

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse¹ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR :
Nom : PETIT (MICHAUT)
Prénom : Sandrine
Section CNU : 67
Grade : *Directeur de recherche*
HDR : *Date de soutenance 7 Avril 2007 Discipline : Ecologie*
l'HDR devra être soutenue, ou sa soutenance autorisée, au moment du dépôt du présent projet.
Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) :
Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : UMR 1347 Agroécologie, Directeur Fabrice Martin

Co-directeur de thèse:
Nom : BOHAN
Prénom : David
Section CNU : 67
Grade : *Directeur de recherche*
HDR : *Date de soutenance Équivalence 2012. Discipline : Ecologie*
Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 17 rue Sully, 21065 Dijon cedex ;
David.Bohan@inrae.fr; +33 (0)3 80 69 33 45
Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : UMR 1347 Agroécologie, Directeur Fabrice Martin

2) Descriptif du projet de thèse

Nom et label de l'unité de recherche : UMR 1347 Agroécologie, Pôle ADVENSYS

Localisation : 17 rue Sully, 21000 Dijon

Directrice de thèse : Sandrine Petit

Co-directeur de thèse : David A. Bohan

Adresse courriel du contact scientifique : sandrine.petit-michaut@inrae.fr

Titre du projet : **Inférer les réseaux trophiques adventices-herbivores-prédateurs pour augmenter les services écosystémiques de régulation**

Description du projet

Contexte et état de l'art

¹ ATTENTION : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

Dans le contexte d'une nécessaire réduction de l'usage des pesticides, l'étude des processus de régulation des bioagresseurs par leurs prédateurs naturels a connu un essor important ces dernières années. Ces recherches ont établi que la prédation réduit significativement l'abondance de bioagresseurs (avec un effet positif sur le rendement (Boldoroni et al., 2024)). Pour autant, ces effets sont variables, notamment parce que la régulation d'un bioagresseur donné s'inscrit souvent dans des réseaux trophiques plus larges qui sont encore peu décrits. Ces incertitudes expliquent en grande partie pourquoi de nombreux agriculteurs considèrent que le recours aux régulations biologiques est un levier de gestion peu 'fiable', en termes d'intensité et de stabilité d'une année sur l'autre.

Parmi les bioagresseurs, la flore adventice demeure sans doute parmi la plus difficile à gérer sans recours aux herbicides. Pourtant, elle est régulée naturellement par des processus de compétition plantes-plantes et par des organismes granivores (coléoptères carabiques, criquets, micromammifères, oiseaux) qui consomment les semences de ces plantes souvent annuelles. L'UMR Agroécologie est largement reconnue pour ses travaux sur le système carabes-adventices depuis 15 ans, qui vont de l'étude du comportement et du choix des espèces adventices en microcosme à l'analyse des déterminants agronomiques et paysagers du taux de régulation dans les parcelles commerciales à l'échelle de petites régions. Les résultats obtenus nous ont permis de proposer une approche mécanistique basée sur les traits pour inférer des réseaux d'interaction quantitatifs entre espèces de carabes et genres d'adventices (Pocock et al., 2021). Le modèle développé permet ainsi de prédire la force des interactions entre espèces sur la base de données d'abondance des espèces de carabes et d'adventices. Parallèlement, nous avons établi que la régulation des adventices par les carabes dans des parcelles agriculteurs est significativement impactée par la disponibilité en proies animales 'alternatives' (Carbonne et al., 2020), ce qui suggère que notre approche prédictive nécessiterait d'intégrer les proies animales, y compris des ravageurs de cultures (herbivores) tels pucerons et limaces (Gray et al., 2021). Enfin, nous disposons depuis 2023 de données fines sur les genres adventices et les proies animales majeures présentes dans les contenus stomacaux des principales espèces de carabes issus de 60 parcelles commerciales (Daouti et al., 2024)². Ce jeu de données empiriques unique sur les interactions réalisées carabes-adventices et carabes-proies animales nous offre aujourd'hui la possibilité de tester le modèle d'inférence précédemment développé, une phase préalable importante pour pouvoir appliquer le modèle dans les situations agronomiques et paysagères pour lesquelles nous disposons de données d'abondance des espèces de carabes et d'adventices. L'application à des données temporelles permettrait en outre d'analyser la stabilité temporelle des réseaux et de la régulation des bioagresseurs dans les parcelles agricoles, ainsi que les déterminants agricoles et paysager de cette stabilité.

Objectifs La thèse a pour objectif général d'augmenter notre capacité à inférer le niveau de régulation des adventices par les carabes et sa stabilité au cours du temps. Elle se scinde en deux parties, une première axée sur le développement du modèle d'inférence quantitatif des réseaux trophiques et une seconde qui appliquera le modèle sur les dispositifs de suivis de l'équipe de recherche, notamment la plateforme d'expérimentation en agroécologie CA-SYS et le réseau national SEBIOPAG³. Cette analyse permettra d'identifier l'effet de facteurs environnementaux, agronomiques et paysagers sur les réseaux trophiques et la régulation des adventices.

Partie 1 : Comprendre et prédire les réseaux trophiques et la régulation

Le modèle d'inférence quantitatif des réseaux trophiques s'inspirera de la démarche mécaniste basée sur les traits précédemment développés sur le réseau bipartite carabes-adventices (Pocock et al., 2021). Un objectif majeur de la thèse est l'intégration des proies animales dans la démarche mécaniste existante. Cette intégration passera par la synthèse de connaissances ou l'analyse de données existantes pour identifier les traits d'intérêt qui permettraient prédire les interactions entre carabes et différentes proies animales qui sont consommées. Ce travail bénéficiera d'échanges avec

² Projets Biodiversa+ BioAWARE (2018-2021) et FRESHH (2022-2026), coordination D. A. Bohan

³ SEBIOPAG dispositif national sur les Services Ecosystémiques et Biodiversité dans les Paysages Agricoles

des experts, Michael Pocock du Centre for Ecology and Hydrology (UK) et Dr Elsa Canard de l'UMR IGEPP spécialisée dans l'analyse des contenus stomacaux de carabes. Les prédictions du modèle basés sur les abondances des espèces de carabes, des genres adventices et des proies alternatives dans les 60 parcelles du projet BioAware (4 pays européens) seront confrontées aux réseaux empiriques mesurés par analyse ADN dans ces mêmes 60 parcelles. Cette étape permettra d'évaluer les biais potentiels du modèle et d'y apporter des améliorations. Ce travail s'effectuera en plusieurs étapes.

Partie 2 : Evaluer l'intensité et la stabilité des régulations dans les paysages

Il s'agit ici d'appliquer le modèle d'inférence quantitatif des réseaux trophiques sur les dispositifs suivis par l'UMR Agroécologie pour évaluer les caractéristiques de ces réseaux et comment ils évoluent d'une année sur la suivante, et en analyser les conséquences sur la régulation des espèces adventices. Pendant la 1^e année, le(a) doctorant(e) effectuera des suivis de communautés (adventices-herbivores-carabes) sur les systèmes agroécologiques de CA-SYS et les systèmes 'conventionnels' de référence sur la zone voisine de Fenay. Nous faisons ici l'hypothèse que les réseaux trophiques sur CA-SYS seront plus complexes. La thèse mobilisera également des données de communautés de carabes, d'adventices et de mesures de prédation de graines (proies sentinelles sur carte de prédation) sur 57 parcelles de culture annuelle de 3 régions françaises qui ont été suivies sur 12 années consécutives, avec un suivi précis annuel des pratiques agricoles et du contexte paysager des parcelles (réseau SEBIOPAG). L'application du modèle d'inférence à ces données permettra d'identifier les variables environnementales, agronomiques et paysagères qui modulent des réseaux trophiques et la régulation des adventices et d'analyser comment les séquences de culture qui se succèdent sur les mêmes parcelles affectent la stabilité des régulations d'une année sur la suivante.

Calendrier prévisionnel

M1-M6 Bibliographie, synthèse des données réseaux trophiques, séjour 2 semaines au CEH (UK)

M6-M12 : Suivis de terrain communautés sur CA-SYS et systèmes de référence et saisie des données

M12-M18 Finalisation modèle d'inférence tripartite et test, rédaction article

M18-M24 : Application modèle tripartite sur données CA-SYS et référence, rédaction article

M24-M30 Application modèle tripartite sur données temporelles SEBIOPAG, rédaction article

M30-36 : Rédaction article et manuscrit de thèse

Références

Boldorini et al. 2024 Predators control pests and increase yield across crop types and climates: a meta-analysis

<https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2522>

Carbonne, B. et al. 2020 The resilience of weed seedbank regulation by carabid beetles, at continental scales, to alternative prey. Sci Rep doi: 10.1038/s41598-020-76305-w.

Daouti, E. et al. 2024 Functional redundancy of weed seed predation is reduced by intensified agriculture. Ecology Letters <http://dx.doi.org/10.1111/ele.14411>.

Gray, C. et al. 2021 Ecological plasticity governs ecosystem services in multilayer networks. Communications Biology 4:75 <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01547-3>.

Pocock et al. 2021 Inferring species interactions from ecological survey data: A mechanistic approach to predict quantitative food webs of seed feeding by carabid beetles. Ecology & Evolution <https://doi.org/10.1002/ece3.8032>.

Financement du projet – partie Recherche

- STABIREG – Projet Inrae-OFB 2023-2026 sur la stabilité des régulations biologiques (coord. Sandrine Petit, 175k€)
- COOSTRA – Projet Ecophyto COSTRAA – Conception d'Outils et de STRAtégies de gestion systémique des Adventices (coord. Stéphane Cordeau, UMR Agroécologie)
- TRANSFORM projet Horizon Europe – Mission Adaptation to Climate Change projet - Transformative Rotations for AdaptatioN and Sustainable Future, Outcome and Resilience Mapping (coord. David A. Bohan, 10m€)

Connaissances et compétences requises

Agroécologie, écologie, modélisation statistique

Résumé en français et anglais

Les réseaux trophiques sont à la base de nombreux services écosystémiques, notamment le service de régulation des bioagresseurs de culture, pour autant, leur utilisation reste encore limitée par le manque de données quantitatives sur les interactions entre espèces. Nous avons précédemment développé un modèle d'inférence basé sur les traits pour évaluer la force des interactions entre les espèces de carabes (prédateurs) et les graines d'espèces adventices. Cette thèse a pour objectif d'augmenter notre capacité à inférer les réseaux trophiques en intégrant les herbivores, qui sont des proies animales également consommées par les carabes adventices-herbivores-prédateurs et pouvoir prédire les réseaux trophiques et la régulation des adventices dans différents contextes. La première partie se concentrera sur l'intégration des proies animales dans le modèle d'inférence sur la base des nouvelles connaissances sur l'interaction carabes-proies animales, puis sur le test de ce nouveau modèle en le confrontant à des données empiriques de réseaux uniques issues de l'analyse ADN de contenus stomacaux de carabes issus de 60 parcelles à l'échelle européenne. La seconde partie vise à identifier les facteurs environnementaux, agronomiques et paysagers qui influencent les réseaux et la régulation des adventices, en appliquant le modèle d'inférence dans une diversité de contextes. Des suivis de communautés adventices-herbivores-prédateurs seront notamment conduits sur la plateforme d'expérimentation en agroécologie CA-SYS et sur des parcelles conventionnelles de références pour évaluer les effets de systèmes agricoles en rupture sur les réseaux trophiques. Le doctorant mobilisera également les données de suivis de communautés issues du dispositif SEBIOPAG, avec plus de 50 parcelles suivies pendant 12 années consécutives pour évaluer la stabilité des réseaux et des régulations au cours des années. Cette thèse produira ainsi un outil pour inférer les réseaux trophiques et l'analyse des déterminants expliquant la variabilité de ces réseaux et les régulations qui en résultent.

Food webs underpin many ecosystem services, particularly the regulation of crop pests, but their use is still limited by the lack of quantitative data on interactions between species. We have previously developed a trait-based inference model to assess the strength of interactions between carabid beetle species (predators) and weed seeds. The aim of this thesis is to increase our ability to infer food webs by integrating herbivores, which are animal prey also consumed by weed-herbivore-predator carabid beetles, and to be able to predict food webs and weed regulation in different contexts. The first part will focus on integrating animal prey into the inference model on the basis of new knowledge of carabid-animal prey interaction, and then on testing this new model by comparing it with empirical data on unique networks obtained from DNA analysis of carabid stomach contents from 60 farmer's fields across Europe. The second part aims to identify the environmental, agronomic and landscape factors that influence trophic networks and weed regulation, by applying the inference model in a variety of contexts. In particular, weed-herbivore-predator communities will be monitored on the experimental platform and on conventional reference plots to assess the effects of disruptive farming systems on food webs. The PhD student will also use community monitoring data from the SEBIOPAG system, with more than 50 farmer's fields monitored over 12 consecutive years, to assess the stability of networks and regulations over the years. This thesis will thus produce a tool for inferring trophic networks and analysing the determinants explaining the variability of these networks and the resulting regulations.

Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous :

Ecologie, Environnement
Agronomie

Mots clés : agroécologie, modèle d'inférence, régime trophique, communautés