\). Sensitivity shift of the meta-metabolome and photosynthesis to the chemical stress in periphyton between months along one year and a half period: Case study of a terbuthylazine exposure. Science of the Total Environment, 957, pp177681](#)



Un nouveau modèle pour améliorer la simulation des flux de carbone (C) et d'azote (N) et mieux synchroniser l'offre et la demande en nutriments dans les agroécosystèmes

Contacts

Gianni Bellocchi

gianni.bellocchi@inrae.fr

Sébastien Fontaine

sebastien.fontaine@inrae.fr

Mots clés

Agrosystèmes durables

Biodiversité microbienne et végétale

Couverts multi-spécifiques

Flux et synchronisation

Modélisation

Disciplines impliquées

Écologie

Agronomie

Mathématiques appliquées

Départements concernés

ACT

AGROECOSYSTEM

ECODIV

Unités impliquées

UREP

UMR SADAPT

UMR EMMAH

UR P3F

Partenaires

CREA Research Centre for

Agriculture and Environment, Italy

CREA Research Centre for Animal

Production and Aquaculture, Italy

LIEC - CNRS

VetAgroSup Campus Agronomique

de Clermont-Ferrand

Un prototype de modèle a été développé pour étudier les flux d'azote et de carbone, ainsi que le rôle de la biodiversité végétale et microbienne dans des agrosystèmes multi-spécifiques. Ce modèle comprend un module dédié aux légumineuses simulant la fixation biologique de l'azote en fonction des facteurs environnementaux et ses effets sur la croissance.

MODIMIV - Modélisation des relations entre la diversité microbienne et végétale dans les agroécosystèmes multi-spécifiques

Le projet MODIMIV vise à modéliser les relations entre diversité microbienne et végétale dans les agroécosystèmes multi-spécifiques, notamment les prairies, afin d'améliorer la simulation des flux de carbone (C) et d'azote (N) et de mieux synchroniser l'offre et la demande en nutriments. L'objectif initial était de dépasser les limites des modèles existants, qui intègrent souvent la biodiversité de manière implicite ou simplifiée, en développant des simulateurs explicites et dynamiques capables de représenter les interactions biotiques.

Les hypothèses centrales posent que les interactions entre diversité végétale (ex. graminées et légumineuses) et diversité microbienne du sol jouent un rôle déterminant dans la régulation des cycles biogéochimiques. Les prairies, qui couvrent environ 40 % de la surface terrestre, peuvent agir comme puits ou sources de carbone. Des processus tels que la fixation biologique de l'azote via la symbiose légumineuses-rhizobactéries ou les dynamiques racinaires influençant la décomposition de la matière organique contribuent à une meilleure synchronisation nutritive, réduisant les pertes et améliorant la productivité.



Démarches

La démarche méthodologique repose sur le couplage de modèles existants : ModVege pour la croissance végétale, CoSMo pour la dynamique des espèces végétales et SYMPHONY pour la microbiologie du sol. Plusieurs stages de niveau M2 ont permis de développer des modules spécifiques :

- Intégration de la fixation d'azote par les légumineuses, basée sur des traits fonctionnels comme la surface foliaire spécifique et la durée de vie des feuilles ;
- Ajout d'un compartiment racinaire pour simuler les flux d'exsudats et la mortalité racinaire, avec ajustements du ratio C/N ;
- Analyse de la distribution des traits fonctionnels à différentes échelles spatiales utilisant la base de données DRY.

Les travaux s'appuient sur des simulations numériques, des revues bibliographiques et des données issues d'expérimentations de terrain, notamment les dispositifs UREP sur des couverts végétaux innovants tels que les agroprairies.

Résultats

Les principaux résultats incluent un prototype de modèle intégré de la dynamique racinaire, permettant de simuler de nouveaux flux, par exemple le gain de croissance attribuable à la fixation biologique de l'azote. L'analyse des traits fonctionnels met en évidence une variabilité intraspécifique influençant la diversité fonctionnelle à des échelles allant du mètre carré aux écorégions, avec des covariations structurées par les gradients d'aridité.

Enfin, un article de positionnement (Rodríguez et al., en cours d'évaluation) compile plus de 300 références et un glossaire de 40 termes. Il propose une feuille de route pour intégrer la biodiversité microbienne et végétale dans les modèles biogéochimiques.

La thèse MODIMIR soutenue par Biosefair poursuit ces travaux : Modélisation des effets de la diversité microbienne sur la régulation des cycles du carbone et des nutriments dans les agroécosystèmes – voir p96



Contacts

Luc Barbaro

luc.barbaro@inrae.fr

Audrey Alignier

audrey.alignier@inrae.fr

Mots clés

Biodiversité
Écoacoustique
Hétérogénéité
Paysage sonore
Prairie permanente

Disciplines impliquées

Agroécologie
Biodiversité
Écoacoustique
Écologie du paysage
Entomologie
Géomatique
Ornithologie

Départements concernés

ECODIV
ACT
PHASE

Unités impliquées

UMR DYNAFOR
UMR BAGAP
UE Saint-Laurent-de-la-Prée
UE 3P

Partenaires

Laboratoire LADYSS CNRS
SETE Moulis CNRS Université de
Toulouse
University of Stirling, Royaume Uni,
Écosse
ISPRA, Italie

La diversité acoustique enregistrée est reliée à la naturalité des paysages

PARMENIDE montre que le niveau de naturalité du paysage favorise la diversité acoustique. En particulier, les mosaïques paysagères peu fragmentées et avec une forte proportion de prairies permanentes ainsi que les paysages tendant vers l'extensification des pratiques de gestion (notamment agriculture biologique) favorisent très clairement la biophonie.

PARMENIDE - Paysages ruraux en mosaïque et nouveaux indicateurs de biodiversité écoacoustique

Les paysages ruraux tempérés se sont profondément transformés depuis l'après-guerre sous l'effet cumulé des changements climatique et d'usage des sols. Pour mieux quantifier les dynamiques socio-écologiques à l'origine de ces changements, il est nécessaire d'utiliser des métriques intégratives rendant compte de la complexité des relations entre pratiques agricoles, hétérogénéité du paysage et biodiversité. La dimension sonore de la biodiversité a fait l'objet d'avancées conceptuelles et méthodologiques importantes avec l'émergence depuis une dizaine d'années de l'écoacoustique des paysages et l'utilisation de métriques de diversité acoustique permettant de quantifier simultanément les sons d'origine biologique (biophonie) et anthropique (anthropophonie). Dans le projet PARMENIDE, nous avons testé l'hypothèse que la diversité acoustique des paysages ruraux est favorisée par l'hétérogénéité de composition et de configuration des mosaïques paysagères et les systèmes de production tendant vers l'extensification des pratiques de gestion (notamment agriculture biologique).



© INRAE - Luc Barbaro

Démarches

Pour tester cette hypothèse, nous avons mobilisé un réseau de paysages-ateliers en France issus des réseaux de sites INRAE (Sebiopag, UREP, UE St Laurent de la Prée), CNRS (Zones Ateliers Armorique, Arc Jurassien et Pyrénées-Garonne) et Parcs Naturels Régionaux (Baronnies Provençales, Pyrénées Ariégeoises). En articulant des approches issues de l'écoacoustique et de l'écologie du paysage, nous avons testé l'effet de la proportion de différents types de couverts (biologiques ou non, pérennes ou non) dans le paysage sur des indices de diversité acoustique, ainsi que l'effet du degré de naturalité du paysage environnant à des échelles spatiales multiples allant jusqu'à 1 km autour des capteurs.

Résultats

Au niveau national, nos résultats montrent que l'hétérogénéité du paysage et l'extensification des pratiques à large échelle sont des facteurs clés de la diversité acoustique. En particulier, la quantité de prairies permanentes, la quantité d'agriculture biologique dans le paysage et le degré de naturalité favorisent la biophonie, tandis que la techno-anthropophonie domine dans les paysages ruraux les plus fragmentés.

Au niveau régional, on voit que les effets du type d'agriculture biologique et de l'hétérogénéité du paysage peuvent varier en fonction de la composition locale des communautés d'oiseaux mesurée par la complexité acoustique des chorus, en réponse à des pratiques agricoles issues des filières de production localement dominantes dans le paysage.

Ces résultats ouvrent des perspectives nouvelles pour l'étude de la diversité acoustique des paysages ruraux en mosaïque au sein desquels la multiplicité des sources de sons rend leur analyse à la fois complexe mais aussi intégratrice des dynamiques socio-écologiques.

Les perspectives du projet PARMENIDE sont actuellement explorées dans le cadre du projet Biosefair qui lui a succédé, [FARMSOUND](#) (p84), dans lequel nous élargissons les métriques de réponse à celles issues des communautés acoustiques d'oiseaux identifiées par apprentissage profond (BirdNET) et les variables géomatiques à celles décrivant les paysages historiques avant et juste après le remembrement agricole d'après-guerre.

Ces deux approches permettent de plus d'élargir notablement la dimension interdisciplinaire des recherches entamées dans PARMENIDE en accentuant la mise en commun de concepts et de méthodes issues de la géomatique et de l'intelligence artificielle avec celles déjà mobilisées issues de l'écologie du paysage, de l'écoacoustique et de l'agroécologie.

Publication

[Barbaro, L., Sourdril, A., Froidevaux, J., Cauchoix, M., Calatayud, F., Deconchat, M., Gasc, A. \(2022\) Linking acoustic diversity to compositional and configurational heterogeneity in mosaic landscapes. *Landscape Ecology*, 37 \(4\), pp.1125-1143](#)



PROJET
EXPLORATOIRE

2022-2024

Contacts

Jacques Lasseur
Émilie Crouzat

Emilie.crouzat@inrae.fr

Nathalie Couix

nathalie.couix@inrae.fr

Mots clés

Interdisciplinarité

Modélisation

Participation

Multifonctionnalité

Sociologie

Services écosystémiques

Pastoralisme

Disciplines impliquées

Écologie

Économie

Géomatique

Informatique

Pastoralisme

Sciences des organisations

Zootecnie

Départements concernés

ACT

Unités impliquées

UMR SELMET

UMR LESSEM

UMR MoISA

Partenaires

Laboratoire Sens (Savoirs,
environnement et société) Cirad

Modélisation, sociologie

Un écosystème pastoral mieux connu des différents acteurs et de nouveaux outils de gestion collective

PASTOFUTUR a identifié les acteurs et interactions liés aux activités pastorales, a caractérisé le multiusage sur les espaces mobilisés. Il a mis en avant les actions favorables à leur gestion collective et a développé des outils d'accompagnement à la démarche collective.

PASTOFUTUR - Analyser l'élevage pastoral au prisme de ses multifonctionnalités et services écosystémiques associés pour renforcer l'action publique

L'activité pastorale est aujourd'hui au cœur de questionnements quant à ses formes futures, à son inscription au sein des territoires et à sa place dans les socio-écosystèmes. Cela est particulièrement le cas dans les régions de montagnes méditerranéennes qui au cours des dernières décennies ont basculé vers une économie résidentielle et touristique et sont confrontées à une forte expansion forestière et aux effets du changement climatique.

Les activités pastorales s'exercent sur des espaces le plus souvent objets de multiples usages. Elles doivent composer avec des injonctions qui peuvent s'avérer contradictoires : maintenir une production de biens alimentaires, contribuer à la conservation d'espèces et de milieux emblématiques, à la gestion de risques naturels ainsi qu'à la maîtrise des dynamiques paysagères et d'occupation des sols sur des territoires à l'interface entre espaces agricoles, pelouses et milieux forestiers. Le tout dans un contexte de changement climatique auquel elles doivent faire face.

Démarches

Le collectif de chercheurs INRAE et Cirad a conduit une recherche participative sur le territoire de la Communauté de Communes Alpes – Provence – Verdon pour aider à l'identification d'actions en faveur d'une inscription pérenne des activités pastorales au sein du territoire en articulation avec les autres activités présentes.

Cette recherche a alterné des entretiens particuliers avec des acteurs, institutions et collectifs concernés par le futur de l'élevage pastoral dans le territoire et des ateliers, mobilisant une large gamme d'acteurs concernés par le multiusage impliquant des activités pastorales et permettant d'initier la co-construction de solution facilitant ce multiusage.



© Lucile Garçon

Résultats

Les résultats principaux acquis durant PASTOFUTUR s'organisent autour des dimensions suivantes :

Identifier les acteurs et interactions à enjeu autour des activités d'élevage pastoral

Identifier, décrire et analyser des modalités d'interactions structurantes entre pastoralisme et une diversité d'actants humains et non humains, exprimées par les acteurs de l'élevage lors d'entretiens individuels, fait ressortir des visions différentes du métier d'éleveur ou de berger. À titre d'illustration, deux « modes » contrastés permettent de décrire à grands traits la diversité des postures incarnées par les éleveurs vis-à-vis de la prédation par le loup.

Des ateliers à destination des éleveurs et bergers du territoire ont permis de valider, hiérarchiser et qualifier ces interactions du point de vue des acteurs de l'élevage. Des points de convergence apparaissent, comme la difficulté partagée à pâturer en forêt, mais une diversité de points de vue est exprimée sur d'autres thèmes. Par exemple, la relation à la flore protégée est exprimée de manière positive par certains quand d'autres y voient une contrainte complexe à intégrer dans la gestion du troupeau.

Caractériser le multiusage sur des espaces mobilisés par les activités pastorales

Deux zooms thématiques ont permis de caractériser des compromis ou modalités d'articulation entre activités pastorales et autres activités, sur des espaces sylvopastoraux et sur des estives fréquentées par des pratiquants d'activités touristiques et récréatives.

Espaces sylvopastoraux : support de pastoralisme et de sylviculture

Les attentes exprimées par les acteurs vis-à-vis des milieux sylvopastoraux sont diverses, chacun priorisant des services écosystémiques spécifiques. Cependant un intérêt partagé pour l'esthétique du paysage pourrait être une porte d'entrée intéressante pour un travail collaboratif futur. Certains leviers pour une meilleure articulation du multiusage (ex. outils de gestion mutualisée du foncier, soutiens financiers aux opérations de broyage des rémanents ...), intégrant également les enjeux de biodiversité (ex. accords préalables sur les calendriers de pâturage, phasage de travaux ...) ont été identifiés.

Estives : cohabitation élevage et activités touristiques et récréatives

Des entretiens et un atelier participatif font ressortir un constat de profonde crise du socio-écosystème local centré sur la mise en œuvre des mesures de protection des troupeaux associées au retour du loup. Les rapports entre acteurs du territoire semblent modifiés en profondeur, s'accompagnant d'une remise en cause de métiers et d'activités historiques et impactant l'identité collective perçue du territoire.

Identifier les modalités d'action favorables à la gestion collective des milieux

Lors d'ateliers collectif deux pistes ont émergé i) la volonté de construction d'une image réaliste et attractive du territoire, intégrant mieux les activités en place et communiquant mieux vers un public touristique externe au territoire ; ii) la nécessité de mieux partager l'espace. Ainsi expliquer les raisons des pratiques et règles mises en place, pourrait favoriser leur acceptation et leur respect et donc possiblement susciter des comportements plus adaptés de la part d'une multiplicité d'acteurs.

Développer des outils d'accompagnement à la démarche collective

Un prototype de modèle de multiusage a été développé et permet de visualiser les intersections spatiales entre activités. Ceci ouvre la possibilité à moyen terme de disposer d'un outil d'animation autour de la discussion des règles de mise en œuvre des pratiques et de leur lien aux évolutions du paysage.



PROJET
EXPLORATOIRE

2021-2023

Contacts

Frédéric Joly

frederic.joly@inrae.fr

Nicolas Gross

nicolas.gross@inrae.fr

Mots clés

Changement climatique

Mitigation

Aléas

Métriques de biodiversité

« Climate Adaptation Service »

Disciplines impliquées

Agroécologie

Botanique

Écologie des communautés

végétales

Économie de l'élevage

Zootecnie

Départements concernés

ECODIV

ECOSOCIO

PHASE

Unités impliquées

UREP

UMR HERBIVORE

Partenaires

Conservatoire Botanique du Massif
Central

Raisonner la fertilisation pour préserver la richesse spécifique et la multifonctionnalité prairiale en contexte d'augmentation des températures

Par modélisation statistique, PRABIES a montré l'existence d'interactions complexes entre pratiques (fertilisation, densité d'animaux par unité de surface), température et biodiversité, qui impactent la fourniture de bouquets de services (approvisionnement, régulation et culturel). Il a aussi montré que les stratégies d'adaptation au changement climatique des éleveurs modulaient le maintien des prairies ou leur conversion en cultures fourragères ou prairies temporaires.

PRABIES - Comment les pratiques d'élevage « transforment » la biodiversité prairiale en bouquets de services écosystémiques

Comprendre le lien entre la biodiversité et le niveau de fourniture des services écosystémiques est complexe. Cette relation n'est ni linéaire ni unidirectionnelle et peut être influencée par des facteurs climatiques. Nous avons étudié cette relation à l'aide de modèles statistiques adaptés, dans un contexte prairial.

Démarches

PRABIES visait à décrire l'impact des pratiques d'adaptation au changement climatique sur la fourniture de services écosystémiques (SE) en milieu prairial afin de comprendre si les pratiques d'adaptation allaient affecter positivement ou négativement la biodiversité et les services qui en découlent.

PRABIES a permis de décrire les interactions complexes entre tous ces facteurs en interactions, via la mise en place de « structural equation modelling » (SEM), un outil statistique permettant d'évaluer la force et la significativité de variables en interaction directes et indirectes.

Cet outil a été appliqué à un jeu de données de 100 parcelles de prairies permanentes dans le Massif Central selon un gradient d'altitude et de latitude comprenant des données de gestion et des proxies de services écosystémiques de trois types (approvisionnement, régulation et culturel).

PRABIES a également permis de recueillir par entretien les stratégies de 15 éleveurs laitiers du Massif Central. Ces entretiens ont décrit le rôle des prairies permanentes dans le système d'alimentation des troupeaux et leur gestion, et notamment leur fertilisation. Ils ont par ailleurs permis de caractériser des exploitations où plus de 75 % de l'assolement comprenait des cultures fourragères. Dans certaines de ces exploitations, les éleveurs se sentaient prêts pour affronter un nouveau climat.



Résultats

Effets directs du changement climatique sur les prairies permanentes

La SEM a montré qu'avec une température moyenne de 6,7 °C, la multifonctionnalité était proportionnelle à la fertilisation alors qu'à une température moyenne de 12,2 °C, la relation entre multifonctionnalité et fertilisation avait la forme d'une courbe en cloche. Cette courbe indique qu'à 12,2 °C la multifonctionnalité présente un pic à 70 kg de N à l'hectare. Ces patrons s'expliquent par le fait que la multifonctionnalité est positivement corrélée à la biodiversité et que cette dernière est plus ou moins favorisée par la fertilisation en fonction de la température.

Stratégie d'adaptation au changement climatique des éleveurs

Les stratégies d'adaptation modulent :

- Le maintien des prairies permanentes chez les éleveurs qui les perçoivent positivement, dans un climat peu sec ou froid ;
- La conversion en cultures fourragères ou prairies temporaires des prairies permanentes chez les éleveurs qui les perçoivent négativement, dans un climat chaud et sec.

Les stratégies d'adaptation ne modulent pas le niveau de fertilisation.

Évolution de la multifonctionnalité résultant d'une élévation de température

La simulation de l'évolution de la multifonctionnalité résultant d'une élévation de température de 1,5 °C, au sein d'un échantillon de prairies permanentes représentatives des systèmes fourragers montre que :

- La dégradation et la conversion des prairies permanentes ne touchent pas les mêmes systèmes ;
- Certains systèmes limitent les deux phénomènes, mais en achetant plus de fourrages et de concentrés par unité gros bovins (UGB) et en vendant moins de lait par unité de surface (ha) que les autres.

Une thèse associée au projet a été réalisée par [Lucie Allart](#) (soutenue en juin 2024) – Maintien de la multifonctionnalité des prairies permanentes et adaptation des systèmes fourragers au changement climatique dans le Massif central

Publications

[Allart, L., Dumont, B., Joly, F., Mosnier, C., Alvarez, G., Galliot, J.-N., Luna, D., Pottier, J., Gross, N. \(2024\). Species richness: A pivotal factor mediating the effects of land use intensification and climate on grassland multifunctionality. *Journal of Applied Ecology*, 61\(5\), pp.1053-1066](#)

[Dumont, B., Carrère, P., Farruggia, A., Allart, L., Oostvogels, V.J., Ripoll-Bosch, R. \(2026\) Biodiversity in the grass-based systems of Massif Central PDO areas. *Innovations Agronomiques*, 104, pp.25-36](#)

[Allart, L., Joly, F., Oostvogels, V., Mosnier, C., Gross, N., Ripoll-Bosch, R., Dumont, B. \(2024\). Farmers' perceptions of permanent grasslands and their intentions to adapt to climate change influence their resilience strategy. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 39, ppe33](#)



PROJET
EXPLORATOIRE
2022-2024

Contacts

Christian Bockstaller

christian.bockstaller@inrae.fr

Clélia Sirami

clélia.sirami@inrae.fr

Mots clés

Biodiversité

Paysage

Hétérogénéité fonctionnelle

Indicateur

Pratiques agricoles

Disciplines impliquées

Agronomie

Écologie du paysage

Sciences politiques

Géographie humaine

Construction d'indicateurs

Ergonomie

Départements concernés

[ACT](#)

[AGROECOSYSTEM](#)

Unités impliquées

[UMR LAE](#)

[UMR DYNAFOR](#)

[UMR SADAPT](#)

Partenaires

[IDEAS](#)

Indicateur de biodiversité : les besoins et attentes des usagers identifiés

Qu'attendent les acteurs des milieux agricoles d'un outil d'évaluation de la biodiversité ? En les interrogeant, PRODIGE a identifié les fonctionnalités qu'ils attendent. Il a aussi analysé comment améliorer un indicateur préexistant en prenant en compte des éléments paysagers. Ces composantes ont été utilisées pour configurer un indicateur prédictif d'impact sur la biodiversité.

PRODIGE - Prise en compte des besoins des usagers potentiels et des représentations fonctionnelles des éléments paysagers dans la conception d'un indicateur de biodiversité des paysages agricoles

De nombreux travaux montrent le rôle central joué par les systèmes agricoles dans l'effondrement de la biodiversité. L'évaluation de la performance des systèmes agricoles en termes de maintien de la biodiversité constitue une étape indispensable pour accompagner leur transition agroécologique. Or, les indicateurs de biodiversité prédictifs sont peu nombreux, en particulier au niveau du paysage, qui est pourtant le niveau le plus adapté pour évaluer l'effet des systèmes agricoles sur la biodiversité (NIVA-Biodiversité en est un).

PRODIGE vise à la fois i) à analyser les besoins des usagers potentiels des indicateurs de biodiversité et leur positionnement par rapport à l'indicateur NIVA-Biodiversité ; ii) à évaluer dans quelle mesure une prise en compte des éléments paysagers (cultures, milieux semi-naturels, etc.) au niveau quantitatif (ex. nombre de cultures, pourcentage de milieux semi-naturels) et qualitatif (caractéristiques fonctionnelles intégrant les pratiques agricoles), permet d'améliorer la prise en compte des mécanismes écologiques et donc la pertinence de l'indicateur, son utilisabilité et son adaptation aux besoins des utilisateurs de l'indicateur NIVA-Biodiversité.



© Weber

Démarches

- Enquête pour caractériser des profils des utilisateurs potentiels, leurs approches de l'évaluation de la biodiversité dans leur activité et leurs besoins et attentes vis-à-vis de tels indicateurs. Elle a été conduite au niveau territorial pour le cadre d'analyse de l'utilisabilité, sur le territoire des Vallées et Coteaux de Gascogne, dans la Zone Atelier PYGAR, et au niveau national pour le diagnostic des usages.
- Caractérisation de la diversité fonctionnelle des éléments paysagers et des cultures en mobilisant des concepts d'écologie et des connaissances agronomiques. Les effets sur la biodiversité ont été étudiés à partir d'un jeu de données important préexistant (projet FarmLand).
- Enfin, ces connaissances ont été intégrées dans un indicateur prédictif des impacts sur la biodiversité. C'est dans ce cadre qu'une méthode d'agrégation des variables, CONTRA, a fait l'objet d'un travail d'informatisation sur la plateforme INRAE MEANS, pour faciliter son utilisation dans la conception d'indicateurs prédictifs.

Résultats

La mobilisation du cadre de l'utilisabilité et du diagnostic des usages a permis de mettre en évidence des attentes et perceptions divergentes des utilisateurs, dépendant aussi de leur positionnement comme utilisateur potentiel ou fournisseur de données. La définition de la biodiversité en est un exemple, entre une approche plus patrimoniale basée sur la conservation des espèces, portée par les acteurs de la protection de l'environnement, et une approche plus fonctionnelle basée sur l'approche service, portée par les acteurs agricoles. En revanche, un consensus s'est dégagé sur la nécessité d'une concertation entre acteurs autour de l'indicateur.

La caractérisation fonctionnelle des cultures a conduit à l'établissement d'une base de données pour 300 cultures (en version plus complète pour 57 cultures). Des variables prenant en compte la diversité fonctionnelle ont été identifiées comme pertinentes pour être intégrées dans l'indicateur.

Une amélioration de la faisabilité du calcul de l'indicateur a été réalisée dans la version tier 1. Le travail est à poursuivre pour aboutir à version consolidée.



CONSORTIUM

2022-2024

Contacts

Sara Fernandez

sara.fernandez@inrae.fr

Soizig Le Stradic

soizig.le-stradic@inrae.fr

Mots clefs

Écosystèmes aquatiques

Zones humides

Écologie de la restauration

Politiques en matière de

biodiversité

Économie du bien-être

Évaluation de la nature

Disciplines impliquées

Géographie

Science politique

Économie

Écologie aquatique et terrestre

Restauration écologique

Départements concernés

[AQUA](#)

[ECODIV](#)

[ECOSOCIO](#)

Unités impliquées

[UMR LISIS](#)

[UR RiverLy](#)

[UMR SAGE](#)

[UR EABX](#)

[UMR Biogeco](#)

[UMR CESAER](#)

[UR ETTIS](#)

Partenaires

[QFB](#) - Office français de la
biodiversité

Faible opérationnalité du concept de services écosystémiques dans la restauration des cours d'eau

REFUSE a analysé à partir d'études de cas le décalage d'échelle entre les références aux services écosystémiques dans les politiques publiques et leur capacité limitée à orienter les choix en matière de gestion locale de la biodiversité dans des situations de restauration de zones humides ou cours d'eau. Le constat est que les actions de restauration ou de conservation dépendent fortement de l'apparition de « fenêtres d'opportunité » spécifiques, qui n'ont aucun lien avec les évaluations des services écosystémiques.

REFUSE - Restauration écologique, fonctionnalités, usages et services écologiques

Le cadre des services écosystémiques sert souvent de référence pour justifier des actions ou politiques publiques ou pour en évaluer les résultats. Cependant son approche très utilitariste, comme l'est d'ailleurs celle des solutions fondées sur la nature, peut poser questions et avoir des limites.



© G. Bouleau

Démarches

Les participants de REFUSE ont présenté et discuté 7 études de cas de restauration de zones humides ou cours d'eau qui ont été analysées de manière croisée grâce à une typologie des biais et des problèmes non pris en compte dans des projets de restauration cadrés par une approche services écosystémiques. Ces biais, mésusages et angles morts ont été discutés. Ces travaux ont donné lieu à la rédaction d'un article (soumis).

Résultats

Depuis plusieurs décennies, les services écosystémiques ont fait l'objet d'importants développements conceptuels et ont été intégrés dans de nombreux cadres méthodologiques afin de soutenir les stratégies internationales et les politiques supranationales ou nationales visant à préserver ou à restaurer la biodiversité. Le rôle que ce concept peut jouer dans la mise en œuvre concrète des projets de restauration des écosystèmes reste toutefois relativement peu exploré.

Adoptant une approche multidisciplinaire pour examiner le cas des milieux aquatiques français (zones humides et cours d'eau), REFUSE contribue à mieux comprendre le "fossé scalaire" entre, d'une part, la prolifération des références aux services écosystémiques dans les politiques publiques nationales et internationales et, d'autre part, leur capacité limitée à orienter les choix en matière de gestion locale de la biodiversité. Les espoirs que les services écosystémiques ont incarnés dans les champs académiques disciplinaires de l'écologie et de l'économie depuis les années 1990 au niveau international, ainsi que les promesses qu'ils ont représentées depuis les années 2000 pour l'action publique internationale ou nationale (française) ont été analysés. Le cas de la France a permis une analyse approfondie de la manière dont, et des raisons pour lesquelles, l'absence de données scientifiques en écologie et les régimes fonciers limitent considérablement l'applicabilité concrète du concept de services écosystémiques. Nos résultats montrent que les actions de restauration ou de conservation dépendent fortement de l'apparition de « fenêtres d'opportunité » spécifiques, qui n'ont aucun lien avec les évaluations des services écosystémiques.



PROJET
EXPLORATOIRE
2021-2023

Contacts

Georges Kunstler

georges.kunstler@inrae.fr

Mots clés

Observatoire

Montagne

Régénération forestière

Changements globaux

Biodiversité

Disciplines impliquées

Biodiversité fonctionnelle des sols

Dynamique forestière

Écologie forestière

Historique du paysage

Gestion forestière

Impacts des usages passés et
présents

Matière organique des sols

Pédologie

Départements concernés

ACT

AGROECOSYSTEM

ECODIV

Unités impliquées

UR LESSEM

UR EFNO

UMR DYNAFOR

UMR Eco&Sols

Partenaires

LECA CNRS

En montagne, la biodiversité du sol dépend surtout du climat et de la chimie du sol forestier

SICCCUB a consolidé une base de référence d'ADNe et a constaté que la diversité des organismes du sol est plus liée au climat et à la chimie du sol qu'à la structure forestière et que la production de graines des arbres varie très fortement d'une année sur l'autre.

SICCCUB - Suivi des impacts du changement climatique et des changements d'usage sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes de montagne

Les zones de montagne sont particulièrement sensibles à l'effet conjoint des changements climatiques et des changements d'usages. En effet, le climat des zones de montagne se réchauffe à une vitesse plus rapide que les autres régions et en Europe, les montagnes ont connu une reforestation importante au début du siècle. Ces changements ont déjà conduit à des réorganisations importantes de la biodiversité qui ont eu des conséquences pour les fonctions et services rendus par les écosystèmes de montagnes. Les changements climatiques futurs devraient amplifier ces réorganisations.

Démarches

SICCCUB a complété l'observatoire spatio-temporel de la biodiversité et du fonctionnement des socio-écosystèmes de montagne (ORCHAMP) selon des gradients altitudinaux dans les Alpes et les Pyrénées qui permet de suivre la dynamique de la biodiversité et les fonctions de ces écosystèmes sur le long terme.

SICCCUB a contribué à l'extension spatiale du réseau (en particulier dans les Pyrénées), mais surtout à une extension thématique des mesures et des données récoltées sur les gradients.

SICCCUB a étudié les relations entre :

1. L'historique des pratiques et du paysage,
2. La dynamique de recrutement des arbres,
3. La biodiversité et les fonctions (stockage du carbone et recyclage de la matière organique).



© Pierre Lapenu

Ces fonctions sous-tendent la production de services écosystémiques d'approvisionnement en bois, de régulation tels que la régulation de la qualité du sol, la réduction des gaz à effet de serre dans l'atmosphère ou la dispersion des graines.

L'observatoire ORCHAMP est basé sur des gradients d'altitudes d'environ 1 000 m de dénivelé avec des placettes permanentes (30 x 30 m) espacées entre elles d'environ 200 m. L'observatoire dispose aussi de mesures à l'échelle des paysages et du bassin versant, à partir de données de télédétection et des données cartographiques actuelles.

SICCCUB a décrit de manière quantitative les usages présents et passés des placettes en vectorisant les cartes d'état-major (établies entre 1818 et 1866) croisées avec le cadastre napoléonien (établi entre 1807 et 1850) ainsi que des photos aériennes anciennes (autour de 1950).

Ont été suivis :

- Le recrutement des arbres et la dynamique de production de graines,
- La biodiversité aérienne et souterraine et les fonctions écosystémiques fournies par les sols (stockage de carbone et recyclage de la matière organique) en échantillonnant les espèces détritivores de la macrofaune (vers de terre, cloportes, diplopodes, bousiers) et de la mésofaune (collembolles et acariens oribates). Ces échantillonnages seront faits par des analyses de terrain mais aussi par le croisement avec des données d'ADN environnemental.

Résultats

Effets de la structure des peuplements forestiers sur la biodiversité des organismes du sol

- La structure et la composition forestière sont moins importantes que les variables abiotiques comme le climat et la chimie du sol. La diversité de certains groupes est cependant intimement liée à la structure forestière.
- La diversité des conditions forestières favorise la diversité des organismes du sol étudiés.

Effets des changements d'usage du sol et du climat sur la biodiversité

La vectorisation de la structure paysagère dans le voisinage des placettes à trois pas de temps (1850 - 1950 - actuel) a permis l'étude, en partie décorrélée, des effets du changement d'usage des sols et des changements liés au climat. Les données ont permis d'analyser l'effet de la structure du paysage actuel et de 1950 sur la biodiversité des collembolles et des protistes en testant des métriques paysagères sur des buffers de différent rayon. Ainsi, la richesse spécifique des collembolles épigés, endogés et totaux est mieux expliquée par la structure du paysage ancien (1950) qu'actuel (2020).

Comparaison d'échantillonnage terrain ou ADNe de la macrofaune du sol

- Consolidation de la base de référence d'ADNe.
- Les estimations de richesses réalisées par les approches ADNe sont sous-estimées par rapport aux approches terrain.

Changement de fécondité des arbres

La régénération et la production de graines sont marquées par une variabilité interannuelle très forte qui rend difficile d'estimer la fécondité avec une série temporelle courte recueillie dans le projet SICCCUB.

Ces mesures vont continuer au-delà du projet et offriront donc une perspective unique sur les changements de fécondité des arbres. Dès à présent, elles ont été mobilisées dans des synthèses de données à grande échelle où il est plus facile d'extraire une information solide que sur un échantillon restreint des placettes d'un gradient.

Publication

[Thuiller, W., Saillard, A., Abdulhak, S., Augé, V., Birck, C., Bonet, R., Choler, P., Delestrade, A., Kunstler, G., Leccia, M-F., Lienard, B., Poulénard, J., Valay, J-G., Bayle, A., Bonfanti, N., Brousset, L., Bizard, L., Calderón-Sanou, I., Dentant, C., Desjonquères, C., Gielly, L., Guéguen, M., Guiter, F., Hedde, M., Hustache, E., Kedhim, N., Lapenu, P., Le Guillaume, N., Marchal, L., Mahieu, C., Martin, G., Martinez-Almoyna, C., Miele, V., Murienne, J., Paillet, Y., Rome, M., Renaud, J., Orchamp Consortium \(2024\) ORCHAMP: an observation network for monitoring biodiversity and ecosystem functioning across space and time in mountainous regions. *Comptes Rendus. Biologies*, 347, pp.223-247](#)



Contacts

Éric Edeline

eric.edeline@inrae.fr

Pierre Courtois

pierre.courtois@inrae.fr

Mots clés

Invasions biologiques
Hétérogénéité spatio-temporelle
Modélisation
Transférabilité
Usages et gouvernance

Disciplines impliquées

Modélisation écologique
Modélisation économique
Économie de l'environnement
Économétrie spatiale
Géomatique

Départements concernés

[ECODIV](#)
[ECOSOCIO](#)

Unités impliquées

[UMR DECOD](#)
[UMR CEE-M](#)
[UMR GAEL](#)

Partenaires

[UMR ECOBIO](#)
[Laboratoire AMSE Université Aix-Marseille](#)
[Parc Naturel Régional de Brière](#)

Un nouveau modèle bioéconomique spatialisé pour gérer les espèces envahissantes

Cet outil résulte du couplage d'un modèle écologique de dynamique de population spatialisée et d'un modèle coût-effort d'arrachage. Il a été testé sur la jussie avec le Parc Naturel Régional de Brière et a montré la nécessité d'adapter les stratégies d'éradication en fonction de l'abondance de l'espèce envahissante. Le besoin de données de qualités pour l'utilisation de l'outil a aussi été mis en exergue.

SPABIO - Bioéconomie dynamique spatialisée des invasions biologiques : preuve de concept pour la gestion de la jussie en Brière

La gestion des espèces exotiques envahissantes pose des problèmes complexes relevant d'approches interdisciplinaires couplant écologie et économie. Les outils bioéconomiques d'aide à la décision sont encore peu développés et les modèles existants souffrent notamment d'un manque de réalisme écologique, d'une complexité importante les rendant peu applicables à des cas concrets et d'une relative déconnexion avec les problématiques et besoins rencontrés par les gestionnaires de milieu. Ils fournissent généralement des résultats généraux ayant relativement peu d'impact sur le terrain.

Démarches

Il est nécessaire d'améliorer l'opérationnalité des modèles notamment pouvoir répondre aux arbitrages posés par la gestion des espèces exotiques envahissantes : où les gérer, quand les gérer, quelles invasions gérer en priorité et comment le faire ? Pour cela, SPABIO s'appuie sur une collaboration transdisciplinaire entre écologues, économistes et gestionnaires des milieux naturels pour :

1. Développer une nouvelle classe de modèles bioéconomiques écologiquement réalistes et directement applicables aux problèmes concrets rencontrés par les gestionnaires.
2. Apporter une preuve de concept pour ce nouveau cadre théorique en utilisant le cas de la jussie dans le Parc Naturel Régional de Brière.
3. Préparer l'application du cadre théorique à d'autres espèces exotiques envahissantes dans des contextes variés.

SPABIO a nécessité un important travail de numérisation des chroniques spatiales d'abondance et d'arrachage de la jussie en Brière dont des éléments n'étaient disponibles qu'en format papier.

Une modélisation s'adaptant à la structure des données collectées par les gestionnaires a été développée. Le modèle écologique est un modèle multi-état (4 classes d'abondance), dynamique (22 années), spatialisé (17 000 cellules carrées de 1 ha). Le modèle de la relation coût-effort d'arrachage est une régression linéaire multiple. Enfin, le couplage bioéconomique des deux modèles s'effectue via un calcul de coût efficacité (coût pondéré par la probabilité de diminuer l'abondance en jussie).



© Alain Dutartre (Irstea)

Résultats

Sur la gestion de la dynamique de la jussie

Le modèle écologique suggère que l'effet de l'effort d'arrachage dépend de l'abondance de la plante. Lorsque la jussie est très abondante dans le milieu, l'arrachage favorise une transition vers des abondances moindres. En revanche, lorsque le milieu est peu envahi, l'arrachage accélère l'envahissement.

Le modèle économique suggère une relation coût-effort quasi linéaire et donc pas d'économie d'échelle. Enfin, le couplage bioéconomique suggère que l'arrachage est efficace bioéconomiquement uniquement dans les zones fortement envahies.

Nos résultats sur la jussie en Brière suggèrent que la **stratégie consistant à tenter l'éradication de la plante lorsqu'elle est encore peu abondante** (stratégie dite de la « courbe d'invasion ») **peut être contre-productive**. Cela s'avère en soit un résultat extrêmement intéressant et original venant remettre en question la principale règle d'or en matière de gestion des invasions, à savoir l'impératif de contrôler en priorité les zones faiblement envahies afin de répondre de manière coût-efficace à la dynamique d'invasion. Ce résultat, sans pour autant remettre en question l'importance des actions de gestion précoces, appelle à une application de cette règle au cas par cas, en catégorisant les invasions pour lesquelles elle s'applique et celles pour lesquelles elle ne s'applique pas.

Sur la priorisation des efforts de gestion de la jussie

Notre analyse bioéconomique a produit des résultats fondamentaux en matière de priorisation spatiale des efforts de gestion en prenant en considération la dynamique de dispersion d'une part, les coûts de gestion spatialisés de l'autre. Sur le plan pratique, et pour la gestion de la jussie en particulier, ce résultat devrait se traduire par l'abandon des interventions dans les zones faiblement envahies au profit d'une priorisation des efforts dans les zones fortement envahies et notamment focaliser les efforts d'arrachage sur les grands canaux fortement envahis (i.e. voies de communication fluviale).

Sur la forme des données pouvant être intégrées dans une modélisation

La disponibilité et la qualité des données des gestionnaires peuvent limiter la mise en place de modèles bioéconomiques adaptés à leurs besoins. En Brière, les données d'abondance de la jussie étaient déjà au format SIG, et leur formatage pour la modélisation n'a pas posé de gros problème. Par contre, les données sur les chantiers d'arrachage (emprise spatiale, coûts) n'étaient pas disponibles avec une qualité suffisante. **Le développement futur de modèles bioéconomiques d'appui aux gestionnaires implique de leur part d'acquérir une culture accrue de la donnée scientifique.**

Publication

[Courtois, P., Figuières, C., Martinez, C., Thébaud, G., Thomas, A. \(2023\) L'économie des invasions biologiques : vers une hiérarchisation des stratégies de gestion. Lannou C.; Rasplus J.-Y.; Soubeyrand S.; Gautier M.; Rossi J.-P. Crises sanitaires en agriculture. Les espèces invasives sous surveillance, Chapitre 15, QUAE, pp.237-250, Savoir-faire, 978-2-7592-3482-0](#)



Contacts

Yoan Paillet

yoan.paillet@inrae.fr

Lucie Vincenot

lucie.vincenot@univ-rouen.fr

Mots clés

Dendromicrohabitat

Cavité

Biodiversité

Écoacoustique

Métabarcoding environnemental

Disciplines impliquées

Biodiversité forestière

Communautés fongiques

Écoacoustique

Métabarcoding environnemental

Statistiques

Taxonomie des abeilles sauvages

Départements concernés

[ACT](#)

[ECODIV](#)

[SPE](#)

Unités impliquées

[UR LESSEM](#)

[UE UEFM](#)

[USC Ecodiv - Rouen](#)

[UR PSH](#)

Partenaires

[Laboratoire EGCE IRD](#) taxonomie des abeilles sauvages

Société [Fold AI](#) (Allemagne) Eco-acoustique

Les cavités de pic noir ont un effet sur la biodiversité fongique des forêts

Les résultats indiquent que la présence de cavités de pic noir a un effet important sur la biodiversité des champignons mais peu important pour les oiseaux et les abeilles. Les données écoacoustiques recueillies vont nourrir des outils de reconnaissance des oiseaux.

TRAMETES2 - Contribution de la trame de vieux bois à l'état de conservation des habitats forestiers et des espèces

La trame dite de « vieux bois » est constituée d'éléments favorables à la biodiversité forestière, notamment celle qui dépend du bois mort pour une partie de son cycle de vie. Par exemple, les cavités de pic noir et la maturité forestière caractérisée par des éléments liés au vieillissement des arbres et à l'absence d'exploitation (bois mort, gros arbres), sont des facteurs essentiels pour la conservation de nombreux taxons forestiers. L'évaluation de l'état de conservation des habitats forestiers repose sur des méthodes principalement indirectes décrivant l'habitat (indices structuraux et composition). En ce qui concerne les espèces à enjeux, la contribution des éléments de structure forestière à leur état est assez mal connue et, de fait, le lien entre conservation des habitats naturels et conservation d'espèces reste relativement méconnu, en particulier les rôles respectifs des dendromicrohabitats comme les cavités de pic noir et de la maturité forestière.

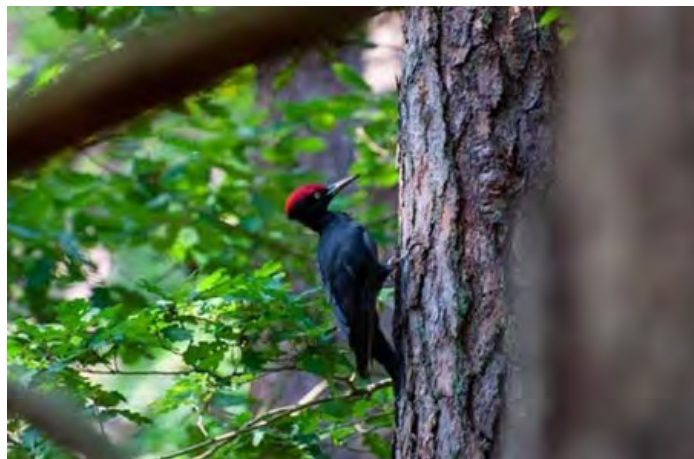
Démarches

TRAMETES 2, a complété un projet financé par l'Office français de la Biodiversité.

Au travers de l'étude de 5 massifs forestiers en France métropolitaine, nous avons installé 80 placettes appariées entre celles présentant au moins une cavité de pic noir et une sans cavité (contrôle). La structure forestière de ces placettes a été décrites, puis elles ont été équipées de capteurs écoacoustiques pour la détermination des communautés d'oiseaux et échantillonnées pour la détermination des communautés fongiques liées aux arbres morts et aux cavités de pic noir. Un travail parallèle (hors financement Biosefair) sur les colonies sauvages d'abeilles a également été effectué.

TRAMETES 2 a permis :

- L'acquisition de données sur une série de sites supplémentaires de manière à augmenter la puissance statistique et la robustesse de l'échantillonnage ;
- L'utilisation approfondie des données écoacoustiques pour la détermination d'espèces d'oiseaux et de chauve-souris (voire de la communauté entière) au-delà des quelques espèces initialement prévues dans le projet ;
- La recherche des vecteurs des champignons typiques des cavités (notamment abeilles), et l'approfondissement de la description des occupants des cavités de pic noir, par l'utilisation de méthodes d'ADN environnemental.



© wal_172619 - Pixabay

Résultats

Impact de la présence de cavités de pic sur les communautés étudiées

Les premiers résultats du projet montrent que la présence de cavités de pic noir a des effets différents selon la communauté considérée :

- Pour les oiseaux, il semble que la structure forestière, en particulier la présence de gros arbres, a un effet plus important sur les communautés que la seule présence de cavité. Cependant, certaines espèces, notamment des cavicoles secondaires, présentent une occurrence supérieure dans les zones à cavité ;
- Pour les champignons, les communautés que l'on retrouve dans les cavités sont différentes de celles du bois mort au sol, notamment, certains groupes fongiques sont exclusifs des cavités, ce qui montre le rôle prépondérant des cavités pour la biodiversité fongique ;
- Les colonies d'abeilles sauvages ne sont apparemment pas inféodées aux cavités de pic noir (partie hors financement Biosefair), mais se retrouvent plutôt dans des cavités plus petites (type pic épeiche). Ces colonies semblent viables à moyen terme (au moins 2 ou 3 ans).

Apport du projet sur les inventaires assistés par IA et machine learning

Grâce à la quantité considérable de données acoustiques recueillies dans le cadre du projet TRAMETES et aux autres données collectées sur les placettes permettant de caractériser les habitats et espèces, un nouveau cadre d'analyse innovant pour les données bioacoustiques est à portée de main. L'utilisation de l'IA est donc un outil supplémentaire permettant d'éclairer le choix du gestionnaire par de nouvelles visions des résultats d'études. Grâce à l'utilisation d'algorithmes de machine learning et d'IA et au dialogue des chercheurs avec les algorithmes la reconnaissance des espèces est affinée, des liens de causalité peuvent être identifiés et le système technique peut être adapté à la question locale.

Une première interface d'apprentissage profond est en cours de développement.

Publication

Moro, A., Albouy, V., Dickey, M., Kohl, P.L., McCormack, G.P., Remter, F., Requier, F., Rogenstein, S., Rutschmann, B., Thiele, M.J., Visick, O., Bila Dubaić, J. (2024) A protocol for monitoring populations of free-living Western honey bees in temperate regions, *Bee World*, pp. 1-5



PROJET
EXPLORATOIRE

2021-2023

Contacts

Fabrice Vinatier

fabrice.vinatier@inrae.fr

Mots clés

Biodiversité végétale

Trames vertes et bleues

Hydrochorie

Banque de graines

Services écosystémiques

Disciplines impliquées

Agronomie

Botanique

Écophysologie

Écologie spatiale

Hydraulique

Mécanique des fluides

Pédologie

Photogrammétrie

Transferts en milieux poreux

Départements concernés

AGROECOSYSTEM

Unités impliquées

UMR G-EAU

UMR LISAH

UMR ABSys

Partenaires

Laboratoire CITERES Université de
Tours

L'eau dans les agroécosystèmes comme facteur de structuration de la biodiversité végétale ? Un modèle mécaniste pour relier circulation de l'eau et dispersion des graines dans les vignes

WATERSEED a montré le rôle de l'hétérogénéité des parcelles sur la banque de graines et le rôle de la morphologie des graines dans leur potentiel dispersif lors d'événements de dispersion secondaire qui contribuent au maintien de la biodiversité au sein des agroécosystèmes. Un modèle mécaniste a été développé pour explorer les impacts potentiels du changement climatique sur la biodiversité.

WATERSEED - Rôle de l'eau dans la structuration spatiale de la biodiversité végétale des milieux viticoles

Depuis deux décennies, les vignobles améliorent leur gestion durable en privilégiant : les plantes de couverture en inter-rangs pour limiter l'érosion des sols, une gestion extensive des bordures de parcelles, des réseaux de fossés. Ces pratiques maintiennent une végétation spontanée, source de nombreux services écosystémiques dont par exemple la régulation des écoulements, la maîtrise de l'érosion hydrique ou la rétention des polluants organiques. Ceci est un enjeu majeur notamment dans les vignobles méditerranéens pour lesquels le changement climatique risque d'accentuer les épisodes pluvieux intenses.

Afin de limiter les effets négatifs de l'intensification agricole, il est nécessaire de repenser la place des éléments interstitiels dans les agroécosystèmes, ces trames vertes et bleues (fossés, inter-rangs de cultures pérennes, talus) abritant une végétation spontanée fournissant de nombreux services écosystémiques de régulation et d'auto-entretien et participant à la circulation de l'eau dans les paysages. Les connaissances empiriques manquent sur les facteurs et mécanismes hydrologiques expliquant les patrons de biodiversité végétale dans ces éléments, de la banque de graine à sa dispersion, afin d'évaluer leur potentiel de réhabilitation écologique.



© M. Faucher

En faisant l'hypothèse que l'eau est un facteur déterminant de la structuration des communautés végétales en région méditerranéenne, WATERSEED a eu pour objectifs :

- De mieux comprendre les déterminants de la structuration de la biodiversité végétale potentielle dans les réseaux hydrographiques,
- D'analyser les facteurs de dispersion des graines par hydrochorie,
- D'intégrer les connaissances acquises dans un modèle simulant la dispersion et la croissance des couverts végétaux spontanés afin de tester des scénarios de réaménagement des espaces interstitiels pour maximiser les fonctions écosystémiques des couverts végétaux.

Démarches

En s'appuyant sur des parcelles expérimentales (Domaine de la Jasse et Observatoire de Roujan), nous avons mis en évidence l'augmentation de la diversité végétale et une plus grande importance des modes de dispersion hydrochore et zoochore dans les réseaux de fossés par rapport aux parcelles viticoles.

À partir d'une expérimentation en conditions réelles, nous avons montré la variabilité des facteurs de dispersion des graines, selon des facteurs intrinsèques liés (forme, flottabilité) et extrinsèques (microtopographie, densité du couvert végétal) des milieux.

Enfin, le modèle a permis de justifier l'importance des pratiques de gestion des couverts pour améliorer la résilience des systèmes viticoles face aux extrêmes hydroclimatiques.

Ce projet a ré-interrogé la place de l'eau dans les agroécosystèmes comme facteur de structuration de la biodiversité végétale. Il plaide pour une meilleure connaissance des propriétés fonctionnelles de la végétation en lien avec les écoulements afin de choisir des solutions maximisant la ressource en eau et la biodiversité.

Les services écosystémiques associés à la biodiversité végétale seront estimés via des prélèvements de terrain : biomasse, fraction de couverture végétale, composition chimique de la biomasse et communautés microbiennes en présence en lien avec les conditions édaphiques. Les espèces identifiées seront reliées à des fonctions écosystémiques via des bases de données (TRY) pour certains critères qualitatifs : potentiel nectarifère, compétition avec les cultures.

Résultats

Variabilité de la banque de graines

L'analyse de la banque de graines montre l'influence de l'hétérogénéité intraparcellaire (variabilité des pratiques d'enherbement entre les rangs et alternance parcelle/tournière/fossé) sur la composition et la richesse spécifique de la banque de graines. Celles-ci augmentent au sein des espaces non cultivés limitrophes (tournière et fossés) avec notamment une proportion plus élevée d'espèces zoochores (i.e. dispersées par les animaux). Ces résultats suggèrent **l'importance des surfaces non productives au sein du paysage dans la composition et la richesse spécifique de la banque de graines du sol.**

Dispersion des graines par hydrochorie

La morphologie des graines joue un rôle dans leur potentiel dispersif lors d'événements de dispersion secondaire :

- Les graines les plus sphériques sont plus facilement déplacées avec la lame d'eau ruisselée.
- Les graines comportant des appendices (crochets, poils, ...) sont plus facilement piégées par la rugosité du sol ou du couvert végétal.

Le rôle de la dispersion secondaire est donc important pour le maintien ou l'augmentation de la biodiversité végétale au sein des agroécosystèmes sans intervention directe de l'humain.

Le déplacement des graines par le ruissellement se fait beaucoup moins bien dans les inter-rangs enherbés.

Développement d'un modèle mécanisme du rôle du couvert végétal sur la dispersion des graines

Un couplage de plusieurs modèles (de croissance végétale plurispécifique sous stress hydrique, de simulation de la friction du couvert végétal sur la lame d'eau qui ruisselle et de transfert des graines) a permis de commencer à étudier l'influence des variables climatiques (température, pluie, ETO) sur la friction générée par le couvert végétal sur la circulation de l'eau.

L'utilisation de scénario du GIEC pour simuler l'évolution du climat en entrée du modèle semble montrer une augmentation de la friction générée par le couvert végétal dans les années à venir, probablement consécutive à un développement plus rapide et plus important du couvert végétal lors de périodes de pluie intense.

Le prototype créé permettra de répondre à des questions plus appliquées, par exemple : comment utiliser le modèle comme laboratoire virtuel pour tester de nouvelles organisations spatiales et temporelles des éléments paysagers, afin de maximiser la ressource en eau et la biodiversité végétale ?

Cependant ces travaux de modélisation ont aussi mis en avant des lacunes de connaissances. Il faudrait ainsi pour progresser notamment pouvoir hiérarchiser les autres facteurs de dispersion des graines ainsi que l'importance des déterminants des communautés végétales.

Valorisation pour la reconnaissance de plantules des données collectées

Un jeu de données original rassemblant des photos de développement de plantules est à la base d'une collaboration de recherche avec l'équipe PI@ntNet pour proposer un service dédié à la reconnaissance précoce des espèces sauvages.

Une thèse associée au projet a été réalisée par [Martin Faucher](#) (soutenue en décembre 2024) – Contribution des espaces non cultivés à la biodiversification des agroécosystèmes méditerranéens via l'étude de la dispersion et de la croissance et de la végétation spontanée

Publications

[Faucher, M., Grellier, S., Chaudron, C., Janeau, J.-L., Rudi, G., Vinatier, F. \(2024\) Mediterranean vineyard soil seed bank characterization along a slope/disturbance gradient: Opportunities for land sharing. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 361, pp.108821](#)

[Faucher, M., Grellier, S., Chaudron, C., Janeau, J.-L., Rudi, G., Vinatier, F. \(2025\) Secondary Seed Dispersal by Hydrochory During Surface Runoff Inside a Mediterranean Vineyard. *European Journal of Soil Science*, 76 \(6\), pp.e70257](#)

Thèses terminées



THÈSE

2022-2026

Contacts

Olivier Therond

olivier.therond@inrae.fr

Olivier Boutron

boutron@tourduvalat.org

Arnaud Béchet

bechet@tourduvalat.org

Date de démarrage : dernier trimestre 2022

Date de soutenance : 31/03/2026

Unité d'accueil : [UMR LAE](#)

Centre INRAE : Grand-Est Colmar

Direction de la thèse : Olivier Therond (LAE) et Arnaud Béchet (Tour du Valat)

Encadrement de la thèse : Olivier Boutron (Tour du Valat)

Doctorant.e : Rose Rodier

Université et école doctorale :

Université de Lorraine, Science et ingénierie des ressources naturelles (SIRENA)

Financements : [Métaprogramme Biosefair](#) / Tour du Valat, institut de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes

Disciplines impliquées

Agroécologie

Agronomie

Écologie fonctionnelle

Sciences de la conception

Modéliser le fonctionnement du delta apporte des pistes de gestion intégrée pour concilier agriculture et conservation des écosystèmes

Le modèle du fonctionnement du delta de la CAMARGUE (MAELIA-Delta) développé dans cette thèse et testé avec différents scénarios montre le rôle central de la gestion de l'eau dans l'équilibre entre activités agricoles, salinisation des sols et préservation des milieux naturels en Camargue. Il offre un corpus de connaissances mobilisable par les acteurs pour concevoir une gestion plus intégrée du delta visant à concilier agriculture et conservation des écosystèmes.

CAMARGUE – Modélisation intégrée des réseaux d'activités, services écosystémiques et de la biodiversité en Camargue. Étude des dynamiques et des compromis pour un territoire durable dans un contexte de changements globaux et de transition agroécologique

Résumé

La Camargue, delta du Rhône, constitue un socio-écosystème (SES) particulièrement complexe, caractérisé par une forte imbrication entre milieux naturels et activités humaines. Ce territoire, riche en biodiversité et porteur d'enjeux économiques, agricoles et culturels majeurs, est aujourd'hui confronté aux effets combinés des changements climatiques et des transformations des pratiques de gestion de l'eau et de l'agriculture. Les modifications des régimes de pluie et d'évaporation, la salinisation des sols, l'élévation du niveau marin et les changements d'usage des terres affectent profondément l'équilibre hydro-salin, pilier du fonctionnement écologique du delta.

Dans ce contexte, nous avons développé un modèle conceptuel de l'île de Camargue (située au centre du delta du Rhône), au sein de laquelle interagissent la dynamique hydro-saline, la gestion de l'eau, les activités économiques (agriculture, chasse, pêche, tourisme) et les environnements naturels (habitats de la biodiversité). Ce modèle repose sur quatre sous-modèles offrant des représentations complémentaires de : i) la gouvernance de l'eau, ii) l'agriculture, iii) les communautés d'oiseaux et iv) les communautés de poissons. Ce cadre conceptuel met en évidence les relations étroites (chaînes causales, boucles de rétroaction, interactions, effets indirects et compromis) entre les différentes composantes de ce SES deltaïque.

Sur la base des connaissances acquises sur ce delta, nous avons développé un modèle intégré nommé MAELIA-Delta. Ce modèle constitue une extension de la plateforme MAELIA, adaptée à la simulation conjointe de la dynamique hydro-saline et des pratiques agricoles.

Nous avons ensuite élaboré plusieurs scénarios de changements climatiques et d'évolution des pratiques agricoles (diversification des cultures, développement de l'agroécologie, variations des surfaces rizicoles, etc.) afin d'évaluer et démontrer la capacité du modèle à simuler les processus en jeu dans l'île de Camargue.

En conclusion, cette thèse met en évidence le rôle central de la gestion de l'eau dans l'équilibre entre activités agricoles, salinisation des sols et préservation des milieux naturels en Camargue et offre un corpus de connaissances mobilisable par les acteurs pour concevoir une gestion plus intégrée du delta visant à concilier agriculture et conservation des écosystèmes. À moyen terme, le modèle développé constitue un outil applicable à d'autres deltas pour évaluer les effets du changement climatique ou de transitions agricoles, et pourrait être enrichi pour mieux représenter les interactions entre réseaux hydrauliques, milieux naturels et biodiversité.

Publication

Rodier, R., Boutron, O., Béchet, A., Therond, O. (2025) Interdependencies among hydro-saline dynamics, economic activities, ecological processes, and biodiversity in a deltaic social-ecological system: insights from the Rhône delta (southern France). *Ecology and Society*, 30 (3), pp.Article 11



THÈSE

2020-2023

Contacts

Safia Médiène

safia.mediene@inrae.fr

Muriel Valantin-Morison

muriel.morison@inrae.fr

Malick Ouattara

malick.ouattara@inrae.fr

Date de démarrage : 01/12/2020

Date de soutenance : 11/12/2023

Manuscrit : tel-04403477

Unité d'accueil : UMR

AGRONOMIE

Centre INRAE : Ile-de-France –
Versaille-Grignon

Direction de la thèse : Muriel
Valantin-Morison

Co-direction de la thèse : Safia
Médiène

Encadrement de la thèse :
Raphaël Paut

Doctorant.e : Malick Ouattara
Université et école doctorale :
Université Paris-Saclay – ABIES

Financements : Métaprogramme
Biosefair / Arvalis Institut du végétal

Disciplines impliquées

Agroécologie

Agronomie

Écologie fonctionnelle

Sciences de la conception

Un prototype d'outil d'aide à la conception des mélanges d'espèces pour produire des services écosystémiques

Dans la pratique actuelle, les mélanges associent céréales et des légumineuses afin de réguler les adventices et recycler l'azote. Les différentes approches méthodologiques mobilisées (expérimentation, modélisation, ateliers de partage de connaissances, analyse de base de données) se sont avérées très complémentaires pour la conception du prototype EcosysteMIX, outil d'aide à la conception des mélanges d'espèces basé sur l'approche fonctionnelle.

ECOSYSTEMIX - Mélanger les espèces pour produire des services écosystémiques : co-conception d'un outil d'intégration et de partage des connaissances scientifiques

Résumé

Dans une perspective de transition vers des systèmes de cultures agroécologiques, la diversification des agroécosystèmes via les mélanges d'espèces a été identifiée comme une pratique centrale. Les mélanges soigneusement conçus permettraient de rendre des services écosystémiques afin de soutenir une agriculture durable, résiliente et moins dépendante des intrants de synthèse. Toutefois, le choix adéquat des espèces constitutives d'un mélange, afin de rendre les services écosystémiques recherchés et adaptés localement, n'est pas aisé. L'approche trait-fonction-service de l'écologie fonctionnelle a été identifiée comme intéressante pour établir les règles d'assemblage des traits, afin de guider le choix des espèces d'un mélange en fonction du service recherché. Notre objectif est donc de proposer une méthode générique de conception des mélanges d'espèces basée sur une approche d'écologie fonctionnelle prenant en compte les conditions locales et les services écosystémiques recherchés. Dans ce travail de thèse, nous avons, (i) compilé et analysé des données existantes, dans l'objectif de faire un état des lieux de la diversité des mélanges et des services rendus, (ii) conduit une expérimentation au champ dans le but d'étudier le comportement des espèces en culture pure vs. en mélange (iii), mené des ateliers de partage de connaissances afin de construire des règles d'assemblage pour la conception de mélanges et (iv) modélisé et développé un prototype d'outil d'aide à la conception des mélanges. Nos résultats ont montré que, (i) 60% des mélanges réalisés étaient entre des céréales et des légumineuses et que les services les plus recherchés sont la régulation des adventices et le recyclage de l'azote, (ii) les valeurs de traits d'une culture pure et d'une culture en mélange étaient différentes et ne dépendaient pas seulement du trait considéré, mais aussi des espèces présentes dans le mélange, (iii) la réalisation d'un service écosystémique dépendait de plusieurs traits et qu'un même trait pouvait être important pour la réalisation de plusieurs services écosystémiques. De plus, nous avons montré que, (iv) l'expertise de différents acteurs était complémentaire et permettait de combler des manques de connaissances et de décontextualiser certaines connaissances pour les rendre génériques, et (v) l'approche fonctionnelle est une base solide pour la conception des mélanges. Nous avons construit un prototype d'outil d'aide à la conception des mélanges d'espèces basé sur cette approche. Pour finir, il ressort que les différentes approches méthodologiques mobilisées (expérimentation, modélisation, ateliers de partage de connaissances, analyse de base de données) se sont avérées très complémentaires pour la conception du prototype EcosysteMIX.

Publications

Quattara M.S., Paut R., Valantin-Morison M., Verret V., Médiène S. (2023) Hierarchical modeling highlights how ecosystem service provisioning by service crops intercropped with oilseed rape depends on their functional trait values, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 357, pp.108690

Quattara M.S., Paut R., Prost L., Valantin-Morison M., Médiène S. (2025) A functional ecology approach to define a conceptual and participatory method for designing species mixtures: a case study on nitrogen cycling and weed control, *Agronomy for Sustainable Development*, 45 (5), pp48



THÈSE
2022-2025

Contacts

Olivier Lepais

olivier.lepais@inrae.fr

Aurélien Jamoneau

aurelien.jamoneau@inrae.fr

Date de démarrage : 01/12/2022

Date de soutenance : 24/03/2026

Unités d'accueil : [UR EABX](#), [UMR](#)

[Biogeco](#)

Centre INRAE : Nouvelle Aquitaine

Bordeaux

Direction de la thèse : Aurélien

Jamoneau et Olivier Lepais

Doctorant.e : Estelle-Marie

Blanquart-Debailleul

Université et école doctorale :

École doctorale Sciences et

Environnement, Université de

Bordeaux

Financements : [Métaprogramme](#)

[Biosefair](#) / Région Nouvelle

Aquitaine

Disciplines impliquées

Génétique des populations et des

communautés

Écologie des communautés

La biodiversité des lacs côtiers aquitains est structurée par les faibles capacités de dispersion des espèces et des filtrages environnementaux

Les communautés à isoétides des lacs oligotrophes côtiers aquitains, écosystèmes uniques à l'échelle européenne, sont fortement menacés. Les marqueurs microsatellites développés par ISOTEIDES pour caractériser la diversité génétique et l'analyse de la contribution relative des processus spatiaux et environnementaux dans la structuration de la diversité taxonomique et génétique amènent à des recommandations pour la gestion conservatoire de ces lacs à échelle locale mais aussi régionale.

ISOÉTIDES - Diversité génétique et taxonomique des communautés à isoétides des lacs et étangs du littoral aquitain

Résumé

Les communautés à isoétides des lacs oligotrophes côtiers aquitains constituent des écosystèmes uniques à l'échelle européenne, abritant des habitats prioritaires au titre de Natura 2000 (3110). Ces communautés de macrophytes aquatiques, adaptées aux conditions oligotrophes, subissent des pressions anthropiques croissantes : eutrophisation, changement climatique et espèces invasives. Dans ce contexte, comprendre les processus structurant leur biodiversité constitue un enjeu majeur pour leur conservation à long terme.

Cette thèse adopte une approche intégrative combinant écologie des communautés et génétique du paysage pour démêler la contribution relative des processus spatiaux et environnementaux dans la structuration de la diversité taxonomique et génétique. Nous avons développé des marqueurs microsatellites pour caractériser la diversité génétique de huit espèces de macrophytes (*Baldellia ranunculoides*, *Eleocharis multicaulis*, *Juncus bulbosus*, *Littorella uniflora*, *Lobelia dortmanna*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus pungens*) à travers 27 stations réparties dans quatre lacs du littoral aquitain (Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet, Parentis-Biscarrosse).

Nos résultats révèlent des niveaux de différenciation génétique exceptionnellement élevés (FST moyen 0.26-0.27), trois à dix fois supérieurs aux valeurs typiques des plantes aquatiques, indiquant un flux génique extrêmement limité entre populations. L'isolement par la distance constitue le patron dominant, bien que son intensité varie fortement selon les taxons (de $r = 0.10$ pour *E. multicaulis* à $r = 0.80$ pour *J. bulbosus*), reflétant des capacités de dispersion contrastées. Parmi les espèces étudiées, deux bénéficient d'un statut de protection nationale et font l'objet d'un Plan National d'Actions : *L. dortmanna* présente une situation critique avec une hétérozygotie quasi-nulle ($H_e < 0.05$), tandis que *L. uniflora*, malgré un FST brut modéré, révèle une différenciation normalisée parmi les plus élevées du réseau ($F'ST = 0.72$).

L'analyse des corrélations espèces-diversité génétique (SGDC) révèle une dépendance d'échelle marquée : l'absence quasi-généralisée de la corrélation à l'échelle locale (α -SGDC) contraste avec l'émergence de corrélations robustes à l'échelle régionale (β -SGDC) pour les huit. Chez *B. ranunculoides* et *S. pungens*, les seules espèces présentant des SGDC significatives aux deux échelles, la corrélation est entièrement liée aux facteurs environnementaux (surface lacustre, connectivité hydraulique, couvert naturel), démontrant que richesse spécifique et diversité génétique répondent parallèlement aux mêmes gradients sans corrélation directe. L'absence de corrélation entre coefficients α -SGDC et β -SGDC suggère que processus démographiques locaux et contraintes de dispersion régionales structurent la biodiversité de manière largement découplée.

Cette thèse démontre que limitation de dispersion et filtrage environnemental agissent conjointement pour structurer la biodiversité des lacs côtiers aquitains. La conservation des habitats d'intérêt communautaire 3110 nécessite une approche équilibrée combinant gestion locale de la qualité d'habitat (maintien de l'oligotrophie et limitation des perturbations anthropiques) et gestion régionale de la connectivité fonctionnelle, avec une attention particulière pour *L. dortmanna* (espèce parapluie génétiquement appauvrie) et *L. uniflora* (populations fortement différenciées nécessitant une gestion distincte).

Publication

Debailleul E.-M., Jamoneau A. and Lepais O. (2026) Genetic diversity of aquatic macrophytes in Aquitaine lakes. *Conservation Genetics*, 27 (1)



THÈSE
2021-2024

Une démarche analytique novatrice basée sur les formes de distribution de traits des espèces végétales

Contacts

Pascal Carrère

pascal.carrere@inrae.fr

Katja Klumpp

katja.klumpp@inrae.fr

Nicolas Gross

nicolas.gross@inrae.fr

Date de démarrage : 01/12/2021

Date de soutenance : 18/12/2024

Manuscrit : tel-05006126

Unité d'accueil : UREP

Centre INRAE : Clermont Auvergne
Rhône Alpes

Direction de la thèse : Pascal
Carrère

Encadrement de la thèse : Katja
Klumpp et Nicolas Gross

Doctorant.e: Nathan Rondeau
Université et école doctorale :
Université Clermont Auvergne;
École Doctorale des Sciences de la
Vie, Santé, Agronomie,
Environnement ED SVSAE, ED 65

Financements : Métaprogramme
Biosefair / Clermont-Auvergne-
Métropole

Disciplines impliquées

Écologie
Agronomie

La démarche analytique novatrice (SKR) développée dans PRAIRIES MC CC couplée à un important jeu de données sur des prairies permanentes du Massif Central a montré que la dynamique des distributions de traits est dépendante des pratiques de gestion. Dans les prairies non fertilisées les distributions de traits sont remarquablement équitables et stables. L'arrêt de la fertilisation permet le recrutement à long terme d'une flore prairiale riche et diversifiée. L'approche SKR peut aider à concevoir des modes de gestion adaptés à la préservation et à la restauration de la biodiversité, ainsi qu'au maintien de la multifonctionnalité des écosystèmes.

PRAIRIES-MC CC - Réponse fonctionnelle des prairies du Massif central au changement climatique : identifier le rôle de la biodiversité à court, moyen, et long terme

Résumé

Comprendre et prédire la dynamique de la biodiversité sous contraintes du changement global représente un défi scientifique majeur. Cependant, la réponse de la biodiversité au changement global est intrinsèquement complexe. En effet, les facteurs de changement en jeu n'affectent pas seulement la diversité des espèces et leur abondance, mais modifient également les interactions biotiques entre espèces, ce qui impacte l'assemblage des communautés et leurs dynamiques. Dans ce contexte, l'étude de la diversité des traits fonctionnels pourrait permettre des avancées significatives car les traits reflètent la manière dont les espèces répondent et influencent leur environnement. Pour rendre l'approche fonctionnelle opérationnelle à l'étude de la complexité des systèmes écologiques, nous avons développé une démarche analytique novatrice qui repose sur l'étude des formes de distribution de traits. La forme des distributions de traits peut être caractérisée par la relation entre la skewness et la kurtosis : la SKR. Plus précisément, nous avons développé deux indicateurs clés (Chapitre 1), dérivés de la SKR : le TADeve qui caractérise l'équitabilité fonctionnelle, et le TADstab qui caractérise la stabilité des distributions de traits. En nous appuyant sur les prairies permanentes comme modèle d'étude, nous avons mis en avant la pertinence de l'étude de l'équitabilité (TADeve) et de la stabilité (TADstab) des distributions de traits afin de dissocier l'influence de processus déterministes (p.ex. filtre de l'habitat, différenciation de niche) de la stochasticité inhérente aux systèmes écologiques (Chapitre 1). La mobilisation d'un jeu de données de suivi de prairies permanentes gérées de manière contrastée sur le long terme (17 ans), nous a permis de montrer que la dynamique des distributions de traits n'était pas aléatoire mais dépendante des pratiques de gestion (Chapitre 2). Les prairies gérées de manière intensive (haut niveau de fertilisation) sont associées à des distributions de traits instables et inéquitables. Ces résultats sont cohérents avec un scénario théorique du « filtre de l'habitat » et l'effet d'une compétition intense limitant la diversité. Dans le cas des prairies gérées de manière extensive (absence de fertilisation), les distributions de traits sont remarquablement équitables et stables. Ces résultats sont cohérents avec un scénario théorique de la « différenciation de niche » prédisant une coexistence stable d'espèces fonctionnellement contrastées. Par ailleurs, nous avons montré que l'arrêt de la fertilisation entraîne, en quelques années, une convergence vers des distributions de traits équitables et stables, favorisant ainsi le recrutement à long terme d'une flore prairiale riche et diversifiée. Nous montrons également que l'équitabilité et la stabilité des distributions de traits s'expliqueraient par l'émergence d'une complémentarité entre espèces dominantes et subordonnées permettant une stabilisation sur le long terme de l'assemblage fonctionnel et de toute la communauté végétale (Chapitre 3). Enfin, une étude comparative des patrons de diversité fonctionnelle, entre des communautés prairiales gérées et des communautés végétales naturelles, nous a permis de montrer que ces communautés partagent des organisations fonctionnelles similaires. L'observation de patrons communs dans le temps et dans l'espace suggère l'existence de règles générales déterminant à la fois l'assemblage, la diversité et la dynamique des communautés prairiales. En conclusion, l'approche SKR semble adaptée à l'étude de systèmes complexes dynamiques, tels que les systèmes écologiques en contexte de changement global. À l'ère de l'anthropocène, l'identification de règles générales d'assemblage basées sur les traits permettrait de concevoir des modes de gestion adaptés à la préservation et à la restauration de la biodiversité, ainsi qu'au maintien de la multifonctionnalité des écosystèmes.

Publication

Rondeau, N., Le Bagousse-Pinguet, Y., Louault, F., Martin, R., Carrère, P., Klumpp K., Liancourt, P., Gross, N. (2024) Dépôt de données le 17 Juin : "Maximizing functional evenness on multiple trait dimensions promotes the long-term persistence of grassland species richness". <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.25764975.v10>



THÈSE
2021-2025

Contacts

Aliénor Jeliaskov

alienor.jeliaskov@inrae.fr

Guillaume Thirel

guillaume.thirel@inrae.fr

Date de démarrage : 01/10/2021

Date de soutenance : 27/03/2025

Manuscrit : [tel-05244702](tel:05244702)

Unité d'accueil : UR HYCAR

Centre INRAE : Ile-de-France Jouy-en-Josas - Antony

Direction de la thèse : Gaël

Grenouillet (Laboratoire EDB, UMR CNRS 5174, Université Paul Sabatier Toulouse 3)

Encadrement de la thèse : Aliénor Jeliaskov et Guillaume Thirel

Doctorant.e : Swann Felin

Université et école doctorale :

Université Paul Sabatier Toulouse 3, SEVAB, ED458

Financements : [Métaprogramme](#)

[Biosefair](#) / Agence de l'eau Seine Normandie

Disciplines impliquées

Écologie des milieux aquatiques
Hydrologie

Impacts de la connectivité, de la gestion et des scénarios climatiques sur les communautés de poissons de rivière

SEINARIOS éclaire sur le rôle de la connectivité sur la composition des communautés de poissons de rivière ainsi que sur l'influence de la gestion et du changement climatique sur les futurs écosystèmes fluviaux. Elle fournit des pistes pratiques pour la gestion future et de nouvelles méthodologies pour évaluer la connectivité dans les réseaux fluviaux et l'intégrer dans les approches de modélisation de la distribution des poissons de rivière, en évaluant l'importance du changement climatique et de la gestion territoriale sur la conservation des espèces de poissons.

SEINARIOS - Prospectives de biodiversité dans le bassin de la Seine face aux changements globaux sous contraintes de connectivités

Résumé

Les écosystèmes dulcicoles sont parmi les plus riches en espèces au monde. Le changement climatique, l'anthropisation et la fragmentation des rivières, mettent en péril les communautés de poissons et leur conservation future. Malgré un besoin urgent de connaissances sur la conservation des écosystèmes d'eau douce et des poissons, l'influence des stressors anthropiques sur la répartition et la conservation des poissons est encore mal comprise. Cette thèse visait à combler ce manque de connaissances en étudiant le rôle de la gestion des bassins versants et de la fragmentation sur la répartition des espèces de poissons au 21^e siècle dans un contexte de changement climatique, afin de fournir des informations et outils à l'appui à la gestion des rivières. Pour ce faire, nous avons étudié la connectivité longitudinale et son influence sur les communautés de poissons fluviaux, et construit des scénarios de gestion des bassins versants que nous avons intégrés dans des modèles de distribution des espèces pour étudier l'influence du changement climatique et de la gestion des bassins versants sur les futures communautés de poissons, avant d'étudier la répartition de l'incertitude entre ces deux composantes. Le bassin Seine-Normandie a été choisi comme point focal de cette étude. Un ensemble de données comprenant plus de 2 000 sites d'étude a été compilé pour l'analyse de la connectivité longitudinale. Des indices de connectivité informés par les caractéristiques fonctionnelles des poissons ont été développés, certains intégrant des aspects locaux. Nous avons pu évaluer l'importance relative de la connectivité dans la distribution des poissons, les indices qui incluaient le contexte local étant les plus performants, et constaté que les barrages jouent un rôle central dans la détermination de la distribution des poissons. Afin d'explorer les scénarios futurs possibles, quatre projections climatiques ont été sélectionnées sur deux horizons temporels, 2050 et 2100. Nous avons construit quatre scénarios de gestion pour décrire différentes orientations politiques futures en matière de restauration et de gestion des rivières. Les multiples perspectives de distribution des espèces ainsi obtenues grâce aux modèles d'ensemble ont montré un déclin des communautés de poissons lié au changement climatique. Les scénarios de restauration limitée étaient liés à des taux élevés d'extirpation tandis que les scénarios avec des perspectives plus ambitieuses entraînaient un taux de survie accru de nombreuses espèces. Une grande variabilité selon les espèces a néanmoins empêché l'identification d'un scénario idéal. Enfin, nous avons constaté que dans la plupart des cas, le changement climatique contribuait à une plus grande part d'incertitude. La part portée par la gestion territoriale était néanmoins importante, variant entre 6 % et 30 % en moyenne selon les espèces. Certaines espèces (l'ablette, le gardon) plus tolérantes aux facteurs de stress environnementaux associés au changement climatique étaient plus impactées par la gestion territoriale dans des sites spécifiques. Grâce à cette thèse, nous avons apporté des éclairages sur le rôle de la connectivité sur la composition des communautés de poissons de rivière ainsi que sur l'influence de la gestion et du changement climatique sur les futurs écosystèmes fluviaux. Nous avons également pu fournir des pistes pratiques pour la gestion future et de nouvelles méthodologies pour évaluer la connectivité dans les réseaux fluviaux et l'intégrer dans les approches de modélisation. Nous avons produit des futurs plausibles pour la distribution des poissons de rivière, nous permettant d'évaluer l'importance du changement climatique et de la gestion territoriale sur la conservation des espèces de poissons. Nous pensons que bon nombre de ces approches peuvent contribuer à la création des connaissances nécessaires à la mise en œuvre des mesures requises pour préserver les écosystèmes fluviaux dans les décennies à venir.

Publication

Felin, S., Belliard, J., Grenouillet, G., Moatar, F., Le Pichon, C., Thieu, V., Thirel, G., Jeliaskov, A. (2025) The role of river connectivity in the distribution of fish in an anthropized watershed. *Science of the Total Environment*, n°959, pp.178204



THÈSE

2022-2025

Contacts

Jérémie Lebrun

jeremie.lebrun@inrae.fr

Aliénor Jeliakzov

alienor.jeliakzov@inrae.fr

Date de démarrage : 01/02/2022

Date de soutenance : 25/03/2025

Manuscrit : [tel-05064563](tel:05064563)

Unité d'accueil : [UR HYCAR](#)

Centre INRAE : Ile-de-France Jouy-en-Josas - Antony

Direction de la thèse : Julien Tournebize

Encadrement de la thèse : Jérémie Lebrun et Aliénor Jeliakzov

Doctorant.e : Alexandre Michel

Université et école doctorale : AgroParisTech - ABIES

Financements : [Métaprogramme Biosefair](#) / Office Français de la Biodiversité - Programme ECOPHYTO

Disciplines impliquées

Écologie des milieux

Écotoxicologie

Écologie

Sciences de l'environnement

Comprendre les impacts potentiels des flux de contaminants d'origine agricole sur la faune aquatique dans les Zones Tampons Humides Artificielles

SYNBIOTOX en étudiant une Zone Tampon Humide Artificielle (ZTHA) pilote située en Seine-et-Marne par des suivis écologiques et écotoxicologiques montre que le risque induit par les flux de contaminants d'origine agricole dans la ZTHA est important pour les amphibiens, et que des effets négatifs comportementaux et écologiques s'exercent sur la faune aquatique. Cette thèse permet de mieux comprendre les impacts potentiels des flux de contaminants d'origine agricole sur la faune aquatique dans les ZTHA.

SYNBIOTOX - Synchronismes et antagonismes dans les relations entre environnement agricole, biodiversité et fonctions écologiques en Zone Tampon Humide Artificielle

Résumé

Les contaminants d'origine agricole, incluant les pesticides et les nitrates, peuvent être transférés jusqu'à l'hydrosphère, et ainsi avoir des effets néfastes sur les organismes et sur les écosystèmes aquatiques. Les Zones Tampons Humides Artificielles (ZTHA) peuvent être implantées dans le paysage agricole pour réduire le transfert de contaminants d'origine agricole dans l'hydrosphère grâce à des propriétés épuratoires naturelles. Cependant, bien que leur but premier soit de réduire la pollution du milieu aquatique, paradoxalement, les ZTHA peuvent constituer des milieux intercepteurs et concentrateurs de pesticides et nitrates, avec les répercussions négatives que ces contaminants peuvent engendrer sur les organismes aquatiques, faisant des ZTHA des potentiels pièges écologiques pour la faune aquatique.

Par l'étude d'un site pilote situé en Seine-et-Marne (France) et sujet à un suivi de la qualité de l'eau depuis 2012, la présente thèse vise à évaluer le potentiel pour une ZTHA agricole à agir comme un piège écologique pour les amphibiens et les invertébrés aquatiques autochtones.

Au travers d'un ensemble de suivis écologiques et écotoxicologiques multi-niveaux et in situ, les résultats obtenus tendent à montrer que le risque induit par les flux de contaminants d'origine agricole dans la ZTHA est important pour les amphibiens, et que des effets négatifs sub-cellulaires, comportementaux et écologiques s'exercent sur la faune aquatique. Ce travail permet de mieux comprendre les impacts potentiels des flux de contaminants d'origine agricole sur la faune aquatique dans les ZTHA.

Publication

Michel, A., Tonial, J., Bettencourt-Amarante, S., Chaumont, C., Girondin, M., Tournebize, J., Jeliakzov, A., Lebrun, J. D. (2026) First in situ application of a non-invasive sampling approach to assess pesticide effects on amphibian enzymatic activities. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 8, pp.430-455

Les recherches en cours



Contacts

Pilar Fernandez

maria-del-pilar.fernandez-conradi-
algarin@inrae.fr

Yoan Paillet

yoan.paillet@inrae.fr

Mots clés

Une seule santé

Biodiversité

Forêt

Risque incendie

Maladie de Lyme

Disciplines impliquées

Écologie forestière

Écologie du feu

Écologie de la santé

Génétique

Biologie des populations

Téledétection

Phytopathologie

Anthropologie sociale

Services écosystémiques

Réseaux trophiques

Modélisation

Départements concernés

[ACT](#)

[ECODIV](#)

[SA](#)

Unités impliquées

[URFM](#)

[UR LESSEM](#)

[UMR RECOVER](#)

[UMR BIOEPAR](#)

[UR EFNO](#)

[URZF](#)

[UMR Silva](#)

[UMR TETIS](#)

[UREP](#)

[UMR Biogeco](#)

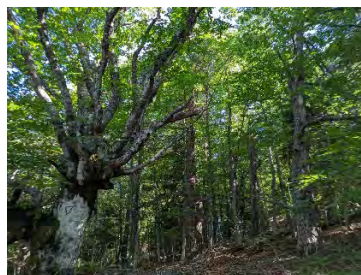
Partenaires

[Laboratoire Chrono-Environnement](#)

[Université Marie et Louis Pasteur](#)

Comprendre les liens entre santés forestière et humaine, vulnérabilité aux changements globaux et diversité biologique

Les forêts abritent une biodiversité exceptionnelle et fournissent des services écosystémiques essentiels, allant de la séquestration du carbone à la régulation des maladies. Pourtant, la déforestation, la surexploitation et les pressions anthropiques fragilisent leur résilience et favorisent l'émergence de risques sanitaires. Dans ce contexte, l'approche « One Health » – liant santé humaine, animale et environnementale – offre un cadre pertinent pour comprendre les interactions entre santé forestière et santé humaine. Le projet SALUD propose d'explorer ces liens en étudiant les impacts de la biodiversité et de l'historique de gestion forestière sur deux enjeux majeurs : les maladies transmises par les tiques et le risque d'incendie.



© Pilar Fernandez

Objectifs

Le projet SALUD vise à mieux comprendre comment l'état de santé des écosystèmes forestiers influence directement ou indirectement la santé humaine. Pour cela, il s'articule autour de quatre objectifs principaux :

- Évaluer l'influence de l'historique de gestion forestière sur la biodiversité, la structure des peuplements et la résilience des forêts. Les vieilles forêts, non exploitées depuis plusieurs décennies, serviront d'état de référence pour caractériser un écosystème en « bonne santé » ;
- Analyser la vulnérabilité des forêts face à des aléas majeurs : le risque d'incendie et les menaces phytosanitaires (champignons et insectes pathogènes) ;
- Quantifier la densité des populations de tiques et la prévalence des agents pathogènes (notamment *Borrelia* spp.) le long d'un gradient de gestion forestière. Cette approche permettra de tester les hypothèses de dilution et d'amplification des risques zoonotiques en lien avec la biodiversité ;
- Intégrer ces différentes dimensions pour comprendre comment la santé forestière, e.g. via les réseaux trophiques et les services écosystémiques, influence la santé humaine. Il apportera ainsi des connaissances indispensables pour concevoir des indicateurs opérationnels et guider des stratégies de gestion durable conciliant conservation, prévention des risques et bien-être humain.

Démarches

Pour atteindre ces objectifs, SALUD adopte une approche pluridisciplinaire et multi-échelles, combinant écologie, génétique, épidémiologie et modélisation.

La démarche repose d'abord sur la sélection de « sites pilotes » en hêtraie-sapinière de montagne représentatifs de gradients d'historique de gestion (forêts exploitées, forêts où l'exploitation a été arrêtée depuis quelques décennies, vieilles forêts). Sur ces sites, seront réalisés des inventaires multi-taxonomiques (plantes, champignons, insectes, oiseaux, mammifères, chauves-souris), complétés par des mesures structurelles (composition, régénération, bois mort, ouverture de canopée) et génétiques (diversité adaptative des arbres).

Parallèlement, la densité des tiques et la prévalence des pathogènes seront évaluées grâce à des collectes standardisées et des analyses moléculaires. Ces données seront mises en relation avec la composition des communautés d'hôtes identifiées par piégeages, suivis acoustiques et relevés floristiques.

Concernant le risque incendie, des mesures de combustibilité (bois mort, microclimat, teneur en eau de la litière) et des modélisations permettront d'évaluer la vulnérabilité des peuplements.

L'ensemble des données sera intégré dans des analyses de réseaux trophiques et des modèles multi-services afin de relier santé forestière, biodiversité et risques sanitaires. Cette approche intégrative, s'appuyant également sur des bases de données nationales et la téledétection, permettra de produire des indicateurs fiables pour évaluer et anticiper les impacts de la gestion forestière sur la santé humaine et écosystémique.



Contacts

Franck Jabot

franck.jabot@inrae.fr

Fabien Laroche

fabien.laroche@inrae.fr

Mots clés

Paysages hétérogènes

Lisières/écotones

Flux d'organismes

Méta-écosystème

Barcoding moléculaire massif

Disciplines impliquées

Mathématiques/statistiques

Écologie des communautés

Biologie moléculaire

Départements concernés

ACT

AQUA

ECODIV

SPE

Unités impliquées

UREP

UMR DYNAFOR

UR HYCAR

URZF

UMR BAGAP

UMR IGEP

UE Saint-Laurent-de-la-Prée

Inférer les flux d'arthropodes dans les écotones entre milieux (semi-) naturels et cultivés

De nombreux travaux empiriques ont documenté le lien entre structure du paysage et biodiversité et donnent des pistes concrètes pour l'intensification écologique des paysages agricoles. Néanmoins, elles reposent sur des processus écologiques encore mal compris, qui façonnent la réponse des organismes à la multiplication des écotones d'origine anthropique. Parmi ces processus, le mouvement des organismes (prospection alimentaire, dispersion, spill-over) et leurs préférences d'habitat jouent un rôle central. Quantifier ces processus permettrait de mieux prédire les effets du paysage et des infrastructures écologiques (haies, bandes enherbées).



© F. Jabot, image produite par IA (DALL-E)

Objectifs

Nous proposons d'œuvrer pour une meilleure compréhension des processus écologiques influençant la dynamique des organismes au sein de paysages hétérogènes, 1) en réunissant un consortium interdisciplinaire (mathématiques, écologie, biologie moléculaire) de partenaires intéressés par les écotones et 2) en réalisant un projet pilote pour servir de preuve de concept. Ce projet visera à développer des méthodes d'inférence originales des flux d'arthropodes à l'interface entre habitats, à partir de données de distribution spatiale des espèces à haute résolution, tant spatialement (transects métriques) que taxonomiquement (barcoding ADN massif), en se focalisant sur des taxons prédateurs (coléoptères et araignées) pour leur potentiel de contrôle biologique.

Nous concentrerons nos efforts sur trois types d'interfaces : cultures de blé d'un côté, forêts, prairies ou ripisylves de l'autre. Ces trois interfaces permettent d'étudier le rôle des habitats semi-naturels (forêts/prairies/ripisylves) dans la fourniture de services écosystémiques pour l'agriculture (régulation de ravageurs). Des réunions du consortium en amont et en aval de ce projet permettront de préparer le montage d'un projet type ANR d'ici la fin de ce parcours, en capitalisant sur les résultats du projet exploratoire.

Démarches

Nous échantillonnerons les communautés d'invertébrés terrestres le long de transects perpendiculaires à l'interface, via des méthodes d'aspiration « suction-sampling » pour un spectre large d'arthropodes - en se focalisant sur les invertébrés prédateurs ayant un rôle potentiel de contrôle biologique. Les organismes échantillonnés seront déterminés à l'espèce par barcoding ADN massif, afin de déterminer les profils d'abondance le long des transects pour chaque population constituant les communautés. Ces profils d'abondances (clines) permettront d'alimenter le développement au sein du projet de méthodes d'inférence nouvelles, inspirées de la génétique des populations, afin d'estimer les flux d'invertébrés entre parcelles. L'originalité du projet est donc double. D'un point de vue biologique, il s'agira d'aller au-delà des analyses de patrons (distance et magnitude d'effet lisière) et d'approfondir les processus spatiaux impliqués en estimant et en intégrant de façon explicite les flux d'organismes entre habitats. D'un point de vue technique, il s'agira de mettre en œuvre des méthodologies récentes et innovantes dites de « méGabarcoding » qui consistent à barcoder de manière massive des dizaines de milliers d'individus, ce qui permet d'accéder non seulement à la diversité des communautés (comme le méTabarcoding), mais aussi d'accéder à l'abondance des individus de chaque espèce, voire à un certain niveau de polymorphisme intraspécifique. En couplant cette approche de méGabarcoding à l'acquisition de photographies des individus échantillonnés, nous participerons au développement en cours de systèmes de reconnaissances automatiques à partir d'images (et d'IA) des invertébrés terrestres, afin d'aller vers des méthodes de monitoring non létales. Ces développements méthodologiques contribueront à moderniser les méthodes de « monitoring » de la biodiversité et nous permettront de faire un bond en avant dans la compréhension de l'écologie des écotones.



Contacts

Luc Barbaro

luc.barbaro@inrae.fr

Audrey Alignier

audrey.alignier@inrae.fr

Mots clés

Agriculture biologique

Biodiversité

Communautés d'oiseaux

Écologie acoustique

Paysages sonores

Disciplines impliquées

Agroécologie

Bioacoustique

Biogéographie

Écologie du paysage

Écologie des communautés

Écologie historique

Ethnoécologie

Géographie humaine

Géomatique

Intelligence artificielle

Modélisation

Téledétection

Départements concernés

[ACT](#)

[AGROECOSYSTEM](#)

[ECODIV](#)

[SPE](#)

Unités impliquées

[UMR DYNAFOR](#)

[UMR BAGAP](#)

[UR PSH](#)

[UREP](#)

[UMR SAVE](#)

[UMR LISAH](#)

Partenaires

[SETE - CNRS](#)

[OFB](#)

[Université de Caen Normandie](#)

[UMR Chrono-environnement - CNRS](#)

[/ Université Marie et Louis Pasteur](#)

[University of Helsinki \(Finlande\)](#)

Un réseau multirégional de suivi de la biodiversité acoustique des paysages ruraux

FARMSOUND a pour but de (1) fédérer un réseau de suivi des paysages acoustiques ruraux en France et de leur biodiversité sonore ; (2) d'analyser conjointement les facteurs déterminant leur diversité acoustique et la composition des communautés acoustiques d'oiseaux ; (3) de proposer des indicateurs socio-écologiques de valeur culturelle des paysages sonores et de leur diversité acoustique. FARMSOUND testera l'hypothèse de réponses positives de la biodiversité acoustique au degré de naturalité et à la diversité d'intensités de gestion agricole des paysages ruraux, et en particulier à la quantité et à la configuration actuelles et historiques des prairies permanentes et la proportion de parcelles exploitées en agriculture biologique à l'échelle du paysage.



© Luc Barbaro

Objectifs

FARMSOUND a pour objectif de caractériser de manière intégrative, non-invasive et innovante la biodiversité des paysages ruraux français constitués de mosaïques de cultures, prairies et forêts, en tenant compte à la fois de leur large diversité inter-régionale et de leur forte hétérogénéité intra-régionale. Pour y répondre, nous développons de nouveaux indicateurs socio-écologiques basés sur la diversité acoustique des paysages sonores enregistrés par capteurs automatiques passifs.

Les indices acoustiques calculés sur les sonogrammes permettent de caractériser la diversité et la complexité acoustique globale d'un paysage sonore. Ils permettent aussi de quantifier la part relative de biophonie, de géophonie ou d'anthropophonie et leur co-occurrence de manière rigoureuse, standardisée, répétable et non-invasive. L'identification systématique des communautés acoustiques d'oiseaux par algorithme d'apprentissage profond sera également réalisée en 2^e année du projet.

FARMSOUND s'appuie sur un réseau de sites enregistrés par acoustique passive dans une douzaine de sites-ateliers répartis dans 8 régions françaises avec des capteurs standards. Les données acoustiques acquises pour ces sites (N = environ 500 paysages sonores enregistrés au terme du projet) permettront de tester l'effet de la composition et de la configuration actuelle et passée des paysages ruraux sur leurs diversités et communautés acoustiques, ainsi que celui de l'intensité des pratiques agricoles (% d'agriculture biologique) et du degré de naturalité du paysage environnant.

Démarches

Les questionnements et démarches de FARMSOUND sont structurés en une tâche principale de modélisation de la réponse des indices acoustiques à la structure et à l'intensité de gestion des paysages agricoles actuels et trois tâches interdisciplinaires supplémentaires.

(1) Quel est l'effet de la quantité historique de prairies permanentes dans le paysage sur les diversités et les communautés acoustiques actuelles ? L'hétérogénéité de composition et de configuration a-t-elle changé depuis l'immédiat après-guerre ? Existe-t-il un lien entre les changements de paysage et les tendances d'évolution des principales espèces d'oiseaux chanteurs des paysages agricoles au cours des dernières décennies ?

(2) Comment optimiser l'utilisation des algorithmes de reconnaissance automatisée des vocalisations des espèces et des diverses sources de sons, qu'elles soient biophoniques, géophoniques ou techno-anthropophoniques ? Peut-on caractériser de manière standardisée des « communautés acoustiques » d'oiseaux et comment définir ce nouveau concept de communauté par rapport à celui utilisé depuis des décennies en écologie des communautés ?

(3) La diversité acoustique est-elle un bon indicateur de la qualité sonore des paysages agricoles ? Peut-on lier une perception de bien-être acoustique avec la composition et la richesse des communautés d'oiseaux d'un paysage sonore ? Peut-on estimer la valeur culturelle des chants d'oiseaux d'une communauté et existe-t-il un lien entre les traits acoustiques des chants d'oiseaux et leur contribution à la diversité culturelle des chants ?



Contacts

Aurélie Husté

aurelie.huste@univ-rouen.fr

Mario Lepage

mario.lepage@inrae.fr

Mots clés

Invertébrés aquatiques souterrains

Dynamique spatio-temporelle

Dispersion

Bioindicateurs

Échanges nappes-rivières

Disciplines impliquées

Écologie des communautés

Écologie moléculaire

Hydrobiologie

Départements concernés

AQUA

ECODIV

Unités impliquées

USC Ecodiv-Rouen

UR EABX

USC LEHNA

UMR Biogeco

Partenaires

UMR M2C - CNRS / Université de

Rouen Normandie

SEPANSO Aquitaine

Étude de la diversité et de la dynamique spatio-temporelle de la faune des eaux souterraines pour évaluer les échanges nappes-rivières et la qualité biologique des aquifères

Les eaux souterraines sont des écosystèmes critiques comptant des habitats parmi les plus rares de la planète avec une faune d'invertébrés aquatiques inféodée à ce milieu dite « faune stygobie ». Les connaissances taxonomiques et écologiques sur ces milieux et leur faune sont extrêmement dispersées en France et dans le monde. SOUTERRE va étudier les assemblages de ces espèces et essayer de comprendre leur dispersion.

La faune stygobie interagit avec les écosystèmes de la surface de manière plus ou moins importante en fonction des conditions hydrogéologiques. Alors qu'ils subissent de façon certaine les effets des activités anthropiques et du changement global comme les autres écosystèmes de surface, ces écosystèmes très particuliers sont peu étudiés. Ils ne font d'ailleurs partie d'aucun plan de gestion, ni de conservation.



© Louise Lejosne

Objectifs

SOUTERRE propose :

1. D'identifier les assemblages de stygobies présents dans les eaux souterraines normandes et de déterminer les facteurs biotiques et abiotiques qui façonnent ces assemblages,
2. D'utiliser cette faune comme bioindicateurs de la qualité biologique et de la vulnérabilité des masses d'eaux souterraines en testant sur les données acquises en Normandie et en Nouvelle-Aquitaine,
3. De comprendre la dynamique spatio-temporelle des stygobies entre les écosystèmes superficiels et souterrains,
4. De comprendre la dispersion (i.e. flux de gènes) actuelle des individus entre les populations en Normandie et les événements de dispersion passés (depuis le pléistocène) aux échelles nationale et européenne,
5. D'initier avec l'ensemble des données acquises des expérimentations utilisant l'ADN environnemental pour des échantillonnages à venir dans les eaux souterraines.

Démarches

Un échantillonnage de plusieurs sites présentant des caractéristiques différentes est réalisé mensuellement en 2025 afin de pouvoir inventorier et caractériser les communautés de la faune des eaux souterraines et les facteurs biotiques et abiotiques qui façonnent les assemblages d'espèces. Ce suivi permettra également de tester si ces assemblages sont constants au cours des saisons ou s'ils varient en fonction notamment de conditions météorologiques différentes (e.g. forçages météorologiques).

L'échantillonnage est réalisé à l'aide d'un pompage de 300 L d'eau, de filets Surbers et de filets planctons afin d'avoir une bonne représentativité des différents groupes taxonomiques présents quelle que soit leur taille : des copépodes (de l'ordre du mm) aux amphipodes (de l'ordre du cm).

Ces données seront ensuite utilisées pour tenter d'élaborer des bioindicateurs des eaux souterraines.

Des analyses moléculaires seront également réalisées sur une espèce du genre *Proasellus* ainsi qu'une espèce du genre *Niphargus* afin de pouvoir étudier les flux de gènes et la structuration génétique des populations sur des espèces possédant des caractéristiques de dispersion différentes à l'échelle de la Normandie. À plus large échelle et en collaboration avec d'autres équipes de recherche en Europe, des approches de phylogéographie seront utilisées afin d'étudier les événements de colonisation ou de recolonisation post glaciaires des genre *Proasellus* et *Niphargus* en Europe.



Contacts

Adeline François

adeline.francois@inrae.fr

Lucie Vincenot

lucie.vincenot@univ-rouen.fr

Mots clés

Épiphytes
Biodiversité
Dendromicrohabitats
Gradient altitudinal
Changement climatique

Disciplines impliquées

Écologie des communautés
Systématique en bryologie
Metabarcoding environnemental
des communautés fongiques et
faunistiques
Biomonitoring par l'utilisation des
dendromicrohabitats comme
bioindicateur de l'évaluation de la
biodiversité
Médiation scientifique

Départements concernés

[ACT](#)
[ECODIV](#)

Unités impliquées

[UR EFNO](#)
[USC Ecodiv-Rouen](#)
[UR LESSEM](#)

Partenaires

[LECA - CNRS](#)

Biodiversité liée aux dendromicrohabitats épiphytiques le long de gradients altitudinaux

Les dendromicrohabitats (DMHs) sont des singularités morphologiques portées par les arbres qui ont de multiples rôles fonctionnels dans le cycle de vie de nombreuses espèces : abri, nourrissage, reproduction... Pour autant, peu d'études se sont intéressées aux liens entre les DMHs et les communautés microbiennes et faunistiques qu'ils hébergent. VERTYGE s'intéresse à ces fonctions au sein des DMHs épiphytiques de montagne (lierre, bryophyte, lichen) qui se distribuent selon un gradient altitudinal et selon l'étagement vertical dans l'arbre.



© Adeline François

Objectifs

VERTYGE vise à renforcer les connaissances sur le rôle des épiphytes dans la biodiversité forestière, le long de gradients altitudinaux (altitude) et verticaux (hauteur dans l'arbre) dans les Alpes françaises.

Deux principaux objectifs sont ciblés :

- Identifier les taxons animaux (micro- à macrofaune) et fongiques habitant les DMHs épiphytiques par metabarcoding environnemental,
- Comprendre comment les variations fonctionnelles et taxonomiques des DMHs (morphologie et composition) filtrent les assemblages de communautés animales et fongiques similaires, en lien avec l'altitude et la hauteur le long de l'axe principal de l'arbre.

Au-delà de production d'éléments de connaissances fondamentales, VERTYGE consolidera des outils de pilotage de gestion forestière dans un contexte de changement climatique et d'érosion de la biodiversité, et participera à la communication scientifique et la médiation grand public autour de la biodiversité forestière, des dendromicrohabitats, et des résultats de VERTYGE.

Démarches

Pour étudier les relations entre biodiversité et DMHs épiphytiques, nous proposons d'échantillonner les placettes du [réseau d'observation ORCHAMP](#) déjà décrit et valorisé. Les échantillonnages se feront sur une trentaine d'arbres.

Le long de l'axe vertical de l'arbre, les DMHs épiphytiques seront décrits à plusieurs hauteurs avec des méthodes classiques sur critères morphologiques puis échantillonnés. L'accès aux habitats *in situ* se fera par grimpe arboricole. Dans un deuxième temps, les bryophytes et lierres seront identifiés au niveau spécifique sur critères morphologiques au laboratoire. Les taxons animaux et fongiques recueillis dans les épiphytes seront identifiés par metabarcoding environnemental.

Les liens entre substrat (DMH), structure des communautés, altitude, hauteur dans l'arbre et espèce porteuse seront par la suite analysés conjointement par les différents membres du projet.

Pour communiquer les résultats et autres avancées scientifiques autour de la biodiversité forestière, un séminaire de restitution en fin de projet adossé à un séminaire destiné aux relations entre scientifiques et gestionnaires sera organisé. Les connaissances produites, méthodes, résultats et enjeux autour de la biodiversité forestière seront diffusés auprès des usagers à travers une demi-journée d'atelier de découverte grand public.



Contacts

Diana Ortiz-Vallejo

diana.ortiz-vallejo@inrae.fr

Malick Ouattara

malick.ouattara@inrae.fr

Mots clés

Biodiversité
Agroforesterie
Agroécologie
Services écosystémiques
Santé globale

Disciplines impliquées

Agronomie
Écologie
Sociologie
Géographie
Anthropologie
Sciences de gestion
Sciences de l'alimentation

Départements concernés

[ACT](#)
[AGROECOSYSTEM](#)
[TRANSFORM](#)

Unités impliquées

[UMR ABSys](#)
[UMR SAS](#)
[UMR Agronomie](#)
[UR Ecodéveloppement](#)
[UMR BAGAP](#)
[UMR SADAPT](#)
[USC LER](#)
[UMR PAM](#)

Partenaires

[Université Rennes 2](#)
[GRAB](#)
[Institut d'études politiques de Rennes](#)
[Institut Agro Dijon](#)
[Association VVOUM - Vers des vergers ouverts, urbains, méditerranéens](#)
[FiBL France - Institut de recherche de l'agriculture biologique](#)
[CIVAM SAEL - Systèmes agroécologiques en Limousin](#)
[Cirad](#)

Poser les bases d'une exploration interdisciplinaire des systèmes agroforestiers diversifiés

Les systèmes agroforestiers hautement diversifiés (vergers-maraîchers, jardins-forêts ou systèmes successionnels également appelés syntropiques), émergent en France et en Europe en raison de leur fort potentiel écologique, agronomique et social. Bien qu'ils soient prometteurs face aux enjeux actuels (perte de biodiversité, changement climatique, transition agroécologique, entre autres), leur adoption reste freinée par divers verrous techniques, économiques et institutionnels.



© Ferme Bocaux d' amour - F. Calvet

Objectifs

AgroForDiv vise à mieux comprendre le fonctionnement et les impacts des systèmes agroforestiers hautement diversifiés, encore très peu étudiés, tout en posant les bases d'une recherche participative et transdisciplinaire capable de répondre aux enjeux agronomiques, écologiques et sociétaux de l'agriculture actuelle.

AgroForDiv veut structurer un réseau interdisciplinaire de recherche sur les systèmes agroforestiers diversifiés. Pour ce faire, il s'appuie sur la co-construction d'un agenda de recherche commun afin de faire progresser collectivement la réflexion autour des axes suivants :

- Caractériser les systèmes agroforestiers hautement diversifiés en s'intéressant à leur design (agencement des espèces dans le temps et l'espace), à leur conduite (les pratiques de gestion mises en œuvre et leurs modalités), ainsi qu'aux éléments décisionnels qui les sous-tendent (les raisons des choix opérés).
- Évaluer les relations entre la biodiversité et les services écosystémiques, en tenant compte de la structure de ces systèmes (strates, diversité végétale) et de leurs modalités de gestion.
- Analyser la contribution de ces systèmes à la santé globale des sols, des écosystèmes et des humains, dans une approche intégrée de type « Une seule santé ».



Exemple de l'agencement spatial et du choix d'espèces d'un système agroforestier hautement diversifié en milieu tempéré.
Copyright © Alisha Dutt and Johanna Jacobi. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(25\)00047-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(25)00047-6)

Démarches

Différentes rencontres, temps de réflexion et webinaires réguliers permettront d'identifier les connaissances existantes et manquantes autour des systèmes agroforestiers hautement diversifiés. Elles permettront également de co-construire l'agenda de travail afin d'avancer collectivement dans la production des questions de recherche prioritaires à adresser et d'un article de positionnement. La co-construction d'un protocole de caractérisation et d'évaluation de la diversité et des services écosystémiques est également prévu.



Contacts

Jean-Yves Cornu

jean-yves.cornu@inrae.fr

Soizic Morin

soizic.morin@inrae.fr

Mots clés

Cuivre
Faible dose
Écotoxicité
Multi-cibles
Multi-compartiments
Environnementaux

Disciplines impliquées

Biogéochimie
Écologie fonctionnelle
Écologie des communautés
Écotoxicologie
Agronomie

Départements concernés

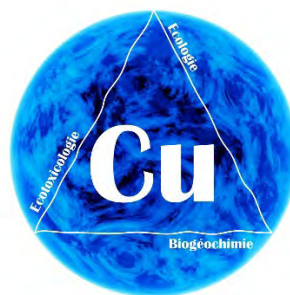
AGROECOSYSTEM
AQUA
ECODIV
SPE

Unités impliquées

UMR ISPA
UR EABX
UMR ÉcoSys
UMR SAVE

Évaluation de l'impact du cuivre sur la santé environnementale des écosystèmes terrestres et aquatiques

COP26 a pour objectif de construire un consortium interdisciplinaire autour d'une approche globale d'évaluation de l'impact environnemental de l'usage des fongicides cupriques en agriculture. En invitant agronomes, biogéochimistes, écotoxicologues et écologues à initier une réflexion commune autour du cuivre, de ses usages en protection des cultures, de sa dynamique dans les sols et les eaux, de ses effets sur les organismes telluriques et aquatiques, et en rebond sur le fonctionnement écologique des sols et des eaux, ce projet ambitionne de faire progresser INRAE sur les questions en lien avec la santé globale, notamment en permettant de l'interconnaissance entre biodiversité, services écosystémiques, santé végétale et santé animale.



© Image produite par IA

Objectifs

Le cuivre (Cu) contenu dans les fongicides cupriques utilisés pour protéger les cultures (notamment la vigne) contre le mildiou est un fongicide dont l'agriculture pourra (à moyen terme) difficilement se passer. Il convient donc, en complément de la recherche d'alternatives au Cu, d'évaluer avec précision son impact sur la santé environnementale et le fonctionnement des écosystèmes agricoles (viticoles notamment) aux doses réalistes auxquelles il s'y accumule. À ce jour, il y a un manque criant de données sur la spéciation de Cu dans les eaux naturelles et sur la toxicité de Cu à des doses réalistes pour les organismes aquatiques ou les macroorganismes du sol, ainsi que sur les impacts du cuivre sur les réseaux d'interactions trophiques impliquant ces communautés et leurs conséquences sur les fonctions écologiques qu'elles supportent.

COP26 a donc pour objectifs principaux de i) construire un consortium interdisciplinaire (agronomes, biogéochimistes, écotoxicologues et écologues) autour d'une approche globale d'évaluation de l'impact environnemental de l'usage des fongicides cupriques en agriculture et ii) d'initier une réflexion commune et décloisonnée autour du cuivre, de ses usages en protection des cultures, de sa dynamique dans les sols et les eaux, de ses effets sur les organismes telluriques et aquatiques et, en rebond, sur le fonctionnement écologique des sols et des eaux.

Démarches

COP26 permettra la construction d'une vision commune aux partenaires de l'évaluation des effets du cuivre, avec un partage d'approches (méthodologies, concepts) et d'expertises diversifiées, autour notamment de la problématique des « faibles doses », des différences entre milieux (sols et eaux de drainage de sols) et de l'appréhension de la biodisponibilité, de la bioaccumulation et de l'écotoxicité à différentes échelles d'impact.

L'organisation d'une retraite d'écriture débouchera sur la rédaction d'un article d'opinion dans lequel nous dresserons un panorama de l'état des connaissances sur le cuivre, ses effets sur les communautés et le fonctionnement des agroécosystèmes aux concentrations (et sous les formes) auxquelles il s'y accumule. Il présentera aussi les avancées conceptuelles et méthodologiques qu'il reste à faire pour mieux appréhender ses effets sur la santé globale des agroécosystèmes où il est appliqué. À travers l'expertise interdisciplinaire du consortium, COP26 fournira une réflexion sur l'impact environnemental du cuivre particulièrement éclairante pour le monde agricole et pour le législateur, sur les outils de diagnostic permettant d'évaluer la pression cuprique dans les sols et les eaux de drainage des sols viticoles, ainsi que sur les modèles utilisés pour prédire l'impact écotoxicologique des fongicides cupriques, à travers l'analyse fine qu'il proposera des relations entre biodisponibilité, bioaccumulation et écotoxicité de Cu pour un large cortège de cibles et de traits.



Contacts

Bastien Castagneyrol

bastien.castagneyrol@inrae

Baptiste Hautdidier

baptiste.hautdidier@inrae.fr

Mots clés

Services écosystémiques

Forêt urbaine

Sciences et recherches participatives

Infrastructures vertes

Disciplines impliquées

Écologie

Foresterie urbaine

Bioclimatologie

Sociologie

Géographie

Économie

Sciences de l'information

Départements concernés

[ACT](#)

[AGROECOSYSTEM](#)

[ECODIV](#)

[ECOSOCIO](#)

Unités impliquées

[UMR Biogeco](#)

[UR ETTIS](#)

[UMR ISPA](#)

[UMR ÉcoSys](#)

[UMR LISIS](#)

[UMR TETIS](#)

Partenaires

Université Lyon 3 - Faculté des
Humanités, Lettres et Sociétés

[Centre Emile Durkheim](#), URFIST
Bordeaux

[CRAUM - Chaire de recherche sur
l'arbre urbain et son milieu](#) -
Université Laval (Québec)

Forêt Urbaines et Services Écosystémiques : Évaluer pour piloter

Les arbres sont des êtres vivants constitutifs du socio-écosystème urbain. Ils sont vecteurs de services écosystémiques essentiels : ils tamponnent les températures extrêmes, atténuent les pollutions, sont un support de biodiversité et contribuent directement et indirectement à l'amélioration du bien-être. Pourtant, leur présence peut être perçue comme une nuisance – compétition pour l'espace, risque allergique, dommages aux biens et aux personnes – et leur surveillance et leur entretien engendrent des coûts pour les municipalités et les particuliers lesquels possèdent la majorité des arbres en ville. Les bénéfices des services et le coût des desservices liés aux arbres urbains sont difficilement quantifiables et comparables, faute d'un cadre d'analyse approprié.

Ce parcours est soutenu de manière conjointe par les métaprogrammes BIOSEFAIR et [BETTER](#).

Objectifs

La FAO définit la forêt urbaine comme « un réseau ou un système incluant toutes les surfaces boisées, les groupes d'arbres et les arbres individuels se trouvant en zone urbaine et périurbaine, y compris, donc, les forêts, les arbres des rues, les arbres des parcs et des jardins et les arbres d'endroits abandonnés ».

L'équilibre entre les services et les desservices écosystémiques qui lui sont associés est déterminé par l'identité, la diversité spécifique, architecturale et fonctionnelle, par l'abondance et la distribution des arbres dans l'espace urbain. Or, les caractéristiques de la forêt urbaine sont elles-mêmes les résultats de contraintes biologiques, sociologiques, économiques, et réglementaires. La forêt urbaine reflète autant les attitudes des particuliers vis-à-vis des arbres que l'évolution des politiques de la ville.

Le projet FUSEE – Forêt Urbaine et Services Écosystémiques : Évaluer pour piloter – poursuit deux objectifs :

- Construire un cadre conceptuel commun pour l'évaluation des services écosystémiques fournis par l'ensemble de la forêt urbaine qui intégrerait pleinement ses dimensions biologiques, écologiques, sociales, culturelles, économiques et politiques ;
- Développer les outils permettant d'évaluer les services et desservices tels qu'ils sont réellement, potentiellement, ou supposément fournis par les arbres en ville.



Démarches

Le projet se déploie en cinq phases successives visant à structurer une communauté scientifique interdisciplinaire autour de l'évaluation des services écosystémiques fournis par la forêt urbaine.

La phase d'amorçage (janvier 2026) établit un cadre commun d'analyse et élabore un glossaire partagé.

La phase d'acculturation (avril 2026 – mars 2027) organise une série de webinaires bimestriels réunissant scientifiques et acteurs socio-économiques pour approfondir différents services écosystémiques et discuter les verrous conceptuels et méthodologiques.

La phase de co-construction (juin 2027) rassemble chercheurs, praticiens et citoyens afin de hiérarchiser leurs préoccupations vis-à-vis des services écosystémiques et d'élaborer un questionnaire destiné aux professionnels et aux habitants, préalable à la phase suivante.

La phase de co-conception (octobre 2027) prend la forme d'un atelier d'écriture visant à définir questions prioritaires, méthodes de recherche et partenariats, ainsi que les variables nécessaires à la construction d'indicateurs spatialisables de services écosystémiques.



Contacts

Julien Barrere

julien.barrere@inrae

Maxime Lenormand

maxime.lenormand@inrae.fr

Mots clés

Services écosystémiques

Forêt

Télédétection

Écologie

Réseaux sociaux

Disciplines impliquées

Écologie

Informatique

Télédétection

Départements concernés

ACT

ECODIV

MATHNUM

Unités impliquées

UMR RECOVER

UMR AMAP

UMR TETIS

Partenaires

CEFE CNRS - Centre d'écologie
fonctionnelle et évolutive

CESAB FRB - Centre de synthèse et
d'analyse sur la biodiversité

Utilisation des réseaux sociaux et de la télédétection pour l'estimation de services écosystémiques culturels en forêt

L'optimisation des services écosystémiques fournis par les forêts constitue un enjeu de gestion forestière croissant, ce qui nécessite une quantification claire du lien entre caractéristiques du peuplement et fourniture de services. Les services d'approvisionnement et de régulation (fourniture en bois, séquestration du carbone), plus faciles à évaluer, sont souvent privilégiés. Au contraire, les services culturels (valeur esthétique, activités récréatives), sont moins considérés en raison de la difficulté de leur évaluation. Les données géolocalisées issues des réseaux sociaux offrent de nouvelles perspectives pour les quantifier. Parallèlement, le développement de la télédétection permet désormais de caractériser la structure et la composition des forêts à l'échelle nationale.



© Image produite par IA

Objectifs

RESOTEC va tester le potentiel des données de télédétection et de réseaux sociaux pour caractériser le lien entre structure et composition du peuplement forestier et services écosystémiques culturels.

Le premier objectif est d'établir une preuve de concept sur le potentiel de ces données pour améliorer notre compréhension des attributs forestiers structurant la valeur des services écosystémiques culturels en menant une première étude focalisée sur le service de valeur esthétique et paysagère. Dans la littérature, ce service est jusqu'ici principalement évalué à partir de questionnaires sociologiques : nous proposons ici une évaluation quantitative basée sur des densités de photos publiées dans le réseau social Flickr.

Le deuxième objectif est d'explorer le potentiel de diversification à la fois des données, des approches méthodologiques (e.g. crowdsourcing) et des services considérés (e.g. activités récréatives telles que la cueillette sauvage, la pratique de sport ou l'usage naturaliste) pour caractériser le lien entre attributs forestiers et services écosystémiques culturels.

Démarches

Le projet est structuré autour de deux approches complémentaires :

1. Pour répondre au premier objectif, nous allons étudier l'effet sur la valeur esthétique de métriques de structure et composition forestière ainsi que d'attributs paysagers (calculés à partir de la campagne de LIDAR HD de l'IGN et de bases de données d'occupation du sol) sur la valeur esthétique des peuplements forestiers. Pour quantifier la valeur esthétique, des données géolocalisées issues de l'application Flickr sur les 10 dernières années dans plusieurs parcs naturels régionaux à dominante forestière en région méditerranéenne (Sainte-Baume, Alpilles, Baronnies provençales) ont déjà été compilées. Nous donnerons un premier aperçu du potentiel des données issues de réseaux sociaux pour lier attributs forestiers et services écosystémiques culturels.
2. Pour répondre au deuxième objectif, nous allons fédérer un consortium de chercheurs autour de l'évaluation de services culturels afin d'explorer, à travers un atelier de 2 à 3 jours, les perspectives de construction d'un projet à plus grande ambition (type ANR). L'atelier abordera notamment les possibilités de diversifier à la fois les services culturels évalués, et des approches méthodologiques considérées.



THÈSE
2025-2028

Évaluation de l'influence de la connectivité entre les éléments boisés du paysage sur le risque acarologique : approche par modélisation

Contacts

Thierry Hoch

thierry.hoch@inrae.fr

Suzanne Bastian

suzanne.bastian@inrae.fr

Emily Walker

emily.walker@inrae.fr

Manon Guillaumin

manon.guillaumin@inrae.fr

Date de démarrage : 01/11/2025

Unité d'accueil :

UMR BIOEPAR

Centre INRAE : Pays de la Loire

Direction de la thèse : Thierry Hoch et Suzanne Bastian

Encadrement de la thèse : Emily Walker

Doctorant.e : Manon Guillaumin

Université et école doctorale :

Oniris VetAgroBio Nantes, ED

VAAME

Financements : Métaprogramme Biosefair / Région Pays de la Loire

Disciplines impliquées

Écologie

Biostatistique

Maladies zoonotiques

Épidémiologie

Contexte

L'émergence des maladies animales et zoonotiques transmises par les tiques est influencée par des interactions complexes entre les tiques, les agents transmis, les hôtes réservoirs vertébrés et leurs habitats. Les changements de composition du paysage peuvent modifier fortement les rapports entre les espèces et l'abondance des populations, jouant ainsi sur le « risque acarologique », estimé par la densité de tiques infectées par un agent pathogène.

Objectifs

Cette thèse vise à une réflexion méthodologique approfondie sur la façon de modéliser l'influence du degré de fragmentation des paysages agricoles bocagers sur le risque acarologique dans des espaces boisés, sur l'exemple des bactéries du genre *Borrelia*, agents de la maladie de Lyme. Des analyses statistiques bayésiennes sur des jeux existants de données observées et paysages réels permettront d'identifier les variables influençant le risque dans des habitats boisés d'un paysage bocager. Ces variables seront intégrées dans un modèle dynamique reposant sur le couplage entre un modèle de paysage et un modèle de transmission de bactéries au sein de populations de tiques. Développé dans un cadre conceptuel de métapopulations, ce modèle permettra d'explorer des scénarios d'une manière théorique et par confrontation avec les données, notamment sur l'influence respective des caractéristiques des éléments boisés (taille, composition) et de leur agencement dans l'espace.

Démarches

Des données ont été récoltées dans le cadre du projet BIODILUTIQUE (MP Biosefair, 2021-2023, p22), qui avait pour but d'évaluer l'influence des facteurs liés aux hôtes et aux caractéristiques du paysage sur le risque acarologique lié à différents agents pathogènes, notamment les bactéries du genre *Borrelia*.

Deux campagnes de collecte de tiques ont eu lieu dans des zones boisées de différente taille, sur le site de la zone atelier Plaine et Val de Sèvres (France). Ces tiques ont été analysées pour estimer leur portage en agent pathogène. Les données ont été géo-localisées à l'échelle du site.

Ces données pourront être complétées par l'analyse de données issues de camera-trap qui permettront d'estimer les variations de présence d'hôtes de grande taille (chevreuils notamment) dans différents éléments boisés.



Photo réalisée par IA



THÈSE

2023-2026

Contacts

Nicolas Gross

nicolas.gross@inrae.fr

Julien Pottier

julien.pottier@inrae.fr

Clélia Sirami

clélia.sirami@inrae.fr

Date de démarrage : automne
2023

Unité d'accueil : UREP

Centre INRAE : Clermont Auvergne
Rhône-Alpes

Direction de la thèse : Clélia
Sirami

Encadrement de la thèse : Nicolas
Gross et Julien Pottier

Doctorant.e : Christina El Habr
Université et école doctorale :
SEVAB Toulouse INP

Financements : Métaprogramme
Biosefair / OFB

Disciplines impliquées
Écologie des communautés
Écologie fonctionnelle
Écologie des paysages
Télédétection

Dynamique temporelle de la biodiversité et des services écosystémiques des prairies permanentes françaises face aux changements globaux

Contexte

Les prairies permanentes jouent un rôle essentiel pour le maintien de l'élevage à l'herbe et la fourniture de services écosystémiques clés pour la transition agroécologique (pollinisation, contrôle des ravageurs, fertilité des sols) et la société (stockage de carbone, purification de l'eau, valeur esthétique). En France, les prairies permanentes sont un des écosystèmes les plus diversifiés mais aussi un des plus menacés à l'échelle nationale. En effet, leur surface a considérablement diminué au cours des dernières décennies, ce qui entrave le fonctionnement des paysages agricoles ainsi que la conservation d'une biodiversité patrimoniale unique. Mais les changements globaux sont également susceptibles d'avoir un effet sur les caractéristiques des prairies restantes. Nous manquons cependant de connaissances sur la dynamique temporelle de la biodiversité et du fonctionnement écologique des prairies permanentes à l'échelle nationale, ainsi que sur les causes sous-jacentes et conséquences de cette dynamique.

Objectifs

En utilisant une base de données unique constituée par les Conservatoires Botaniques Nationaux de France, la thèse caractérisera la dynamique temporelle de la diversité taxonomique, phylogénétique et fonctionnelle des plantes des prairies permanentes à différentes échelles spatiales (de la parcelle au territoire national) au cours des dernières décennies. En croisant ces données avec des données cartographiques et statistiques, elle en évaluera ensuite les causes, notamment en termes de changements d'utilisation des terres, de structure des paysages et de climat. Enfin, en mobilisant les données issues de la télédétection, elle en évaluera les conséquences d'un point de vue fonctionnel, notamment en termes de résilience des prairies face aux aléas climatiques.

Cette thèse vise ainsi à relever des enjeux scientifiques majeurs de compréhension de la dynamique temporelle de la biodiversité en réponse à de multiples facteurs de changements globaux et de ses conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes. Elle vise également à fournir des connaissances actionnables pour améliorer la conservation des prairies et favoriser la transition agroécologique du secteur de l'élevage et son adaptation aux changements climatiques.



Prairies permanentes dans le Parc National des Pyrénées

© Gérard Balent



THÈSE
2025-2028

Justice environnementale et décision d'aménagement du territoire

Contacts

Yves Schaeffer
yves.schaeffer@inrae.fr
Mihai Tivadar
mihai.tivadar@inrae.fr
Léa Tardieu
lea.tardieu@inrae.fr
Elie Maudry
elie.maudry@inrae.fr

Date de démarrage : 11/10/2025
Unité d'accueil : [LESSEM](#)

Centre INRAE : Lyon-Grenoble
Auvergne Rhône-Alpes

Direction de la thèse : Yves
Schaeffer et Mihai Tivadar
Encadrement de la thèse : Léa
Tardieu

Docteur.e : Elie Maudry
Université et école doctorale :
EDSE Grenoble

Financements : [Métaprogramme
Biosefair](#) / FORESEE

Disciplines impliquées
Économie spatiale
Écologie

Contexte

Les régions urbaines font face à des risques environnementaux exacerbés par le changement climatique (CC). En contrôlant et en planifiant la conversion, la restauration ou la conservation des espaces de nature, l'aménagement du territoire impacte directement le bien-être des populations et leur résilience face à ces risques. En effet, les espaces de nature contribuent à la santé et au bien-être et représentent un atout d'adaptation et de résilience du fait des fonctions écologiques qu'ils assurent et des services écosystémiques (SE) qu'ils procurent (régulation des températures, des inondations, des pollutions, récréation et réduction de l'anxiété, sensibilisation/éducation à la biodiversité, etc.). Pourtant, les choix d'aménagement sont rarement étudiés sous le prisme de qui perd ou gagne des évolutions des espaces de nature et de leurs SE.

Objectifs

Les politiques d'adaptation au changement climatique fondées sur la nature n'intègrent que très rarement les dimensions sociales et économiques. La littérature a montré que cela pouvait conduire dans le cas des politiques de renaturation à privilégier des zones urbaines peu dotées en espaces de nature, mais où les populations résidentes ont des revenus et des niveaux d'éducation plus élevés, un meilleur accès à l'emploi, une espérance de vie et un accès aux services de santé plus important (Liotta et al., 2020). Plus généralement, la ségrégation socio-spatiale entraîne une répartition inégale des vulnérabilités, ainsi que des capacités d'adaptation inégales face à un environnement changeant. Il existe donc un besoin d'élargir la vision adoptée dans les politiques d'aménagement du territoire visant l'adaptation au changement climatique par la renaturation ou la lutte contre l'artificialisation pour mieux appréhender les enjeux de justice environnementale. Pour cela, nous développons des apports théoriques et empiriques sur le diagnostic de justice environnementale et la localisation des actions correctrices, par la confrontation et l'enrichissement des approches existantes, en considérant un ensemble de services écosystémiques associés aux espaces de nature.

Démarches

Dans un premier temps, la démarche inclut une revue approfondie de la littérature afin d'identifier les indicateurs existants d'inégalités et de justice environnementale, ainsi que les méthodes permettant de cibler les zones à prioriser dans le cadre des politiques de renaturation ou de lutte contre l'artificialisation, notamment celles caractérisées par un cumul de désavantages sociaux et environnementaux. Cette analyse vise à comparer leurs divergences conceptuelles et méthodologiques et à évaluer leurs implications pour l'action publique. Une attention particulière est portée aux effets des choix d'unités spatiales (municipalités, quartiers, carroyage) et des périmètres d'analyse retenus (centres urbains, espaces périurbains) sur la mesure des inégalités. Différentes sources de données sont mobilisées, notamment des données d'occupation des sols, des données socio-économiques et des données révélant les préférences ou comportements individuels. Nous étudions l'évolution des inégalités environnementales à travers plusieurs dimensions, telles que l'accès aux espaces de nature, l'exposition à la chaleur urbaine et la vulnérabilité aux inondations. L'analyse des mécanismes économiques sous-jacents à ces dynamiques constitue également un axe central de la recherche. Des méthodes de ciblage sont ensuite mobilisées pour identifier les zones prioritaires d'intervention publique, en tenant compte du caractère cumulatif des inégalités, à travers des mesures de contribution marginale des unités spatiales ou des simulations de politiques de renaturation ou de conservation. Enfin, afin d'intégrer les effets dynamiques potentiellement indésirables des politiques environnementales, telle que la gentrification, nous mobilisons des modèles de choix résidentiel permettant de construire des scénarios contrefactuels. Cette démarche vise ainsi à éclairer les stratégies futures d'aménagement et d'adaptation au changement climatique.



© Johnny Miller

Mexico City : la présence de nature, situation très contrastée entre deux quartiers adjacents



THÈSE
2025-2028

Contacts

Arnaud Chaumot

arnaud.chaumot@inrae.fr

David Eme

david.eme@inrae.fr

Jeanne Thill

jeanne.thill@inrae.fr

Date de démarrage : 01/10/2025

Unités d'accueil : [UR RiverLy](#)

Centre INRAE : Lyon-Grenoble-
Auvergne-Rhône-Alpes

Direction de la thèse : Arnaud
Chaumot

Encadrement de la thèse : David
Eme

Doctorant.e : Jeanne Thill

Université et école doctorale :

Université Claude Bernard Lyon 1,
ED 341 - E2M2 Évolution,
Écosystèmes, Microbiologie et
Modélisation

Financements : [Métaprogramme
Biosefair](#) / Programme RhônEco

Disciplines impliquées

Écotoxicologie

Écologie

Macro-écologie

Modélisation

Statistiques

Empreinte de la pression chimique toxique sur l'évolution actuelle des communautés de macroinvertébrés des cours d'eau nationaux

Contexte

La préservation de la biodiversité aquatique est un enjeu majeur. Après plusieurs décennies d'amélioration, des travaux récents indiquent un ralentissement, voire une inversion de cette dynamique pour la richesse et l'abondance des invertébrés des cours d'eau. Cette situation interroge l'existence de pressions pour lesquelles la protection des cours d'eau demeure insuffisante, en particulier la contamination chimique toxique. En effet, la multi-contamination est identifiée comme une menace majeure pesant sur la biodiversité aquatique, mais ses effets précis restent insuffisamment caractérisés et quantifiés au sein des écosystèmes. Le développement récent de techniques de surveillance active, désormais déployées à l'échelle nationale, offre de nouvelles perspectives pour qualifier spécifiquement cette pression parmi la variabilité environnementale, un premier pas pour répondre aux enjeux opérationnels de la protection et restauration des cours d'eau.

Objectifs

MACROTOX va caractériser les effets spécifiques de la contamination chimique sur la diversité des macroinvertébrés des cours d'eau en mettant en regard les suivis taxonomiques des réseaux de surveillance avec des indicateurs d'écotoxicologie *in situ*, issus de la biosurveillance active. Ces nouveaux indicateurs quantifient l'exposition à différentes substances et la toxicité du cocktail environnemental. MACROTOX va ainsi :

1. Identifier les patrons taxonomiques à l'échelle nationale associés à la contamination chimique selon le type de pression (agricole, urbaine, industrielle, naturelle).
2. Étudier l'influence du contexte (géographique, climatique...) sur ces patrons de réponse à la pression chimique et identifier les interactions possibles, afin d'expliquer les différences territoriales observées.
3. Ré-évaluer l'impact de la pression chimique sur des tendances temporelles des communautés d'invertébrés de stations de suivi long terme des effets de la restauration écologique du Rhône.
4. Explorer les processus communautaires (érosion, remplacement, homogénéisation) qui sous-tendent la structuration régionale des communautés le long des gradients de pression chimique.
5. Proposer une traduction fonctionnelle des changements taxonomiques observés et identifier les traits biologiques sélectionnés ou contre-sélectionnés en réponse à la pression chimique.
6. Évaluer si ces changements fonctionnels induisent des changements de la vulnérabilité des communautés face aux autres pressions qui pèsent sur les milieux aquatiques.

Démarches

Le travail s'appuie sur l'opportunité récente de pouvoir combiner des suivis taxonomiques menés depuis 20 ans sur les réseaux de surveillance nationaux avec des indicateurs d'écotoxicologie *in situ* (gammare encagés), collectés de manière répétée sur plusieurs centaines de stations depuis 5 ans.

Ces données combinées à différentes informations environnementales, seront analysés par différentes approches de modélisation statistique à plusieurs échelles (nationale, hydroécorigions, bassins). Le but est de déterminer les changements dans les communautés de macroinvertébrés (richesse, abondances, composition) imputables aux différents types de pressions chimiques en tenant compte du contexte environnemental.

Ces connaissances seront mobilisées pour mieux comprendre la diversité des dynamiques observées localement dans l'hydrosystème rhodanien à travers les données de suivis des macroinvertébrés réalisés lors d'actions de restauration dans le cadre du programme RhônEco.

Dans un deuxième temps, les métriques de beta-diversité seront également étudiées pour décrypter les processus de structuration régionale (remplacement d'espèces, homogénéisation) liés à la pression chimique.

Enfin, une approche basée sur les traits bio-écologiques des espèces permettra de traduire les changements taxonomiques en termes de diversité fonctionnelle afin de mieux comprendre l'influence et la direction des pressions de sélection sur ces traits et, in fine, sur la structuration et la composition fonctionnelle des communautés. L'hypothèse de remplacement d'espèces sensibles par des espèces fonctionnellement équivalentes tolérantes sera testée, et les valeurs de sensibilité aux stress (thermiques, chimiques...) mobilisées pour évaluer la vulnérabilité potentielle des communautés face aux changements environnementaux.



THÈSE
2022-2025

Contacts

Juliette Faburé
juliette.fabure@inrae.fr
Isabelle Lamy
isabelle.lamy@inrae.fr

Date de démarrage : dernier trimestre 2022

Unité d'accueil : [UMR ÉCoSys](#)

Centre INRAE : Ile-de-France – Versailles-Grignon

Direction de la thèse : Juliette Faburé (ÉCoSys) et Agnès Richaume (LEM Lyon)

Encadrement de la thèse : Isabelle Lamy (ÉCoSys) et Amélie Cantarel (LEM Lyon)

Doctorant.e : Adrien Blanchard
Université et école doctorale : Université Paris-Saclay (AgroParisTech), ABIES (Agriculture Alimentation Biologie Environnement Santé)

Financements : [Métaprogramme Biosefair](#) / ANR CE34 Contaminant, Environnement, Santé projet E-Dip « Environmental Dynamics and Impacts of contaminant cocktails originating from Plastics in soil ecosystems » 2022-2026

Disciplines impliquées

Écotoxicologie
Écologie microbienne
Écophysiologie végétale
Écologie fonctionnelle
Biogéochimie des sols

Effets écotoxicologiques et conséquences écologiques des microplastiques sur le fonctionnement des sols

Contexte

L'utilisation croissante de plastiques de nature diverse conduit à l'accumulation et au stockage à long terme de microplastiques dans les sols. Des travaux récents dans la littérature montrent l'impact des microplastiques sur les organismes du sol et les conséquences sur les fonctions écologiques essentielles qu'ils assurent. Mais il s'agit encore d'approches écotoxicologiques au travers d'effets sur certains organismes pris isolément (microorganismes, microfaune, macrofaune et plantes), sans aborder les questions des interactions de ces organismes entre eux. De plus dans les sols agricoles la présence de microplastiques est souvent associée à des apports via des amendements organiques. L'impact des microplastiques sur le fonctionnement biologique des sols en présence de ces matrices organiques est encore peu documenté.

Objectifs

L'enjeu de cette thèse est de comprendre les conséquences écologiques de la présence de microplastiques sur le fonctionnement du sol. L'objectif est double : quantifier leurs effets écotoxicologiques sur les organismes du sol individuellement et en inter-relation et mettre en évidence les perturbations des processus clés du fonctionnement du sol. Il s'agira en particulier de vérifier l'hypothèse que l'exposition aux microplastiques est exacerbée par les interactions entre organismes dans le sol, tandis que le rôle des plantes dans les relations belowground-aboveground devra être précisé ainsi que l'importance des substrats organiques vecteurs des apports de microplastiques.

Démarches

Les effets directs des microplastiques seront testés sur des organismes modèles afin d'évaluer l'influence des interactions trophiques sur l'écotoxicité des microplastiques via les rétroactions des différents organismes étudiés. La démarche générale repose sur des expérimentations dans des systèmes contrôlés avec une complexification croissante des situations d'exposition et une modélisation des effets observés au regard des réseaux trophiques. Les résultats attendus apporteront de nouvelles connaissances sur l'écotoxicité fonctionnelle des microplastiques, avec pour finalité l'élaboration d'un modèle conceptuel.



Du point de vue des vers de terre

© INRAE - Sébastien Breuil



THÈSE

2024-2027

Contacts

Gianni Bellocchi

gianni.bellocchi@inrae.fr

Raphaël Martin

raphael.martin@inrae.fr

Gaël Alvarez

gael.alvarez@inrae.fr

Louise Adam

louise.adam.1@inrae.fr

Date de démarrage : 01/10/2024

Unité d'accueil : [UREP](#)

Centre INRAE : Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

Direction de la thèse : Gianni Bellocchi (UREP)

Encadrement de la thèse : Raphaël Martin (UREP) et Gaël Alvarez (VetAgroSup)

Doctorant.e : Louise Adam

Université et école doctorale : Université Clermont Auvergne, École Doctorale des Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement

Financements : [Métaprogramme Biosefair](#) / VetAgro Sup

Disciplines impliquées

Écologie végétale et microbienne
Biogéochimie
Modélisation

Modélisation des effets de la diversité microbienne sur la régulation des cycles du carbone et des nutriments dans les agroécosystèmes

Contexte

La thèse vise à comprendre l'impact de la dégradation de la biodiversité sur les services écosystémiques et à soutenir la transition écologique de l'agriculture. Pour y parvenir, il s'appuie sur une nouvelle approche qui modélise la multifonctionnalité des écosystèmes, en se concentrant sur la synchronie entre le sol et les plantes. L'objectif est de définir les conditions et les facteurs de contrôle (comme le climat, le sol et la diversité des espèces) qui régissent le fonctionnement de ces écosystèmes. La recherche inclut également des expériences de terrain et en laboratoire pour tester ces modèles.

Objectifs

L'objectif est de comprendre comment la diversité des microbes et des plantes, ainsi que les conditions du sol et du climat, influencent les flux de carbone (C) et d'azote (N) dans les agroécosystèmes diversifiés.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Identifier les mécanismes de régulation : Il s'agit de repérer et de décrire les processus par lesquels la diversité microbienne et végétale contrôle les cycles du C et N. Concrètement, la recherche se concentre sur la façon dont les différentes espèces interagissent pour affecter la disponibilité et le mouvement de ces nutriments.
- Développer des modèles conceptuels : Sur la base des mécanismes identifiés, l'étape suivante consiste à créer des modèles théoriques. Ces modèles serviront à représenter les interactions complexes entre la diversité biologique, le sol et le climat, et la manière dont elles influencent les flux de nutriments.
- Valider les modèles avec des données expérimentales : Pour s'assurer que les modèles sont réalistes et précis, la thèse utilise des données issues d'expériences antérieures ainsi que de nouvelles mesures réalisées spécifiquement pour la recherche. Cette étape de calibration et d'évaluation est cruciale pour confirmer la pertinence des modèles.
- Évaluer différents scénarios : Enfin, la thèse utilise les modèles validés pour simuler divers scénarios. Cela permet d'évaluer l'impact de différentes combinaisons de diversité microbienne et végétale, et de conditions pédoclimatiques, sur la multifonctionnalité de l'écosystème. En d'autres termes, il est possible de prédire comment une plus grande diversité peut améliorer la fertilité des sols ou la résilience face au changement climatique.



Prairie fleurie du Massif central

© INRAE - Sylvie Toillon



THÈSE
2024-2027

Contacts

Clélia Sirami
clelia.sirami@inrae.fr
Flora Versteels
flora.versteels@inrae.fr

Date de démarrage : novembre 2024

Unité d'accueil : [UMR DYNAFOR](#)

Centre INRAE : Occitanie - Toulouse

Direction de la thèse : Clélia Sirami et Aurélien Besnard
Encadrement de la thèse : Jules Chiffard

Doctorant.e : Flora Versteels
Université et école doctorale : INP Toulouse SEVAB

Financements : [Métaprogramme Biosefair](#) / OFB

Disciplines impliquées
Écologie des paysages
Écologie des communautés
Biologie de la conservation

Les paysages agricoles peu intensifiés permettent-ils de limiter le déclin des populations d'oiseaux ?

Contexte

Une étude conduite au niveau européen a montré que les populations d'oiseaux spécialistes des milieux agricoles ont décliné de près de 60 % sur les 40 dernières années, et que l'agriculture intensive est la principale pression associée à ce déclin (Rigal *et al.* 2023). Elle montre également que le poids de l'agriculture intensive s'ajoute au poids croissant des changements climatiques sur ces populations. Cependant, cette étude à large échelle repose sur une approximation de l'intensité agricole, mesurée par la valeur des achats de pesticides et de fertilisants par hectare. Cette approche ne permet pas d'analyser le rôle des différentes facettes de l'intensification de l'agriculture sur les tendances à long terme des populations d'oiseaux. Le poids relatif de chacune de ces composantes, ainsi que leurs interactions spatiales et temporelles, restent encore à clarifier pour comprendre les mécanismes du déclin observé.

Objectifs

Grâce à l'analyse couplée de la dynamique des populations d'oiseaux et des changements de la structure des paysages et des pratiques sur les 40 dernières années, ce projet de thèse vise à pallier le manque de compréhension du rôle des différentes facettes de l'intensification de l'agriculture sur les tendances à long terme des populations d'oiseaux.

Pour cela, des données issues du Suivi Temporel des Oiseaux Communs (programme national) seront mobilisées, ainsi que des suivis régionaux menés dans trois sites d'étude à long terme situés en Occitanie : Coteaux de Gascogne, Pic-Saint-Loup et Grands Causses.

Il s'agira d' :

- Évaluer les tendances des populations d'oiseaux à l'échelle nationale au regard de différentes facettes de l'intensification agricole (diversité des assolements, extensivité des pratiques et densité des infrastructures agroécologiques) ;
- Identifier les caractéristiques de ces paysages agricoles peu intensifiés qui favorisent le maintien des populations d'oiseaux en Occitanie dans un contexte de changement climatique ;
- Analyser les variations temporelles de l'avifaune en réponse aux interactions entre différentes variables culturelles locales (rotations culturales, application d'intrants, dates de fauches...).

Le focus sur ces trois sites d'étude en Occitanie, caractérisés par des paysages agricoles relativement peu intensifiés mais présentant des variations spatiales des différentes composantes de l'intensification agricole, devrait permettre d'identifier les contextes qui permettent de limiter le déclin de la biodiversité en milieu agricole.



Paysages agricoles d'Occitanie (Pic-Saint-Loup, Coteaux de Gascogne, Causse Méjean)



THÈSE
2023-2026

Contacts

Marieke Blondet

marieke.blondet@inrae.fr

Michaël Ricchetti

m.ricchetti@protonmail.com

Date de démarrage : automne
2023

Unité d'accueil : [UMR Silva](#)

Centre INRAE : Grand Est-Nancy

Direction de la thèse : Michel
Streith (Clermont-Auvergne
University, CNRS, LaPSCo)

Encadrement de la thèse :
Marieke Blondet (AgroParisTech,
UMR Silva)

Doctorant.e : Michaël Ricchetti
Université et école doctorale :
Université Clermont Auvergne, ED
370 – Lettres et Sciences Humaines
et Sociales

Financements : [Métaprogramme
Biosefair](#) / ADEME

Disciplines impliquées

Anthropologie

Écologie

Quelle place les acteurs des territoires forestiers accordent-ils aux végétaux dans leurs représentations et pratiques collectives ?

Contexte

Les forêts françaises subissent les effets combinés de perturbations climatiques, sanitaires et anthropiques, tout en étant identifiées comme une des solutions à la transition écologique. Il en résulte une intensification des controverses autour de l'avenir des forêts et des services écosystémiques associés. Ces débats pourraient refléter, sur le terrain, des changements plus profonds dans les interactions entre humains et ces milieux et s'incarner dans de nouveaux modes de gouvernance. S'appuyant sur les théories du care, du tournant ontologique et de l'ethnobotanique, nos recherches consistent à étudier les transformations collectives en cours dans le Parc naturel régional du Livradois-Forez.

Objectifs

Par une enquête sur les transformations collectives en cours dans le territoire du Parc Naturel Régional Livradois-Forez, l'objectif est de suivre l'évolution des relations aux forêts et plus largement, aux végétaux, pour rendre compte des transformations vécues par les acteurs locaux, à même de faire émerger de nouveaux modes de gouvernance dans les territoires forestiers. L'étude portera plus spécifiquement sur :

- Les transformations vécues par les acteurs locaux (gestionnaire compris), soit la manière dont les individus et les collectifs font l'expérience de la crise écologique et forestière dans leur territoire ;
- L'évolution des relations tissées avec les forêts : dans un contexte montant de remise en question des choix de gestion forestière, la réflexion sera étendue aux interactions entre êtres humains et êtres vivants non humains ;
- L'articulation entre différentes formes de savoirs : identifier et relier les savoirs scientifiques et locaux mobilisés par les acteurs permettra de comprendre (i) comment, et par quels savoirs, les acteurs interprètent et perçoivent les changements en forêt, (ii) comment les acteurs s'appuient sur et articulent ces savoirs pour élaborer et mettre en œuvre leurs pratiques individuelles et collectives ;
- La possibilité d'émergence de nouveaux modes de gouvernance : comment les fortes incertitudes climatiques poussent des collectifs d'acteurs à s'engager et agir pour conserver un écosystème de plus en plus souvent considéré comme un « nouveau commun » ? Comment l'émergence de nouveaux acteurs et de nouvelles manières de se représenter les écosystèmes forestiers peut produire des effets en termes de gouvernance, en mettant en lumière les interactions, parfois contradictoires, voire conflictuelles, des différents groupes d'acteurs étudiés ?



Vieille forêt du Forez avec du gros bois mort sur pied et au sol

© Jean-Claude Corbel



THÈSE
2023-2026

Structuration de l'activité biologique édaphique en lien avec la multifonctionnalité des sols des systèmes agroforestiers en milieu méditerranéen et tropical semi-aride

Contacts

Mickaël Hedde

mickael.hedde@inrae.fr

Christophe Jourdan

christophe.jourdan@cirad.fr

Emma Belaud

emma.belaud@groupe-esa.net

Date de démarrage : automne
2023

Unité d'accueil : [UMR Eco&Sols](#)

Centre INRAE : Occitanie
Montpellier

Direction de la thèse : Mickaël
Hedde

Encadrement de la thèse :
Christophe Jourdan

Doctorant.e : Emma Belaud
Université et école doctorale :
GAIA Institut Agro Montpellier, ED
584

Financements : [Métaprogramme
Biosefair](#) / CIRAD programme TSARA

Disciplines impliquées

Écologie des sols
Écophysiologie
Écologie quantitative
Agroécologie

Contexte

Dans un contexte de changement climatique avec des périodes de stress hydriques de plus en plus fréquentes, notamment dans les milieux tropicaux semi-arides et méditerranéens, l'agroforesterie figure parmi les innovations clés pour l'adaptation de l'agriculture. Ces systèmes tendent à améliorer la résilience des sols, par la promotion de la biodiversité édaphique et des fonctions sous-jacentes. Ces fonctions résultent d'interactions complexes entre les différentes composantes biologiques du sol (faune, flore, fonge) et s'opèrent à différentes échelles spatiales et temporelles dans le système agroforestier. Afin de tirer profit de ces dernières, il est nécessaire de comprendre la manière dont s'organise la vie dans le sol, à différentes échelles, en réponse à l'hétérogénéité générée par la présence d'arbres dans les cultures.

Objectifs

La complexité de la matrice opaque du sol est un obstacle majeur pour l'étude des organismes qui la composent. Aujourd'hui, la plupart des composantes biologiques du sol sont isolées de la matrice afin d'être étudiées. Les biais liés aux stratégies d'échantillonnage et à l'efficacité des méthodes d'extraction sont connus depuis longtemps et limitent les estimations de la biodiversité du sol. Ces approches ne permettent d'étudier qu'une fraction de la biodiversité et réduisent donc notre compréhension du fonctionnement du sol.

L'accélération des progrès technologiques offre des capacités nouvelles pour pallier ces contraintes d'observations. C'est notamment le cas du suivi par imagerie *in-situ*. Elle permet une surveillance temporellement et spatialement dense révélant des phénomènes auparavant inobservables. Dans le sol, l'observation *in-situ* est pratiquée depuis longtemps pour étudier l'activité racinaire, en particulier la dynamique de croissance. Cependant, l'imagerie non-destructive offre des possibilités inexplorées pour l'étude des autres organismes du sol et les interactions qu'ils entretiennent avec leur milieu.

L'étude sera réalisée sur deux sites agroforestiers : un site agroforestier en milieu méditerranéen (situé à Mauguio près de Montpellier en France) et un site agroforestier tropical en zone sèche (situé à Niakhar au Sénégal). Le suivi de l'activité biologique édaphique sera réalisé par imagerie *in-situ*, à l'aide de scanners enterrés. Cette méthode permettra un suivi dynamique dans le temps avec une capture d'image à haute fréquence temporelle (toutes les 6 heures) et intégré (suivi de l'activité à la fois des racines, des mycorhizes et de la mésofaune).

Ce projet vise ainsi à comprendre la manière dont se structure l'activité biologique édaphique, dans le temps et l'espace, et comment elle participe à la multifonctionnalité des sols en systèmes agroforestiers méditerranéen et tropical semi-aride. L'utilisation d'une approche innovante d'imagerie *in-situ* permettra un suivi intégré, dynamique et non-destructif de cette vie cryptique.





THÈSE

2024-2027

Contacts

Martin Daufresne

martin.daufresne@inrae.fr

Nicolas Pech

nicolas.pech@univ-amu.fr

André Gilles

andre.gilles@univ-amu.fr

Azélie Buisson

azelie.buisson@inrae.fr

Date de démarrage : 01/10/2024

Unité d'accueil : [UMR RECOVER](#)

Centre INRAE : PACA

Direction de la thèse : Martin

Daufresne et Nicolas Pech

Encadrement de la thèse : André Gilles

Doctorant.e : Azélie Buisson

Université et école doctorale :

Aix-Marseille Université, ED 251

Sciences de l'environnement

Financements : [Métaprogramme](#)

[Biosefair](#) / Région Sud / AMU

Disciplines impliquées

Écologie aquatique

Génomique

Génétique des populations

Modélisation

Bio-informatique

Gestion de la biodiversité

Détection de zones hybrides en milieu aquatique en réponse au changement climatique par e-barcoding

Contexte

La pression anthropique sur les milieux aquatiques de la région Sud s'intensifie, amplifiée par un réchauffement climatique marqué. Elle se traduit par la fragmentation des habitats, la réduction du débit des rivières et le réchauffement des masses d'eau, entraînant des impacts sur la croissance, la reproduction, la tolérance au manque d'oxygénation des tissus (hypoxie) et la résistance aux parasites et contaminants des poissons. Lorsque ces contraintes deviennent trop fortes, des hybridations multiples apparaissent, liées au chevauchement des niches écologiques. Dans ce cadre, l'évaluation des taux d'hybridation apparaît essentielle, mais sa mise en œuvre à large échelle reste techniquement et financièrement contraignante. L'avènement du métabarcoding et du barcoding environnemental (non invasifs, rapides, peu coûteux) permet de considérablement alléger les échantillonnages et les déterminations spécifiques.

Objectif

Cette thèse a pour objectif de développer un outil de détection de zones où coexistent des individus purs et hybrides au sein de populations piscicoles en s'appuyant sur l'utilisation de l'ADN environnemental.

Il s'agira de :

- Développer une trentaine de marqueurs nucléaires indépendants et représentatifs du génome des espèces étudiées et les comparer à un marqueur mitochondrial ;
- Modéliser l'absence d'hybridation en testant la congruence des différents marqueurs nucléaires (mitochondrial et nucléaire) sachant que l'incongruence traduit un processus d'hybridation ;
- Valider l'efficacité de l'outil en mésocosme et *in natura*.

Démarches

La première étape consistera à sélectionner bio-informatiquement (*in silico*) une trentaine de séquences géniques orthologues^[1] très courtes (environ 100 pb^[2]) à partir d'une base de données regroupant plus de 25 000 gènes. Nous ciblerons les gènes les plus variables chez les espèces d'intérêt, principalement *Parachondrostoma toxostoma* (Toxostome), *Telestes souffia* (Blageon) et *Chondrostoma nasus* (Hotu). Nous optimiserons les protocoles d'amplification et les testerons sur des mésocosmes rassemblant des individus purs, des hybrides de première et seconde génération (F1 et F2), afin de calibrer la détection des hybrides, avant de les appliquer à de l'ADNe provenant de stations d'études connues pour héberger des individus hybrides.

Le développement du protocole et la modélisation seront renforcés par des données de nos mésocosmes (individus purs et hybrides), avant de les perfectionner et utiliser sur le terrain.

Le travail de terrain (campagne de pêche et ADNe) portera sur plusieurs stations :

- Du bassin du Rhône abritant des populations de Toxostomes, Blageons et Hotus, en sympatrie^[3] ou parapatrie^[4], présentant ou non des signes d'hybridation ;
- Du bassin de l'Argens (en collaboration avec le Syndicat Mixte de l'Argens) où coexistent des populations de *Barbus barbus* et *Barbus meridionalis* avec pour objectif un transfert méthodologique en vue d'une utilisation en routine de l'outil développé.



© INRAE

[1] Séquences d'un même gène chez des espèces différentes, hérités d'un ancêtre commun - [2] pb = paire de bases : unité de base de l'ADN - [3] Espèces (ou populations) vivant dans la même zone géographique et se rencontrant naturellement- [4] Espèces (ou populations) vivant dans des zones voisines, avec une faible zone de contact possible.



Métaprogramme BIOSEFAIR

Contact : biosefair@inrae.fr

S'abonner aux actualités :

biosefair.hub.inrae.fr/participer/lettre-abonnement

Intranet INRAE :

[https://metaprogrammes.intranet.inrae.fr/
les-differents-metaprogrammes/biosefair](https://metaprogrammes.intranet.inrae.fr/les-differents-metaprogrammes/biosefair)

Conception graphique : INRAE

Mise en pages : Plume & Sciences

Photo de couverture : INRAE - Sylvie Vanpeene

Rejoignez-nous sur :



biosefair.hub.inrae.fr/

**Institut national de recherche pour
l'agriculture, l'alimentation et l'environnement**



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE