

# Stagiaire M2 / Ingénieur.e fin d'études à INRAE Occitanie-Toulouse

## Sujet : Quantification de la biomasse de cultures à l'aide du phénotypage numérique pour l'évaluation de fonctions écosystémiques dans des systèmes agro-écologiques

Contacts : - Lionel Alletto : lionel.alletto@inrae.fr  
- Jordan Bernigaud Samatan : jordan.bernigaud-samatan@inrae.fr

Date limite de candidature : 19/10/2024

Date de début : A partir de 03/03/2025

Durée : 6 mois

Doctorat à suivre : Oui, sous réserve : candidature école doctorale

**Pour candidater : Envoyer par email CV, lettre de motivation et relevés de notes M1 (ou équivalent pour école d'ingénieur.e)**

*L'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) est un établissement public de recherche rassemblant une communauté de travail de 12 000 personnes, avec 268 unités de recherche, de service et expérimentales, implantées dans 18 centres sur toute la France. INRAE se positionne parmi les tout premiers leaders mondiaux en sciences agricoles et alimentaires, en sciences du végétal et de l'animal ainsi qu'en écologie. Ses recherches visent à construire des solutions pour des agricultures multi-performantes, une alimentation de qualité et une gestion durable des ressources et des écosystèmes.*

### I/ Contexte

*Le/la stagiaire sera accueilli.e au sein de l'Unité Expérimentale d'Agroécologie et de Phénotypage des Cultures (UE- APC) ainsi que de l'Unité mixte de recherche Agroécologie - innovations - Terroires (UMR AGIR).*

L'UE-APC a pour missions la conduite d'expérimentation au champ pour des essais de sélection variétale ou des essais systèmes incluant les systèmes agro-écologiques. Afin d'exploiter au maximum les essais, l'UE-APC est équipée de capteurs permettant l'acquisition de large quantité de données de façon automatisée ou semi-automatisée : drones équipés de capteurs d'imagerie multi-spectrale ou RGB, robots de proxi-détection multi-capteurs (RGB, multispectral, LIDAR etc.), perche Literal avec imagerie multi-spectrale, RGB. L'acquisition de ces larges volumes de données utiles pour la caractérisation des cultures est appelée phénotypage haut débit (PHD), à mettre en relation avec les relevés réalisés par des expérimentateurs qui sont généralement plus longs et coûteux (phénotypage bas débit). L'UE-APC est également doté d'un pôle de recherche et développement en analyse de données issues du PHD : Une fois les données acquises elles doivent être exploitées pour en tirer des traits agronomiques d'intérêt (taux de couverture, densité, etc.).

L'UMR AGIR mène des travaux sur la transition agroécologique de systèmes agricoles et alimentaires. Le stage proposé se déroulera au sein de l'équipe VASCO (VARIétés et Systèmes de Culture pour une production agrOécologique) qui est une des trois équipes de l'UMR AGIR. Les chercheurs de l'équipe VASCO travaillent sur la transition de systèmes de culture en évaluant, par expérimentation et modélisation, des leviers de diversification des espèces végétales dans l'espace et dans le temps, notamment par l'intégration de plantes de service et d'associations de cultures, et de réduction du travail du sol.

L'estimation de la biomasse aérienne des cultures, de rente ou de services, est encore aujourd'hui principalement réalisée par des mesures manuelles (destructives) alors que la biomasse, en plus d'être directement liée à la productivité d'une culture, est le driver principal d'un grand nombre de fonctions écosystémiques : fixation d'Azote, productions de composés d'intérêts, stockage de Carbone, ... Les approches de PHD sont encore en effet trop déconnectées d'une évaluation satisfaisante de cette biomasse,

et en particulier dans des peuplements complexes, comportant plusieurs espèces végétales, comme souvent rencontrés en systèmes agroécologiques. La dépendance aux mesures manuelles limite ainsi la possibilité d'analyser la dynamique temporelle de l'expression de ces fonctions et représente une limite à la compréhension et au pilotage des interactions ou régulations dans des systèmes agroécologiques à bas niveaux d'intrants.

L'accès précis à la biomasse en PHD représente un important challenge méthodologique et technologique. Toutefois, Il est envisageable de construire des indicateurs permettant d'accéder à des informations similaires (proxys : Biovolume, biovolume espèce dépendant (et/ou organe dépendant), combinaison avec des fractions de trous etc). Ces proxys représentent un potentiel significatif pour les études agronomiques : en effet, ces informations seraient disponibles plus régulièrement et en nombre bien plus important sur les essais permettant des analyses agronomiques plus fines et plus robustes.

L'objectif de ce stage serait de proposer des proxys simples, de les déployer sur les données acquises et de faire l'analyse agronomique pour différents peuplements cultivés dans des systèmes agro-écologiques (cultures intermédiaires multi-espèces, associations de culture de rente, ...) afin de quantifier la plus-value de leur utilisation.

## II/ Présentation du stage

Le premier proxy envisageable serait basé sur une estimation simplifiée d'un biovolume. Pour ce faire, l'idée serait de combiner (superposer) l'information issue de deux types de données distincts : L'imagerie RGB prise au nadir (au-dessus de la culture à 90° par rapport au sol) qui permet d'accéder à la fraction de couverture de la canopée ainsi que les nuages de points permettant d'accéder à de l'information morphologique (typiquement la hauteur de la canopée). A l'UE-APC nous disposons de deux capteurs de proxi-detection permettant d'obtenir des nuages de points en complément des images RGB :

- La perche Literal : une perche manipulée par un.e technicien.ne dotée de deux capteurs d'imagerie RGB. Le nuage de points est ensuite obtenu par stéréovision. L'avantage de la perche réside en deux points clefs : 1) Les logiciels de pré-traitements des données (stéréovision) sont inclus dans l'appareil, ce qui réduit l'effort nécessaire de calibration entre images et nuages de points nécessaire à la superposition. 2) Son utilisation très simple et facilement transportable pour les essais chez les agriculteurs.

- La phéno-mobile : 3 caméras RGB (deux nadirs + une à 45°) et 3 LIDARs (deux nadirs + un à 45°). Les LIDARs fournissent les nuages de points en mesurant la réflexion de faisceaux lasers émis vers la culture. Les avantages résident en : 1) Plus grande précision des nuages de points 2) Accès plus immédiat à d'autres informations morphologiques via les LIDARs (fraction de trou, angle d'inclinaison des feuilles, autres). Cependant l'utilisation de la phéno-mobile est limitée à l'UE-APC et nécessite un travail supplémentaire de co-calibration des LIDARs et d'un ajustement entre le nuage de points et les images.

Pour le stage l'objectif serait de se centrer sur l'utilisation de la perche Literal pour un proxy simple et, si le temps le permet, d'envisager dans un second temps des développements intégrant des traits morphologiques plus avancés avec la phéno-mobile.

Une fois l'obtention des nuages de points combinés à l'image il s'agira d'opérer la segmentation d'espèces dans l'image (identification de l'espèce de plante cultivée pour chaque pixel de l'image). Pour ce faire nous emploierons des méthodes d'apprentissage profond où nous utiliserons des données annotées dans le cadre d'autres projets qui pourront être complétées au besoin. A noter que la segmentation multi-classe pourra être utilisée dans le cas de cultures en mélange. Ces tâches pourront être facilitées par les outils pour l'apprentissage profond développés à l'UE-APC.

Finalement, les données finales seront une superposition de masques de segmentation pour chaque espèce présente dans l'image ainsi que les hauteurs associées pouvant conduire à l'estimation d'un proxy biovolume.

Ces approches méthodologiques seront mises en œuvre durant le stage sur une diversité de variétés de blé tendre cultivées en pur dans le cadre d'un essai analytique en blocs randomisés sur lequel des mesures régulières de biomasse seront réalisées manuellement. En fonction de l'avancement sur ces peuplements « simples », il sera possible de travailler sur des peuplements de cultures de rente en

mélange, notamment blé / féverole (pour lequel des données annotées pour la segmentation multi-espèce via apprentissage profond sont déjà disponibles).

### III / Profil recherché

#### Compétences principales :

- Programmation python
- Agronomie
- Bases en statistiques

#### Compétences complémentaires appréciées :

- Programmation pour le calcul scientifique (optimisation de paramètres, gestion des données etc.)
- Apprentissage automatique / profond.
- Bases en algèbre linéaire et géométrie dans l'espace (produits matriciels, rotation-translations dans l'espace)
- Connaissance des systèmes agro-écologiques

L'étudiant.e devra avoir un intérêt certain pour la programmation, l'analyse de données et l'agronomie.

***Si vous souhaitez des informations complémentaires, n'hésitez pas à prendre contact avec les personnes mentionnées au début de la fiche descriptive.***