

Ecole doctorale Environnements-Santé
Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral Etablissements »

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

Directeur de thèse HDR :
Nom : MOREAU
Prénom : Delphine
Section CNU : 67 Biologie des populations et écologie
Grade : *Directrice de recherche*
HDR : Date de soutenance : 12/12/2017 ; Discipline : *Biologie des populations et écologie*
l'HDR devra être soutenue, ou sa soutenance autorisée, au moment du dépôt du présent projet.
Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) :
INRAE Centre de Bourgogne-Franche-Comté 17 rue Sully, BP 86510 21065 DIJON Cédex
delphine.moreau@inrae.fr, 03 80 69 36 69
Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) :
UMR1347 Agroécologie, Fabrice Laurent-Martin

Co-directeur de thèse éventuel :
Nom : IBIDHI
Prénom : Ridha
Section CNU : Section CNECA n° 6
Grade : *Enseignant-chercheur (maître de conférences)*
HDR : non ; oui Date de soutenance..... Discipline :
Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : L'Institut Agro Dijon 26 bd Dr Petitjean - BP 87999 - 21079 DIJON
Cedex / ridha.ibidhi@agrosupdijon.fr ; 03 80 77 27 86
Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : UMR1347 Agroécologie, Fabrice Laurent-Martin

2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :

- **nom et label de l'unité de recherche (ainsi que l'équipe interne s'il y a lieu) :** UMR Agroécologie (Pole ADVENSYS, Equipe Système)
- **localisation :** INRAE Centre de Bourgogne-Franche-Comté (Dijon)
- **nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu :** Delphine Moreau (directrice de thèse) & Ridha IBIDHI
- **adresse courriel du contact scientifique :** delphine.moreau@inrae.fr
- **titre du projet :** Quelle contribution de l'élevage à la gestion agroécologique des adventices en grande culture ? Approche par modélisation et simulation.

Description du projet (2 pages maximum)

1. Contexte

En grande culture, les adventices (« mauvaises herbes ») sont un bioagresseur majeur, pouvant générer de fortes pertes de rendement et de qualité des récoltes [1]. D'un autre côté, elles constituent aussi l'essentiel de la biodiversité végétale des paysages agricoles et offrent une ressource trophique pour d'autres composantes de la biodiversité [2]. La gestion des adventices doit donc cibler les adventices les plus nuisibles. Comme aucune technique curative individuelle n'est aussi efficace que les herbicides, la gestion agroécologique de ces adventices nécessite de combiner l'ensemble des composantes du système de culture, et de mobiliser des mécanismes de régulation biologique (e.g. compétition pour les ressources, interactions allélopathiques² entre plantes, prédation par des organismes auxiliaires ou des animaux d'élevage) [3].

Reconnecter productions végétales et animales pourrait s'inscrire dans cette optique. Si utiliser des engrais organiques d'origine animale (vs. minéraux) et boucler les cycles biogéochimiques sont des services classiquement recherchés, en particulier en agriculture biologique, des bénéfices pour la gestion des adventices pourraient être associés, avec (i) plus de possibilités de diversifier et d'allonger les rotations culturales, en intégrant des cultures

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.

²Se réfère ici à la capacité de certaines plantes à émettre des composés chimiques (dans leur rhizosphère) altérant la croissance de plantes voisines.

fourragères et notamment des prairies temporaires, dont les bénéfices sur la régulation des adventices sont connus [4] et (ii) la possibilité de favoriser la régulation biologique des adventices par prédation (défoliation) lors du pâturage, pendant les périodes d'interculture et de prairies temporaires [5]. Cependant, les références sur les effets de cette reconnexion sur la régulation des adventices sont peu nombreuses en grande culture. Comme en cultures pérennes³, l'efficacité du pâturage varie probablement selon le type d'animaux, ainsi que selon les modalités du pâturage, la flore adventice, les systèmes de culture et le pédoclimat. En outre, la fertilisation à base de déjections animales pourrait avoir des effets indésirables, en tant que source de semences adventices (ingérées, non digérées puis restituées) susceptibles d'augmenter le stock et la diversité des semences adventices du sol [6]. Enfin, modifier la forme d'engrais azoté (minéral -> organique) pourrait impacter la dynamique de l'azote du sol, avec des conséquences possibles sur la régulation biologique des adventices par compétition pour les ressources [7].

Ainsi, quel rôle l'élevage pourrait jouer dans la gestion agroécologique des adventices est une question ouverte, insuffisamment investiguée pour plusieurs raisons. D'une part, les effets sur les adventices font intervenir différentes composantes (rotation culturale, fertilisation, pâturage, apports de semences par les déjections animales) dont les effets sont difficiles à dissocier. D'autre part, la dynamique des adventices résulte d'effets complexes des systèmes de culture, étant donné (i) la diversité des pratiques culturales et des contextes (sol, climat, flore adventice), et (ii) la longue échelle de temps associée à la survie des adventices dans le stock de semences du sol (impliquant qu'une opération culturale une année donnée peut impacter les années suivantes).

Les modèles mécanistes de simulation sont des outils précieux pour quantifier, à différentes échelles de temps (y compris long terme), des variables/mécanismes qui sont difficiles à mesurer sur le terrain. Ils offrent une opportunité pour analyser et démêler des interactions complexes, et explorer un très grand nombre de scénarios (y compris de changement climatique), impossibles à tester sur le terrain. Enfin, ces modèles sont des outils de dialogue entre disciplines, et peuvent alimenter des outils d'aide à la décision pour les agriculteurs et conseillers.

FLORSYS est le modèle mécaniste répondant le mieux aux besoins de la conception de stratégies de gestion agroécologique des adventices [8]. Il s'agit d'une parcelle expérimentale virtuelle sur laquelle de nombreux systèmes de culture peuvent être testés sur plusieurs années, avec différents scénarios (climat, sol, flore), pour évaluer leur performance (production agricole, biodiversité et nuisibilité liée aux adventices). Pour cela, le modèle simule, chaque jour et en 3D, chaque plante individuelle (adventice et cultivée), à partir de la rotation, des opérations culturales, du pédoclimat et du stock de semences adventices du sol. Ce modèle est adapté pour analyser les effets de l'élevage et de la régulation biologique des adventices car il intègre les effets des rotations (dont les prairies temporaires) et de la fertilisation azotée (minérale et organique). Il prend en compte la compétition (lumière, azote, eau), les interactions allélopathiques entre plantes, et la prédation des adventices par des organismes auxiliaires. A ce jour, il n'intègre ni la défoliation des plantes par le pâturage, ni les apports de semences adventices par les déjections animales. Toutefois, comme illustré dans des thèses passées [9], la modularité de FLORSYS permet d'intégrer de nouveaux mécanismes, en mobilisant les connaissances disponibles sur leurs déterminants.

2. Objectifs et originalité du projet

Couplant agronomie, zootechnie et écologie, ce projet vise (i) à synthétiser les connaissances sur la défoliation des plantes par le pâturage et les apports de semences adventices par les déjections animales, pour les formaliser dans le modèle FLORSYS, (ii) afin d'utiliser ce modèle complété pour répondre à différentes questions :

- **Q1** : Parmi différents facteurs (liés aux pratiques de culture et d'élevage, aux caractéristiques de la flore et du pédoclimat, etc), quels sont les principaux déterminants (i) de la défoliation des plantes par le pâturage et (ii) des apports de semences adventices par les déjections animales ?
- **Q2** : Quels sont les effets d'une reconnexion entre productions animales et végétales sur la régulation des adventices ? Varient-ils selon le mode de production (agriculture biologique vs. conventionnelle par ex), les systèmes de culture/d'élevage, le contexte de production (sol, climat, flore, etc) ? Les effets bénéfiques sur la régulation des adventices sont-ils plutôt liés à la rotation (diversification/allongement) ou à la régulation biologique par pâturage ?
- **Q3** : Dans quelle mesure cette reconnexion est complémentaire, synergique ou antagoniste avec :
 - D'autres leviers de gestion agroécologique (utilisation de variétés compétitives ou allélopathiques, d'associations végétales, de plantes de service, etc) favorisant la régulation biologique des adventices (par compétition, allélopathie, prédation par des organismes auxiliaires) ?
 - D'autres leviers agronomiques non-chimiques (travail du sol, désherbage mécanique) ?

Ce projet sera à notre connaissance le premier à fournir une vision intégrée du rôle de la reconnexion culture-élevage sur la régulation des adventices, au regard d'autres leviers de gestion. Cette ambition est permise par l'approche de modélisation qui jouera un rôle-clé de synthèse des connaissances entre disciplines, de quantification de variables/mécanismes difficiles à mesurer au champ, et d'analyse d'interactions complexes.

³ www.gis-avenir-elevages.org/actions-thematiques/reconnexion-vegetal-elevage-reve

3. Stratégie scientifique

Volet 1 : Synthétiser et formaliser les connaissances sur la défoliation des plantes adventices par pâturage et sur les apports de semences adventices par les déjections animales. Ce volet synthétisera les connaissances, et les formalisera sous forme d'équations mathématiques afin de créer deux nouveaux modules pour le modèle FLORSYS. Le focus pourra être fait sur 1 ou 2 espèces animales pour lesquels les connaissances sont plus abondantes, notamment en ce qui concerne la quantité de biomasse ingérée, les préférences/rejets alimentaires, la quantité/composition des déjections, le parcours dans les parcelles, etc. Ce travail mobilisera des connaissances issues de la littérature et de l'expertise (interGIS REVE, AgroTransfert Ressources & Territoires). Des enquêtes seront réalisées auprès d'agriculteurs-éleveurs. L'approche s'inspirera de celle mobilisée précédemment pour développer d'autres modules [10]. Les modules ainsi créés seront évalués en fonction des données disponibles. Des premières simulations seront réalisées pour analyser les principaux déterminants de la défoliation des adventices par pâturage, et des apports de semences par les déjections animales (**Question Q1 ci-dessus**).

Volet 2 : Mieux comprendre les effets d'une reconnexion entre productions animales et végétales sur la régulation des adventices (Cf. Question Q2 ci-dessus). Ce volet mobilisera le modèle FLORSYS complété au Volet 1. Des analyses de sensibilité seront réalisées, en s'inspirant d'approches utilisées dans le passé [10, 11]. Pour différents types de systèmes de culture et d'élevage et de scénarios climatiques [dont des scénarios prospectifs établis par des climatologues : 12], il s'agira de (i) quantifier la plus-value d'une telle reconnexion sur la gestion des adventices, (ii) d'identifier les modes de production, les pratiques de culture et d'élevage, et les conditions de sol, de climat et de flore les plus propices aux effets bénéfiques de l'élevage sur la gestion des adventices, et (iii) de déterminer les contributions relatives des différents mécanismes sous-jacents (diversification/allongement de la rotation vs. régulation biologique par pâturage) aux effets bénéfiques de l'élevage sur la flore adventice.

Volet 3 : Co-concevoir des stratégies de gestion agroécologique des adventices (Cf. Question 3 ci-dessus). Sur des scénarios pour lesquels la reconnexion entre productions végétales et animales aura été identifiée comme intéressante (Volet 2), il s'agira de quantifier la plus-value d'une telle reconnexion, par rapport à d'autres leviers de gestion non chimiques des adventices (déjà intégrés dans FLORSYS). Ce volet hiérarchisera les effets relatifs de différents mécanismes de régulation biologique des adventices (défoliation par les animaux d'élevage vs. compétition pour les ressources, vs. allélopathie vs. prédation par des organismes auxiliaires) et de différents leviers de gestion non-chimique des adventices. Il analysera aussi les complémentarités-synergies-antagonismes entre les différents mécanismes et entre les différents leviers. Sur cette base, des systèmes favorisant la régulation des adventices les plus nuisibles, maintenant la biodiversité, robustes face aux aléas climatiques et limitant le recours aux herbicides seront co-conçus en interaction avec différents acteurs (conseillers, agriculteurs).

4. Calendrier

M0-M12 : Bibliographie. Enquêtes auprès d'agriculteurs. Modélisation et simulations du volet 1.

M13-M24 : Rédaction d'un article sur le volet 1. Réalisation des simulations du volet 2.

M16-M24 : Rédaction d'un article sur le volet 2. Réalisation des simulations du volet 3 et ateliers participatifs

M25-M36 : Rédaction d'un article sur le volet 3. Rédaction de la thèse.

5. Expertise et collaborations

L'étudiant.e profitera des compétences de Nathalie Colbach (modélisatrice et agronome des systèmes dans le pôle ADVENSYS) qui fera partie de l'équipe d'encadrement. Il bénéficiera aussi de l'environnement scientifique de l'UMR Agroécologie et du pôle ADVENSYS (rassemblant des spécialistes des disciplines de la thèse). En plus, de l'expertise sera disponible au sein du projet d'animation APBIO (co-piloté par D. Moreau) sur le rôle des animaux de service dans la santé des cultures, et par des collaborations prévues avec des acteurs de terrain étudiant les interactions culture-élevage dans le cadre du projet PARSADA PARAD (Agro-Transfert Ressources et Territoires).

Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat)

Projet PARSADA PARAD (2025-2029 ; 7.7 millions € ; piloté par l'UMR Agroécologie, S. Cordeau)

Connaissances et compétences requises

- Formation recommandée : Étudiant en école d'ingénieur en agronomie/agriculture ou équivalent
- Connaissances souhaitées : Agronomie, Zootechnie, Modélisation, intérêt pour l'interdisciplinarité.
- Aptitudes recherchées :
 - Compétences opérationnelles : maîtrise de R
 - Langues : Anglais (bon niveau) et, si possible, Français (courant)
 - Bon relationnel, intérêt pour le travail collaboratif

Références bibliographiques citées

1. Oerke, E.C., *Crop losses to pests*. Journal of Agricultural Science, 2006. 144: p. 31-43.
2. Petit, S., et al., *Weeds in agricultural landscapes. A review*. Agronomy for Sustainable Development, 2011. 31(2): p. 309-317.

3. Liebman, M. and E. Gallandt, *Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions.*, in *Ecology in Agriculture*, L.E. Jackson, Editor. 1997, Academic: San Diego, CA. p. 291-343.
4. Martin, G., et al., *Role of ley pastures in tomorrow's cropping systems. A review.* *Agronomy for Sustainable Development*, 2020. 40(3): p. 17.
5. Gastal, F., M.Z. Schuster, and J. Chargelègue, *Dynamique à long terme des adventices dans des rotations prairies-cultures. 2. Effets du mode d'exploitation de la prairie, fauche ou pâturage* *Fourrages*, 2022. 252: p. 55-62.
6. Colbach, N., et al., *Weed seeds in exogenous organic matter and their contribution to weed dynamics in cropping systems. A simulation approach.* *European Journal of Agronomy*, 2013. 45: p. 7-19.
7. Moreau, D., et al., *A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere.* *Functional Ecology*, 2019. 33(4): p. 540-552.
8. Colbach, N., et al., *The FLORSYS crop-weed canopy model, a tool to investigate and promote agroecological weed management.* *Field Crops Research*, 2021. 261: p. 108006.
9. Perthame, L., *Analyse et modélisation du rôle de la compétition pour l'azote dans la régulation des adventices*, in *PhD thesis*. 2020, Université de Bourgogne Franche-Comté: Dijon, France. p. 163.
10. Perthame, L., S. Petit, and N. Colbach, *Modelling weed seed predation by carabids and its effects on crop production under contrasted farming systems.* *European Journal of Agronomy*, 2023.
11. Colbach, N., S. Granger, and D. Mézière, *Using a sensitivity analysis of a weed dynamics model to develop sustainable cropping systems. II. Long-term effect of past crops and management techniques on weed infestation.* *The Journal of Agricultural Science*, 2013. 151(2): p. 247-267.
12. Cavan, N., et al., *Et demain? Robustesse des stratégies innovantes de gestion des adventices face au changement climatique.* *Innovations Agronomiques*, 2020. 81: p. 209-225.

Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)

Résumé :

Ce projet vise à fournir une vision intégrée du rôle de l'élevage dans la gestion agroécologique des adventices en grande culture. A l'interface agronomie-zootéchnie-écologie, l'objectif est de (1) quantifier, pour différents contextes, les effets de l'élevage sur la flore adventice (via la diversification/allongement des rotations culturales, la défoliation des adventices par le pâturage, et/ou des apports d'azote et de semences adventices par les déjections animales). A partir de ces connaissances, il vise ensuite à (2) analyser dans quelle mesure reconnecter productions animales et végétales peut fournir des leviers de gestion des adventices, complémentaires d'autres leviers de gestion non-chimiques. Ce projet mettra en œuvre une approche originale consistant à alimenter puis utiliser le modèle mécaniste FLORSYS (qui simule la dynamique des adventices, en fonction du système de culture et du pédoclimat).

Il s'agira d'abord d'enrichir le modèle par l'ajout de modules de défoliation des plantes adventices par le pâturage, et d'apport de semences adventices par les déjections animales. Ce travail mobilisera des connaissances issues de la littérature et de l'expertise, notamment via des enquêtes auprès d'agriculteurs-éleveurs. Ensuite, une approche de simulation (avec le modèle complété) sera menée pour mieux comprendre les effets d'une reconnexion entre productions animales et végétales sur la régulation des adventices en parcelle agricole. Enfin, les connaissances produites seront mobilisées pour co-concevoir (avec des acteurs) des systèmes de culture/d'élevage multiperformants, favorisant la régulation des adventices.

Le projet et l'étudiant.e bénéficieront d'une expertise forte au sein d'une équipe composée de chercheurs spécialisés dans les différentes disciplines.

Summary:

The aim of this project is to provide an integrated overview of the role of livestock in the agroecological management of weeds in field crops. At the agronomy-zootechnics-ecology interface, the aim is to (1) quantify, for different contexts, the effects of livestock farming on weed flora (via diversification/extension of crop rotations, defoliation of weeds by grazing, and/or inputs of nitrogen and weed seeds via animal droppings). Based on this knowledge, it then aims to (2) analyse the extent to which reconnecting animal and crop production can provide weed management levers that complement other non-chemical management levers. This project will implement an original approach consisting of feeding and then using the FLORSYS mechanistic model (which simulates weed dynamics as a function of the cropping system and the soil and climate).

Firstly, the model will be improved by the addition of submodels for the defoliation of weeds by grazing and the contribution of weed seeds by animal droppings. This work will draw on knowledge from the literature and from expertise, in particular through surveys of livestock farmers. Next, a simulation approach (using the completed model) will be carried out to gain a better understanding of the effects of a reconnection between animal and crop production on weed regulation in agricultural plots. Finally, the knowledge produced will be used to co-design (with stakeholders) multi-performing crop/livestock systems that promote weed regulation.

The project and the student will benefit from the expertise of a team of researchers specialised in different disciplines.

Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous (2 choix possibles maximum – ne pas modifier les intitulés : ils sont imposés par certains sites web) :

Agronomie

Mots clés : agroécologie, adventices, élevage, pâturage, modélisation