

## Vers un prototype d'expérimentation on Farm des effets des biosolutions sur le blé, approche par modèle numérique

### Contexte

Afin de proposer une lutte contre les agents pathogènes respectueuse de l'environnement, proposer des leviers d'action basés sur l'immunité de la plante est une option intéressante. Cependant l'immunité des plantes est dépendante du contexte agro-écologique dans lequel elles sont cultivées. Ainsi le biocontrôle, la biostimulation, les stress abiotiques comme la sécheresse peuvent modifier la résistance d'une plante<sup>1,2,3</sup>. Or, les bio-solutions sont souvent étudiées dans un contexte simplifié (expérimentations en conditions de croissance non limitantes), en occultant les multiples et complexes interactions existantes entre la plante et son environnement. C'est pourquoi, les pratiques de lutte basées sur l'immunité des céréales sont encore mal maîtrisées sur le terrain et entraînent parfois des résultats contrastés voir décevants<sup>4</sup>.

Trois principaux types de facteurs de réussite de passage au terrain ont été identifiés : les conditions d'application (incluant la formulation), la variabilité des conditions environnementales (incluant les pratiques agricoles) et l'état physiologique de la plante (sa réceptivité). Pour rendre les bio-solutions plus performantes, il s'agit donc de caractériser ces facteurs d'efficacité. Pour cela une stratégie est d'identifier et hiérarchiser sur le terrain les conditions environnementales optimales, tout en modélisant au laboratoire les caractéristiques physiologiques du blé permettant une réceptivité optimale du blé. Un premier modèle physiologique sera établi sur des données de laboratoire, puis sera étendu pour intégrer l'impact potentiel des facteurs clés de réussite du terrain. Le modèle étendu aura pour objectif d'aider à la conception d'expérimentations sur le terrain pour valider – confirmer réellement cet impact des facteurs et aussi pour identifier les conditions d'utilisations optimales d'une biosolution.

### Démarche

Dans le cadre de précédents projets, l'impact de différents facteurs (variété, sécheresse, biostimulant) sur l'immunité et la croissance du blé a été évalué en conditions contrôlées et hiérarchisées<sup>5</sup>. Cela a permis de mettre en évidence les interactions entre ces différents facteurs et cela a également permis la proposition d'un modèle théorique de répartition des ressources de la plantule de blé entre croissance, maintenance et défense. En effet, l'état physiologique du blé va dépendre des ressources disponibles et de stratégies de répartitions des ressources entre les différentes activités de la plante (croissance, réponse aux stress abiotiques, défense contre les maladies)<sup>5</sup>. La sécheresse ou l'utilisation de biostimulants, en perturbant la croissance de la plante, peuvent modifier l'état physiologique de la plante et indirectement sa capacité à se défendre. Une première activité dans la thèse sera d'implémenter et étoffer ce modèle de gestion des ressources pour la défense-croissance et d'étudier l'importance de ce compromis pour l'utilisation efficace des bio-solutions et plus largement dans les changements d'état physiologique du blé.

Une deuxième activité sera de construire un modèle hybride qui combinera le modèle mathématique à une approche statistique d'apprentissage automatique pour inférer des paramètres du modèle. Notamment, le doctorant testera des approches statistiques d'extraction d'information sur des données métabolomiques ou transcriptomiques pour calibrer dans le modèle l'allocation des ressources entre croissance-défense. Ce modèle hybride sera le cœur d'un modèle numérique de simulation se rapprochant du concept de jumeaux numérique. Le modèle numérique simulera des données et une évolution attendue qui pourront être comparées à la réalité des observations terrains.

Une troisième activité sera de réfléchir à l'utilisation de ce modèle pour identifier des expérimentations de terrain pertinentes et des conditions efficaces pour l'utilisation des bio-solutions. Au cours de cette phase de réflexion, les résultats-simulations du modèle seront confrontés à des données réelles issues d'expérimentation aux champs. Le doctorant pourra améliorer son modèle en identifiant par comparaison entre simulation et données réelles, quelles parties du modèle sont à faire varier/évoluer (paramètres, nouvelles variables, nouveau compartiment etc.). Une série d'expérimentations, déjà réalisées au sein de l'équipe MOMIE pourront être exploitées en premier. Le doctorant aura l'opportunité d'accéder si besoin à des données supplémentaires acquises au sein de PHIM ou en partenariat.

Enfin la dernière étape de cette réflexion portera sur le lien entre les résultats de laboratoire et ceux de terrain. Dans ce contexte, le doctorant proposera à l'aide du modèle établi des pistes pour comprendre les différences entre les résultats de laboratoire (en conditions contrôlées et non limitantes) et la réalité du terrain observée dans un réseau de producteurs (conditions multi-facteurs, non contrôlées et parfois limitantes). A l'instar de résultats obtenus sur les facteurs affectant le rendement du blé<sup>6,7</sup>, dans le cadre de cette thèse, le doctorant utilisera les métadonnées environnant les parcelles afin de mieux comprendre et caractériser les facteurs d'efficacité des produits. L'analyse des données issues de ce réseau permettra d'identifier les conditions d'expérimentation et d'utilisation optimale des produits.

L'enjeu final sera donc de comprendre les difficultés du transfert entre le laboratoire et le terrain et offrira des pistes de réflexion sur l'expérimentation des bio-solutions entre ces deux systèmes d'expérimentation et comment l'étendre à une expérimentation-validation à la ferme (OFE). L'OFE est une nouvelle approche de la recherche agricole et agronomique. Elle intègre la recherche expérimentale dans les exploitations agricoles réelles par le biais de collaborations mutuellement bénéfiques entre les agriculteurs et les chercheurs avec en perspective la mise en place d'un protocole d'expérimentation combinant les forces du laboratoire et du terrain<sup>7</sup>.

Afin de rendre plus générique l'approche mise en place, le doctorant pourra aussi évaluer les capacités prédictives de ce type de modèle hybride utilisant l'allocation des ressources croissance-défense pour d'autres pathosystèmes et d'autres produits.

### Objectifs et étapes de la thèse

Les facteurs d'efficacité des bio-solutions sont multiples et interagissent entre eux, ce qui rend impossible l'évaluation multifactorielle complète sur le terrain. Un modèle numérique pourrait par contre permettre de simuler des valeurs de références ou attendus et de comparer à la réalité des données. Le cœur de la thèse correspond à la formulation d'un premier modèle théorique et son adaptation au champ. Il s'agira 1) Etablir un premier modèle à partir des modèles théoriques existants et des données de laboratoire (milieu contrôlé) 2) Proposer un modèle numérique en s'appuyant sur des données de terrains déjà acquises 3) Analyser les métadonnées issues d'un réseau de parcelles partenaires pour caractériser et hiérarchiser les conditions d'efficacité des bio-solutions sur le terrain 4) Utiliser les métadonnées combinées au modèle numérique pour faire le lien entre résultat de laboratoire et de terrains 5) Préfigurer un protocole pour une validation des effets des bio-solutions dans un dispositif « On Farm »

### Profil recherché

Etudiant(e) Bac+5, Ingénieur ou Master 2 en mathématiques appliquées, avec un attrait pour les problématiques agronomiques. Une bonne maîtrise du logiciel R, python ou Julia est requise. Une connaissance des méthodes statistiques d'apprentissage et/ou des modèles de dynamique hôte - parasite représente un atout.



## Accueil

Il s'agit d'un doctorat combinant deux disciplines qui nécessitera un accueil sur deux sites montpellierains. L'UMR MISTEA s'intéresse aux problèmes de modélisation des systèmes agro-environnementaux et met au point des méthodes d'analyse mathématique, statistique et de contrôle des systèmes dynamiques. L'équipe MOMIE au sein de l'Institut de Santé des Plantes de Montpellier (PHIM3) s'intéresse aux modulations de l'immunité des céréales par les pratiques culturales (biocontrôle, biostimulants, fertilisation, mélange variétaux).

Le salaire du doctorant.e est co-financé par l'Institut Agro Montpellier et l'Institut DigitAg

**Contact :** [benedicte.fontez@supagro.fr](mailto:benedicte.fontez@supagro.fr)

Envoyer un CV et lettre de motivation.

## Références bibliographiques

1 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30978554/>,

2 Ballini et al (2013). Rice 6(1), 32;

3 Kosellek, C. et al. Euphytica 194(2), 161-176,

4 RMT Elicitra (2018). Acta ed,

5 <https://youtu.be/OKIPsjVdRmo?si=yhtLgeBALTDGI6VV>

6 <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1214112/full>

7 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429021002331>