

## **Offre de thèse de doctorat - Appel à candidature pour dépôt à l'appel à projet de thèse agroécologie et numérique.**

### **Analyse par apprentissage statistique des facteurs déterminants la performance et la stabilité des cultures intermédiaires multispécifiques**

#### **Introduction**

Les cultures ou couverts intermédiaires peuvent apporter de nombreux services écosystémiques, contribuant à la réduction de l'érosion (Daryanto et al., 2018; Schipanski et al., 2014), l'amélioration de la fertilité des sols (Honvault et al., 2024; Tribouillois et al., 2016), le maintien voir l'augmentation des stocks de carbone organique (McClelland et al., 2021) ou l'augmentation de la biodiversité (Schipanski et al., 2014). Leur rôle dans l'adaptation au changement climatique et son atténuation a également été démontré (Acharya et al., 2022; Himanshu et al., 2022; Kaye and Quemada, 2017; Zhang et al., 2024). Cependant, leur implantation en conditions adverses en milieux tempérés ainsi que les défis croissants liés au changement climatique imposent une technicité de plus en plus élevée dans leur gestion (Lamichhane and Alletto, 2022; Yoder et al., 2021). Ces défis émergents peuvent mener à leur simplification voir abandon et à la perte des services écosystémiques associés (Yoder et al., 2021). Les productivités inégales des couverts face aux aléas climatiques influencent en effet largement leurs services écosystémiques (De Notaris et al., 2025; Finney et al., 2016).

Bien que les couverts multispécifiques semblent pouvoir minimiser cette variabilité et maximiser les services produits (Elhakeem et al., 2021; Finney et al., 2016), les leviers d'adaptation des cultures intermédiaires face aux nouvelles conditions induites par le changement climatique restent moindrement explorés que pour les cultures principales (Feng et al., 2024). La compréhension des interactions espèces-environnement-conduite au sein de couverts représente également un défi majeur (Lamichhane and Alletto, 2022). Les performances des cultures intermédiaires tendent en effet à être très variables selon les sites en raison de conditions pédoclimatiques contrastées ainsi que de pratiques culturales différentes (Basche et al., 2016; Constantin et al., 2012; Tribouillois et al., 2015). La période d'implantation des couverts ainsi que les contraintes imposées par les cultures principales en rotation contribuent de plus à augmenter l'hétérogénéité des conditions auxquelles ils sont confrontés (Feng et al., 2024; Gutknecht et al., 2022; Wayman et al., 2015). L'étude des performances des couverts requière par conséquent des approches aptes à intégrer cette hétérogénéité pour produire des estimations robustes (Marcillo et al., 2020), ainsi qu'obtenir une meilleure compréhension des processus impliqués. L'utilisation d'outils d'apprentissage statistique a démontré des résultats prometteurs dans l'analyse des interactions espèce-environnement-conduite déterminantes pour la productivité des couverts et leurs services (Marcillo et al., 2020; Vojnov et al., 2022). Le rôle des interactions interspécifiques au sein des couverts multispécifiques, modulées par les environnements et conduites, reste cependant à explorer ainsi que leur contribution à la stabilité des performances.

Ces points à approfondir, portant également sur les phases cruciales d'émergence et d'implantation (Feng et al., 2024; Lamichhane and Alletto, 2022), contribuent également à

l'intégration encore réduite des couverts multispécifiques au sein des modèles de culture mécanistiques (Alonso-Ayuso et al., 2018; Feng et al., 2024; Vezy et al., 2023). Les modèles mécanistiques, intégrant une compréhension fine des processus écophysiologiques impliqués dans le développement et la croissance des espèces, ont démontré avec succès leur potentiel dans l'identification de leviers d'adaptations au changement climatique pour plusieurs cultures (Chisanga et al., 2022; Paleari et al., 2015; Stella et al., 2023). Cependant, l'intégration des cultures intermédiaires dans les principaux modèles tel que STICS, APSIM ou la plateforme de modélisation DSSAT reste limitée à quelques espèces (Beaudoin et al., 2023; Holzworth et al., 2018) et leur évaluation en mélange à des associations peu diversifiées voir bispécifiques uniquement (Tribouillois et al., 2015; Vezy et al., 2023). Il est néanmoins fréquent d'observer 3 à 5 espèces au sein des couverts multispécifiques (Finney et al., 2016; Florence and McGuire, 2020). Le développement d'approches empiriques d'apprentissage statistique pourrait permettre de remédier à notre compréhension encore à approfondir des processus complexes d'interactions en mélange. Pour répondre à ces enjeux et identifier les leviers d'adaptation au changement climatique des couverts des approches d'analyse novatrices sont nécessaires, examinant les effets des interactions espèces-environnement-conduite au sein de larges réseaux d'essais et d'observations capturant la grande hétérogénéité des conditions auxquels ils sont soumis. Ces approches pourraient permettre d'identifier les interactions déterminantes pour la productivité des couverts et supporter l'étude des mécanismes impliqués.

## **Objectifs**

**L'enjeu du projet sera d'étudier les interactions espèces-environnement-conduite déterminantes pour la productivité de biomasse des cultures intermédiaires multispécifiques à l'aide d'une approche de modélisation basée sur l'apprentissage statistique. Pour cela ses objectifs seront de :**

- Développer un modèle d'apprentissage sur des données mixtes issues d'essais répliqués et d'observations au champ pour la prédiction de la productivité des cultures intermédiaires multispécifiques. Dans le but d'investiguer les facteurs d'interactions espèces-environnement-conduite déterminants pour la productivité mais aussi la stabilité des couverts ainsi que de supporter le choix d'espèces et conduites adaptées.**
- Mettre en évidence les perspectives d'adaptation des cultures intermédiaires au changement climatique sur base des facteurs déterminants identifiés et d'une base nationale d'essais en environnements contrastés.**
- Souligner les interactions et adaptations cruciales à investiguer pour gagner une meilleure compréhension des mécanismes impliqués et contribuer à leur intégration au sein de modèles de culture et outils d'aide à la décision.**

**Le sujet évoluera également en fonction du regard du candidat et des avancées du projet.**

## UniLaSalle

Fondé en 1854, fort de 4100 étudiants, de 520 personnels et de 22000 alumni, l'institut polytechnique [UniLaSalle](#) est un établissement d'enseignement supérieur privé d'intérêt général (EESPIG) situé sur quatre campus Beauvais, Amiens, Rouen et Rennes. Au travers de sa recherche, au sein de [six unités](#) et dans le cadre dans [sa stratégie et ses cinq principaux engagements](#) pour la transformation écologique et sociétale, au service des entreprises, des filières et des territoires, UniLaSalle bénéficie d'un environnement physique et humain favorable à l'émancipation et au développement de la recherche : école dans le [TOP 10 happy School](#) ; 200 ha d'espaces paysagers et cultivés ; [plateformes de recherche](#) ; [FabLab en agriculture](#) ; exploitations agricoles pilotes ; réseau de partenaires publics et d'entreprises (+ de dix [chaires de formation et de recherche](#)).

La présente thèse sera réalisée au sein de l'unité de recherche [AGHYLE](#) (Agro-écologie, Hydrogéochimie, Milieux & Ressources) qui est une Unité propre de l'Institut Unilasalle (UP 2018.C101). Son activité de recherche est centrée sur l'étude des interactions sols-plantes en relation avec les pratiques agricoles et les innovations technologiques afin de comprendre leur rôle dans le fonctionnement du sol et des agroécosystèmes. L'unité AGHYLE est soutenue par le développement de plusieurs chaires industrielles formation et recherche : « [plant breeding](#) », « [agromachinisme et nouvelles technologies](#) » et « [Fermes résilientes bénéfiques pour le climat et la biodiversité](#) » dont VIVESCIA est partenaire. Le projet s'inscrit dans le cadre de cette dernière chaire et vient densifier les travaux sur les enjeux d'adaptation. L'unité est membre de l'École Doctorale « Sciences, Technologie, Santé » de l'Université de Picardie Jules Vernes (UPJV) dans laquelle la présente thèse sera inscrite.

Le projet s'inscrira dans le contexte de l'APEX. L'APEX est une plateforme d'innovation de 700 m<sup>2</sup> dédiée à l'innovation et à la recherche autour du numérique. L'APEX est labellisé « membre avancé Dassault Systèmes Academy » et est également l'un des Learning Lab du réseau international Learning Hub Dassault Systèmes. Les principales compétences de l'équipe d'enseignants-chercheurs de l'APEX sont la conception et le prototypage, la modélisation et la simulation numérique, l'impression 3D, le scan 3D et la photogrammétrie, ainsi que la réalité virtuelle.

## INRAE – UMR AGIR

AGIR rassemble des chercheurs et enseignant-chercheurs en sciences biotechniques et en sciences humaines et sociales de l'INRAE (départements AgroEcoSystèmes et ACT), de l'INP-Toulouse (ENSAT et Ecole d'ingénieurs de Purpan) et de l'ENSFEA et elle héberge également deux agents de l'ACTA et deux agents d'Agropolis international.

AGIR conçoit la transition comme la nécessité de quitter une situation jugée intenable. Pour l'agriculture, elle est motivée par le constat de ces effets indésirables sur le revenu et l'isolement des agriculteurs, l'environnement, les inégalités territoriales, la santé des consommateurs et des travailleurs, le bien-être animal, etc... La transformer se heurte à :

- La complexité à reconcevoir des systèmes adaptés à leur environnement et intégrant les interactions entre modes de production, territoires, filières, et consommation.
- L'incertitude liée aux aléas, notamment climatiques, auxquels est soumise l'agriculture et l'incertitude liée à l'incomplétude des connaissances et aux propriétés émergentes des systèmes complexes qui limitent notre capacité à prévoir les effets du changement.
- L'ambiguïté générée par les désaccords sur l'intérêt des nombreuses solutions envisageables. Naissent alors des controverses comme sur le numérique, l'enjeu est alors savoir si et comment ces innovations servent un développement durable.

L'accompagnement de la transition est alors envisagé comme celui d'un processus évolutif en cours, processus auquel les chercheurs accèdent par leur implication sur le terrain. L'objectif de leurs recherches est de comprendre, nourrir et accompagner les trois temps de ce processus évolutif :

- La génération d'innovations (connaissances, concepts, modèles, objets, pratiques, outils, organisations...) par l'expérimentation, la modélisation ou la co-conception;
- La sélection en analysant les épreuves que subissent les innovations pour devenir viables, en concevant des outils et des dispositifs d'évaluation, et en précisant le domaine de validité de certaines connaissances ;
- La co-évolution en étudiant les reconfigurations au sein des systèmes socio-techniques associées au déploiement de certaines solutions. Des méthodes participatives et pragmatiques sont également conçues pour favoriser cette co-évolution.

AGIR produit ainsi une compréhension du monde en train de changer utile à l'action collective (politiques publiques, plans d'action territoriale...) et des connaissances actionnables pour développer une agriculture basée sur la biodiversité (assolements et rotation, plan de gestion du pâturage, organisation des échanges cultures et élevage, plantes issues de sélection participative...) et des méthodes pour accompagner son développement (jeux sérieux, outils d'aide à la décision, approches participatives...), et pour l'évaluer (diagnostics agroécologiques, grilles multicritères, processus d'intermédiations...).

## **Encadrement**

Nicolas Honvault (CR en agroécologie, Unité AGHYLE, UniLaSalle).

Jay Ram Lamichhane (Dr. En agronomie, phytopathologie et écologie microbienne, AGIR, Université de Toulouse).

Michel-Pierre Faucon (Dr. Enseignant-chercheur en écologie végétale et agroécologie, Unité AGHYLE, UniLaSalle).

Odalric-Ambrym Maillard (CR en apprentissage par renforcement (Reinforcement Learning) et séquentiel (Sequential Learning)-HDR, INRIA Lille)

## **Collaborations**

VIVESCIA

Arvalis

ACTA

## **Profil recherché :**

Master 2 ou équivalent en environnement, agrosociétés ou agroécologie avec spécialité en data science/data analytics et une appétence pour la modélisation.

Compétences demandées : Rigueur, curiosité scientifique, bonne organisation de son temps, connaissances en modélisation, ainsi que des méthodes d'apprentissage statistique appliquées aux données environnementales, maîtrise des statistiques appliquées et de R, python, bon niveau d'anglais écrit et parlé.

Le dossier de candidature sera constitué d'un CV, d'un procès-verbal des notes en Master 1 et Master 2 et d'une lettre de motivation. Il est à envoyer par email avant le 23 mai 2025, à Nicolas Honvault [nicolas.honvault@unilasalle.fr](mailto:nicolas.honvault@unilasalle.fr), Jay Ram Lamichhane [jay-](#)

[ram.lamichhane@inrae.fr](mailto:ram.lamichhane@inrae.fr), Michel-Pierre FAUCON [Michel-Pierre.FAUCON@unilasalle.fr](mailto:Michel-Pierre.FAUCON@unilasalle.fr) ainsi que Odalric-Ambrym Maillard [odalric.maillard@inria.fr](mailto:odalric.maillard@inria.fr). Des recommandations autres peuvent également être jointes

Le ou la doctorant(e) sera présent(e) à UniLaSalle (campus Beauvais) ainsi qu'à l'UMR AGIR (Toulouse) où des missions sont prévues chaque année.

**Rémunération** : Salaire mensuel brut : 2200 euros.

Durée du projet : Trois ans, 1er sept 2025 au 31 août 2028. Le démarrage de la thèse sera précisé en fonction du retour de l'appel.

## Bibliographie

- Acharya, P., Ghimire, R., Paye, W.S., Ganguli, A.C., DelGrosso, S.J., 2022. Net greenhouse gas balance with cover crops in semi-arid irrigated cropping systems. *Sci. Rep.* 12, 12386. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16719-w>
- Alonso-Ayuso, M., Quemada, M., Vanclooster, M., Ruiz-Ramos, M., Rodriguez, A., Gabriel, J.L., 2018. Assessing cover crop management under actual and climate change conditions. *Sci. Total Environ.* 621, 1330–1341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.095>
- Basche, A.D., Archontoulis, S.V., Kaspar, T.C., Jaynes, D.B., Parkin, T.B., Miguez, F.E., 2016. Simulating long-term impacts of cover crops and climate change on crop production and environmental outcomes in the Midwestern United States. *Agric. Ecosyst. Environ.* 218, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.011>
- Beaudoin, N., Lecharpentier, P., Ripoche-Wachter, D., Strullu, L., Mary, B., Léonard, J., Launay, M., Justes, É., 2023. STICS soil-crop model: Conceptual framework, equations and uses. éditions Quae.
- Chisanga, C.B., Moombe, M., Elijah, P., 2022. Modelling climate change impacts on maize. *CABI Rev. cabireviews202217008*. <https://doi.org/10.1079/cabireviews202217008>
- Constantin, J., Beaudoin, N., Launay, M., Duval, J., Mary, B., 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agric. Ecosyst. Environ.* 147, 36–46.
- Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P.-A., Zhao, W., 2018. Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. *Earth-Sci. Rev.* 185, 357–373. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.06.013>
- De Notaris, C., Peixoto, L., Mortensen, E.Ø., Rasmussen, J., 2025. Cover crop biomass production as a predictor of nitrogen fertilizer replacement value - legumes secure positive effects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 381, 109446. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109446>
- Elhakeem, A., Bastiaans, L., Houben, S., Couwenberg, T., Makowski, D., van der Werf, W., 2021. Do cover crop mixtures give higher and more stable yields than pure stands? *Field Crops Res.* 270, 108217. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108217>
- Feng, X., Alletto, L., Cong, W.-F., Labreuche, J., Lamichhane, J.R., 2024. Strategies to improve field establishment of cover crops. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 44, 47. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00986-0>
- Finney, D.M., White, C.M., Kaye, J.P., 2016. Biomass Production and Carbon/Nitrogen Ratio Influence Ecosystem Services from Cover Crop Mixtures. *Agron. J.* 108, 39–52. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0182>
- Florence, A.M., McGuire, A.M., 2020. Do diverse cover crop mixtures perform better than monocultures? A systematic review. *Agron. J.* 112, 3513–3534. <https://doi.org/10.1002/agj2.20340>
- Gutknecht, J., Cates, A., Journey, A., Peterson, H., Blair, H., 2022. Cover crop management practices to promote soil health and climate adaptation: Grappling with varied success from farmer and researcher observations.

- Himanshu, S.K., Ale, S., DeLaune, P.B., Singh, J., Mauget, S.A., Barnes, E.M., 2022. Assessing the effects of a winter wheat cover crop on soil water use, cotton yield, and soil organic carbon in no-till cotton production systems. *J. ASABE* 65, 1163–1177.
- Holzworth, D., Huth, N.I., Fainges, J., Brown, H., Zurcher, E., Cichota, R., Verrall, S., Herrmann, N.I., Zheng, B., Snow, V., 2018. APSIM Next Generation: Overcoming challenges in modernising a farming systems model. *Environ. Model. Softw.* 103, 43–51.
- Honvault, N., Faucon, M.-P., McLaren, T., Houben, D., Frossard, E., Oberson, A., 2024. Influence of cover crop residue traits on phosphorus availability and subsequent uptake by plants. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 1–18.
- Kaye, J.P., Quemada, M., 2017. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 4. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x>
- Lamichhane, J.R., Alletto, L., 2022. Ecosystem services of cover crops: a research roadmap. *Trends Plant Sci.* 27, 758–768. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.03.014>
- Marcillo, G.S., Mirsky, S., Poncet, A., Reberg-Horton, C., Timlin, D., Schomberg, H., Ramos, P., 2020. Using statistical learning algorithms to predict cover crop biomass and cover crop nitrogen content. *Agron. J.* 112, 4898–4913. <https://doi.org/10.1002/agj2.20429>
- McClelland, S.C., Paustian, K., Schipanski, M.E., 2021. Management of cover crops in temperate climates influences soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Ecol. Appl.* 31, e02278.
- Paleari, L., Cappelli, G., Bregaglio, S., Acutis, M., Donatelli, M., Sacchi, G.A., Lupotto, E., Boschetti, M., Manfron, G., Confalonieri, R., 2015. District specific, in silico evaluation of rice ideotypes improved for resistance/tolerance traits to biotic and abiotic stressors under climate change scenarios. *Clim. Change* 132, 661–675. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1457-4>
- Schipanski, M.E., Barbercheck, M., Douglas, M.R., Finney, D.M., Haider, K., Kaye, J.P., Kemanian, A.R., Mortensen, D.A., Ryan, M.R., Tooker, J., White, C., 2014. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agric. Syst.* 125, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.004>
- Stella, T., Webber, H., Eyshi Rezaei, E., Asseng, S., Martre, P., Dueri, S., Rafael Guarín, J., Pequeno, D.N.L., Calderini, D.F., Reynolds, M., Molero, G., Miralles, D., García, G., Slafer, G., Giunta, F., Kim, Y.-U., Wang, C., Ruane, A.C., Ewert, F., 2023. Wheat crop traits conferring high yield potential may also improve yield stability under climate change. *Silico Plants* 5, diad013. <https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diad013>
- Tribouillois, H., Cohan, J.-P., Justes, E., 2016. Cover crop mixtures including legume produce ecosystem services of nitrate capture and green manuring: assessment combining experimentation and modelling. *Plant Soil* 401, 347–364.
- Tribouillois, H., Cruz, P., Cohan, J.-P., Justes, É., 2015. Modelling agroecosystem nitrogen functions provided by cover crop species in bispecific mixtures using functional traits and environmental factors. *Agric. Ecosyst. Environ.* 207, 218–228.
- Vezy, R., Munz, S., Gaudio, N., Launay, M., Lecharpentier, P., Ripoche, D., Justes, E., 2023. Modeling soil-plant functioning of intercrops using comprehensive and generic formalisms implemented in the STICS model. *Agron. Sustain. Dev.* 43, 61. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00917-5>
- Vojnov, B., Jaćimović, G., Šeremešić, S., Pezo, L., Lončar, B., Krstić, Đ., Vujić, S., Čupina, B., 2022. The Effects of Winter Cover Crops on Maize Yield and Crop Performance in Semiarid Conditions—Artificial Neural Network Approach. *Agronomy* 12, 2670. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112670>
- Wayman, S., Cogger, C., Benedict, C., Burke, I., Collins, D., Bary, A., 2015. The influence of cover crop variety, termination timing and termination method on mulch, weed cover and soil nitrate in reduced-tillage organic systems. *Renew. Agric. Food Syst.* 30, 450–460. <https://doi.org/10.1017/S1742170514000246>
- Yoder, L., Houser, M., Bruce, A., Sullivan, A., Farmer, J., 2021. Are climate risks encouraging cover crop adoption among farmers in the southern Wabash River

Basin? Land Use Policy 102, 105268.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105268>

Zhang, X., Wang, Y., Lee, S., Liang, K., Zhao, K., McCarty, G.W., Alfieri, J.G., Moglen, G.E., Hively, W.D., Myers, D.T., Oviedo-Vargas, D., Nguyen, T.V., Hinson, A.L., Du, L., Romeiko, X.X., 2024. Synergistic water quality and soil organic carbon sequestration benefits of winter cover crops. *J. Environ. Manage.* 371, 123104.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123104>