

Ecole doctorale Environnements-Santé
Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral Etablissements »
ANNEE 2025

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

Directeur de thèse HDR :
Nom : BURSTIN
Prénom : Judith
Section CNU : 67 Biologie des populations et écologie
Grade : *Directrice de recherche*
HDR : *Date de soutenance : 23/03/2007 ; Discipline : Biologie*
Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) :
INRAE Centre de Bourgogne-Franche-Comté 17 rue Sully, BP 86510 21065 DIJON Cédex,
judith.burstin@inrae.fr, 03.80.69.31.59
Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : UMR1347 Agroécologie, Fabrice Laurent-Martin

Co-directeur de thèse éventuel :
Nom : FRACHON
Prénom : Léa
Section CNU : 67 Biologie des populations et écologie
Grade : *Chargée de recherche classe normale*
HDR : *non ; oui Date de soutenance..... Discipline :*
Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : INRAE Centre de Bourgogne-Franche-Comté 17 rue Sully, BP 86510 21065 DIJON Cédex, lea.frachon@inrae.fr, 03.80.69.38.60
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
- **localisation :** INRAE Centre de Bourgogne-Franche-Comté (Dijon)
- **nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu :** Judith Burstin (directrice de thèse) & Léa Frachon
- **adresse courriel du contact scientifique :** judith.burstin@inrae.fr ; lea.frachon@inrae.fr
- **titre du projet :** Déterminants génétiques et moléculaires des interactions biotiques des légumineuses à graines dans un contexte agroécologique

Description du projet (2 pages maximum)

1. Contexte

Les changements climatiques intensifient les événements extrêmes (Handmer et al. 2012) et entraînent une déstabilisation importante des interactions biotiques (Rivero et al. 2022). Ces changements menacent la production agricole européenne (Beillouin et al. 2021, Ray et al. 2019). L'agroécologie offre une alternative aux cultures intensives où la gestion intégrée, notamment grâce aux interactions biotiques (plante compagne, pollinisateurs, microorganismes, ravageurs, etc.), permet d'augmenter ou de stabiliser les rendements et de minimiser l'impact de l'agriculture sur l'environnement. Pour cela, une compréhension approfondie des interactions biotiques et de leur influence sur le potentiel d'adaptation des grandes cultures face aux changements climatiques et à l'érosion de la biodiversité est indispensable. Les légumineuses à graines (pois, féverole, soja, lentilles, etc.), dont les graines sont riches en protéines, suscitent un intérêt croissant pour l'alimentation humaine et constituent d'excellents modèles pour améliorer nos connaissances sur ce sujet (Semba et al. 2021).

L'optimisation des interactions biotiques chez les légumineuses à graines permettrait, par exemple, d'augmenter la stabilité des rendements, d'augmenter la biodiversité, de réduire les intrants chimiques, et d'améliorer les services écosystémiques dans les agrosystèmes. Par exemple, les cultures en association augmentent le rendement en graines (Yu et al. 2016, Kopp et al. 2023), renforcent la

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.

résilience des cultures (Barot et al. 2017), réduisent les maladies et les ravageurs (Finckh et al. 2000, Zhang et al. 2019, Beillouin et al. 2021, Huss et al. 2022), etc. De leur côté, les pollinisateurs sont essentiels pour de nombreuses espèces cultivées (Klein et al. 2007), notamment certaines légumineuses comme la fève (Susso et Moreno 1999, Palmer et al. 2009). Cependant, ces interactions avec des plantes compagnes ou avec les communautés de pollinisateurs restent encore trop peu étudiées, et nos connaissances sur les déterminants génétiques et moléculaires sous-jacents sont limitées. Comprendre ces mécanismes permettra non seulement d'optimiser les interactions biotiques dans les programmes de sélection, mais aussi d'évaluer leur rôle dans la résilience des légumineuses face aux défis environnementaux. C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet de thèse « Déterminants génétiques et moléculaires des interactions biotiques des légumineuses à graines dans un contexte agroécologique » proposé à l'école doctorale Environnement-Santé.

2. Objectifs et originalité du projet

Le projet a pour objectif d'améliorer nos connaissances des interactions des légumineuses à graines avec leur environnement biotique (plante, pollinisateurs) au niveau moléculaire et génétique en contexte agroécologique. Les recherches de cette thèse s'articuleront autour de trois grands axes principaux : (A) compréhension des signaux moléculaires impliqués dans les interactions légumineuses – plantes compagnes en cultures associées, (B) identification des déterminants génétiques impliqués dans les interactions légumineuses -- communautés de pollinisateurs, et (C) descriptions des mécanismes moléculaires impliqués dans les interactions tripartites : légumineuses -- plantes compagnes -- communautés de pollinisateurs.

L'originalité de ce projet réside dans son approche intégrée permettant d'explorer les interactions biotiques complexes en agroécologie. Combinant la compréhension fine de ces interactions biotiques avec des analyses moléculaires et génétiques, ce projet offrira des perspectives intéressantes pour l'élaboration de nouvelles stratégies de sélection plus durable, maximisant la productivité tout en préservant la biodiversité et la santé des sols.

3. Stratégie scientifique

En agroécologie, comprendre finement les interactions biotiques permet d'identifier des leviers pour réguler les maladies, ravageurs et adventices, accroître la biodiversité des écosystèmes, renforcer la résilience des cultures face aux perturbations, et optimiser les services écosystémiques. Le projet de thèse proposé permettra d'améliorer ces connaissances au niveau des mécanismes moléculaires (métabolites primaires et secondaires) et génétiques de ces interactions. Il est articulé autour de trois axes complémentaires.

- A. Mécanismes moléculaires impliqués dans les interactions légumineuses – plantes compagnes en cultures associées. L'objectif de cette section est d'améliorer nos connaissances sur l'impact de différentes espèces compagnes sur les métabolites primaires et secondaires (occurrence et diversité des composés) du pois et de la fève. Dans cet axe de recherche, différentes variétés de pois et de fève ont été semées à l'automne 2024 en culture pure ou en association avec des légumineuses (lupin, pois, fève), des céréales (blé, triticale) ou de la moutarde à l'unité expérimentale d'Epoisses (U2E). Au printemps 2025, la caractérisation phénotypique, phénologique et écologique (services écosystémiques) est prévue, ainsi que l'échantillonnage de feuilles pour des analyses métaboliques avec nos collaborateurs de l'université de Bielefeld (Allemagne). Le/la doctorant(e) analysera la variation de l'occurrence et de la diversité des composés métaboliques dans les différentes modalités de culture. La recherche de cet axe A est financée par le projet BIOTOMIC obtenu en 2024 (voir section « Financement du projet ») et s'intègre dans un projet national plus large : SPECIFICS (PPR Cultiver et protéger, France 2030).
- B. Déterminants génétiques impliqués dans les interactions des fèves avec les communautés naturelles de pollinisateurs. L'objectif de cet axe B est d'identifier les déterminants génétiques impliqués dans des mécanismes d'attractivité de la fève pour les pollinisateurs, ainsi que dans les traits floraux impliqués dans les interactions plante-pollinisateurs (ex. composés volatiles, morphologie florale, phénologie, etc.) en culture pure. Deux cents génotypes de fève (*Vicia faba*) seront plantés en champ sur l'U2E au printemps 2026. Après phénotypage des 200 génotypes, des analyses de Genome-Wide Association seront menées par le/la

doctorant(e). L'étudiant(e) sera en charge des expérimentations et de l'analyse de données. La recherche de cet axe B est financée par un projet européen AGRI4POL (voir section « Financement du projet »).

- C. Exploration des mécanismes moléculaires impliqués dans les interactions tripartites : légumineuses – plantes compagnes – pollinisateurs. Cet axe vise à approfondir nos connaissances des interactions biotiques complexes, notamment celles impliquant plusieurs partenaires. Il s'appuie sur la même expérience que l'axe A, où des pois et des féveroles sont cultivés en culture pure ou en association avec diverses plantes compagnes. Lors du printemps 2025, les communautés de pollinisateurs visitant les féveroles seront caractérisées pour les grandes catégories de pollinisateurs (bourdons, abeille à miel, syrphes, petites abeilles, etc.). Des échantillons de fleurs seront prélevés et la caractérisation des métabolites primaires et secondaires sera réalisée par nos collaborateurs de l'université de Bielefeld (Allemagne). A l'arrivée du/de la doctorant(e), les différentes données seront disponibles, et il/elle sera en charge des différentes analyses. La recherche de cet axe C est financée par le projet BIOTOMIC (voir section « Financement du projet »).

4. Calendrier

| Axes | | Avant | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
|------|---|-------|----|----|----|----|----|----|
| A | Expérimentation / obtention des données métabolomiques des feuilles | | | | | | | |
| | Analyse des données | | | | | | | |
| | Ecriture d'un article scientifique | | | | | | | |
| B | Expérimentation en champ | | | | | | | |
| | Analyse des données (GWA) | | | | | | | |
| | Ecriture d'un article scientifique | | | | | | | |
| C | Expérimentation / obtention des données métabolomiques des fleurs | | | | | | | |
| | Analyse des données | | | | | | | |
| | Ecriture d'un article scientifique | | | | | | | |
| | Ecriture de la thèse | | | | | | | |

5. Expertise et collaborations

Le/la doctorant(e) bénéficiera de l'expertise en génétique et génomique écologique de ses encadrantes et de l'équipe d'accueil ECP, ainsi que de leur expérience dans l'étude des légumineuses à graines et des expérimentations en champ. Il ou elle collaborera étroitement avec les membres de son équipe de rattachement, l'équipe ECP de l'UMR Agroécologie, et de l'U2E pour les expérimentations. De plus, l'étudiant(e) profitera de l'expertise en métabolomique des collaborateurs de l'université de Bielefeld (Allemagne) et des compétences locales de certains membres de l'unité Agroécologie d'accueil. Grâce aux projets de recherche associés, il ou elle collaborera avec des équipes locales et s'intégrera dans des réseaux nationaux (UMR LIPME, Réseau PlantCom, Toulouse) et internationaux (Allemagne et réseau du projet AGRI4POL, Wageningen, Univ. Ghent).

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

La partie « recherche » de ce projet de thèse est financée par deux projets :

- **BIOTOMIC** : projet régional « Bourgogne Franche Comté » (TRANSBIO Graduate school) obtenu en 2024. Léa Frachon est la coordinatrice du WP3 (25 000€ acquis).
- **AGRI4POL** : projet européen Horizon 2030 obtenu en 2024. Judith Burstin est la coordinatrice du WP2.2 (1 059 570€ acquis pour INRAE).

Connaissances et compétences requises

- Formation recommandée : Master 2 en biologie végétale, agroécologie, génomique ou biochimie.
- Connaissances souhaitées : biologie végétale, statistiques dont la maîtrise de R ou Python, des connaissances en biochimie ou génomique seraient un atout mais ne sont pas indispensables.
- 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

- Barot et al. **2017** Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review. *Agron. Sustain. Dev.*
- Bellouin et al. **2021** Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Glob. Change Biol.*
- Finckh et al. **2000** Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie.*
- Handmer et al. **2012** Changes in impacts of climate extremes: human systems and ecosystems. *In book; Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation.*
- Huss et al. **2022** Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. *J. Eco. Entom.*
- Klein et al. **2007** Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B.*
- Kopp et al. **2023** Ecological principles to guide the development of crop variety mixtures. *J. Plant Ecol.*
- Palmer et al. **2009** The role of crop-pollinator relationships in breeding for pollinator-friendly legumes: from a breeding perspective. *Euphytica.*
- Ray et al. **2019** Climate change has likely already affected global food production. *PlosONE.*
- Rivero et al. **2022** Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *Plant J.*
- Semba et al. **2021** Legumes as a sustainable source of protein in human diets. *Global Food Secur.*
- Suso and Moreno **1999** Variation in outcrossing rate and genetic structure on six cultivars of *Vicia faba* L. as affected by geographic location and year. *Plant Breeding.*
- Yu et al. **2016** A meta-analysis of relative crop yields in cereal/legume mixtures suggests options for management. *Field Crops Res.*
- Zhang et al. **2019** Intercropping cereals with faba bean reduces plant disease incidence regardless of fertilizer input; a meta-analysis. *Eur. J Plant Patho.*

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

Résumé :

La crise climatique et de biodiversité menace la production de nombreuses grandes cultures. L'agroécologie est une alternative aux cultures intensifiées maintenant les productions tout en préservant les écosystèmes. Ces pratiques permettent une gestion intégrée des cultures où les interactions biotiques des plantes cultivées ont une importance cruciale dans les services écosystémiques rendus. Les légumineuses à graines sont des modèles prometteurs pour améliorer la compréhension de ces interactions en raison de leur intérêt écologique (apport azoté grâce à la symbiose rhizobienne) et économique (apport protéique végétale dans l'alimentation humaine). Cependant, ces interactions restent encore peu étudiées, notamment au niveau moléculaire et génétique. Comprendre ces interactions biotiques pourrait offrir des solutions pour stabiliser les rendements, augmenter la biodiversité, réduire les intrants chimiques et améliorer les services écosystémiques.

L'objectif principal du projet de thèse est d'explorer les déterminants génétiques et moléculaires sous-jacents aux interactions biotiques des légumineuses à graines en agroécologie. Pour cela, trois axes complémentaires seront explorés à travers une approche combinant expérimentations en champ, analyses métaboliques et études génétiques. Le premier axe étudiera les mécanismes moléculaires des interactions entre légumineuses et plantes compagnes en cultures associées via une expérimentation en champ à l'unité expérimentale d'Epoisses (U2E). Le deuxième axe s'intéressera aux déterminants génétiques de l'attractivité de la féverole pour les pollinisateurs, en analysant 200 génotypes de féverole et en réalisant des études de Genome-Wide Association (GWAS) sur des traits floraux tels que la morphologie, les composés volatiles et la phénologie. Enfin, le troisième axe explorera l'impact des cultures associées sur les interactions tripartites (légumineuses, plantes compagnes, pollinisateurs) à travers l'analyse des métabolites floraux et la diversité des pollinisateurs.

Summary:

The climate-biodiversity crisis is threatening crop production of a wide range of field crops. Agroecology appears as an alternative to intensified farming by maintaining yields while preserving ecosystems. These agricultural practices promote integrated crop management by exploiting biotic interactions which play a crucial role in delivering ecosystem services. Legumes are promising models for improving our understanding of these beneficial interactions due to their ecological (nitrogen supply via rhizobial symbiosis) and economic (plant-based protein diet) benefits. However, biotic interactions in this context remain poorly studied, particularly at the molecular and genetic levels. Understanding these biotic interactions can provide solutions for stabilizing yields, enhancing biodiversity, reducing the need for chemical inputs, and improving ecosystem services.

The main objective of the PhD project is to explore the genetic and molecular mechanisms underlying biotic interactions in legumes in agroecology. To achieve this, three complementary axes will be explored by combining field experiments, metabolic analyses and genetic studies. The first axis will study the molecular mechanisms involved in legumes and companion plant interactions in mixture crops in field experiment at the Epoisses experimental unit (U2E). The second axis will focus on the genetic bases of faba bean attractiveness to pollinators, by analysing 200 faba bean genotypes and carrying out Genome-Wide Association Studies (GWAS) on floral traits such as morphology, volatile compounds and phenology. Finally, the third axis will explore the impact of mixture crops on tripartite interactions (legumes, companion plants, pollinators) through analysis of floral metabolites and pollinator diversity.

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) :

Non défini

Biochimie

Agronomie

Biologie

Chimie

Ecologie, Environnement

Informatique, électronique

Mathématiques

Psychologie, neurosciences

Physique

Sociologie, anthropologie, sciences de l'éducation

Santé, médecine humaine, vétérinaire

Sciences de la donnée (stockage, sécurité, mesure, analyse)

Sciences de l'ingénieur

Terre, univers, espace

Mots clés : agroécologie, légumineuses à graines, interactions biotiques, plante-plante, plante-pollinisateurs, bases génétiques, bases moléculaires.