

Ecole doctorale Environnements-Santé
Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral Etablissements »
ANNEE 2023

TITRE DU PROJET : Machine learning et intelligence artificielle au service d'une gestion durable des agrosystèmes. Développement d'indicateurs agronomiques non destructifs par imagerie de proxidtection pour l'évaluation de l'état sanitaire d'une culture céréalière en interaction avec la flore adventice

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

Directeur de thèse HDR :

Nom : **GEE**

Prénom : **CHRISTELLE**

Section ~~CNU~~ CNECA : 3

Grade : *Professeur*

HDR : *Date de soutenance.....2008..... Discipline :Physique.*

l'HDR devra être soutenue, ou sa soutenance autorisée, au moment du dépôt du présent projet.

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : Institut Agro Dijon 26 Bd Docteur petitjean – 2100 DIJON

christelle.gee@agrosupdijon.fr

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : UMR 1347 Agroécologie, MARTIN-LAURENT Fabrice fabrice.martin@inrae.fr 03.80.69.34.06

Co-directeur de thèse éventuel :

Nom :

Prénom :

Grade :

HDR : *non* ; *oui* *Date de soutenance..... Discipline :*

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) :

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) :

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 1347 Agroécologie pôle GESTAD (Gestion Durable des Adventices), équipe COMPARE

Localisation: INRAE Centre de Bourgogne-Franche-Comté 17 rue Sully, BP 86510, 21065, DIJON Cedex, France

- Nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu

¹ ATTENTION : depuis le texte de loi de mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde économique, qui peut venir en supplément, 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.

- **Directeur de thèse** : Dr. Christelle Gée
- **Adresse courriel du contact scientifique**
Dr Christelle Gée : christelle.gee@agrosupdiion.fr

TITRE DU PROJET : Machine learning et intelligence artificielle au service d'une gestion durable des agrosystèmes. Développement d'indicateurs agronomiques non destructifs par imagerie de proxidtection pour l'évaluation de l'état sanitaire d'une culture céréalière en interaction avec la flore adventice

Mots-Clés : agroécologie, imagerie, proxidtection, deep learning, culture, adventices, phénotypage, stress, agriculture numérique

- Description du projet (2 pages maximum)

1- Contexte

Faciles d'utilisation, les intrants chimiques se sont imposés comme le principal moyen pour raisonner la protection des cultures. Leurs impacts négatifs sur l'environnement, la biodiversité et la santé humaine, nécessitent de rapidement réfléchir à de nouvelles pratiques qui s'appuient sur des leviers agronomiques et sur des solutions techniques innovantes (robotique, génétique, modèles prédictifs, ...). Une des alternatives possibles à cette agriculture intensive est le recours à des systèmes agroécologiques ; cette alternative est celle retenue par la France et l'Europe (programme France 2030 et Horizon 2030). Cependant comme ces systèmes sont moins résilients aux aléas (climatiques, bioagresseurs, ...), ils nécessitent une vigilance accrue pour réagir et intervenir rapidement sur la parcelle cultivée. Il faut donc développer des outils numériques simples et rapides pour permettre aux professionnels du monde agricole (agriculteurs, techniciens, ...) d'avoir un suivi dynamique intra-parcellaire. Aussi, ces professionnels manquent 1) d'outils numériques simples d'utilisation pour évaluer un peuplement cultivé et évaluer ses potentiels stress en lien avec la flore adventice ou les besoins azotés 2) d'indicateurs agronomiques non destructifs pour caractériser rapidement ces peuplements et leur interaction.

2- Objectifs scientifiques

Ce travail de doctorat évaluera le potentiel d'outils numériques (imagerie visible par proxidtection et modélisation) faciles d'emploi et low-cost pour caractériser l'état sanitaire de la culture à des stades phénologiques jeunes. Plusieurs indicateurs agronomiques non-destructifs seront développés pour caractériser les peuplements végétaux et identifier les principaux stress subis par la culture à ces stades : la pression adventice (stress biotique) et carence azotée (stress abiotique). Le caractère novateur de ce projet repose sur l'utilisation de technologies low-cost et open-source pour développer des indicateurs et des cartes numériques à l'échelle de la parcelle cultivée.

Pour ce projet, les questions scientifiques seront les suivantes :

-Peut-on discriminer la flore adventice de la culture par imagerie visible à l'aide l'algorithme de discrimination reposant sur le Deep Learning ? L'arrivée des techniques de l'intelligence artificielle comme le deep learning (Pflanz et al., 2018 ; JA. Vayssade, 2022) semblent prometteuses pour une identification du peuplement adventices par espèces dans un peuplement cultivé. Ceci permettra d'identifier les zones à forte couverture foliaire adventice et d'évaluer leurs effets néfastes sur la croissance de la culture. En s'appuyant sur des modèles dynamiques de croissance de peuplements qui reposent sur des mesures destructives de biomasse (BM). Nous substituerons la surface foliaire (SF) à la biomasse (BM) s'appuyant sur des courbes de calibration pré-établies par le passé pour certaines variétés de blé. Selon l'avancée du travail, nous pourrons caractériser l'influence de la flore adventice dans sa globalité ou l'effet de chaque peuplement adventice sur la culture.

-Peut-on identifier un stress azoté d'un couvert cultivé avec par imagerie visible à partir d'un indicateur non destructif, le Dark Green Color Index (DGCI) ? On s'appuiera sur les précédents travaux de [Karcher and Richardson \(2003\)](#) qui ont développé cet indice sur des feuilles de culture type maïs ou riz. Egalement, les travaux récents méthodologique de notre équipe ([Gée et al., 2022](#)), semble montrer que nous pourrions étendre cette approche à un peuplement cultivé en utilisant un indice normalisé, n-DGCI. Nous évaluerons le potentiel d'un tel indice à l'échelle d'une parcelle.

Au final, ce travail évaluera le potentiel du numérique low-cost et de l'imagerie visible par proxi-détection. A l'issue de ce projet, l'ensemble des cartes numériques établies pour chaque indicateur (carte de croissance, cartes d'infestation et pression adventice, carte de stress azoté), permettra un suivi des peuplements de dégager un état sanitaire de la culture. Un diagnostic sera alors établi permettant d'identifier localement certains stress (biotique : adventices et abiotique : azote) pour intervenir au plus vite sur la parcelle.

Références

- Butaud M., 2021. Développement de techniques d'intelligence artificielle pour le phénotypage haut débit au champ – Caractériser l'état sanitaire du blé par imagerie visible. Rapport de Master – Université de Bourgogne Franche Comté
- Gée C., de-Yparraguirre M., Denimal E. and Voisin A.S., 2022. Potential of visible imagery for dynamic monitoring of nitrogen requirements in winter wheat using innovative APPI-N method. Colloque ARFAGRI-PUMA sur la transition agroécologique, 22-23 nov. 2022, Rosario, Argentine La Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (N°40- Fev 2023)
- Karcher, D.E. and Richardson, M.D., 2003. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. *Crop Science* 43, 943-951
- Pflanz M., Nordmeyer H. and Schirrmann M., 2018. Weed Mapping with UAS Imagery and a Bag of Visual Words Based Image Classifier. *Remote Sens.* 2018, 10(10), 1530; <https://doi.org/10.3390/rs10101530>
- Liu Shouyang, Fred Baret, Bruno Andrieu, Philippe Burger and Matthieu Hemmerlé , 2017. Estimation of Wheat Plant Density at Early Stages Using High Resolution Imagery. *Front Plant Sci.* 2017; 8: 739.
- Svensgaard Jesper, Thomas Roitsch and Svend Christensen, 2014. Development of a Mobile Multispectral Imaging Platform for Precise Field Phenotyping. *Agronomy* 2014, 4, 322-336; doi:10.3390/agronomy4030322
- Vayssade, J.-A., 2022. Approche multi-critère pour la caractérisation des adventices. Dijon, Université de Bourgogne Franche Comté: Environnement-Santé, Doctorat en Informatique.
- Wu Xuewen, Wenqiang Xu, Yunyun Song and Mingxing Cai (2011). A Detection Method of Weed in Wheat Field on Machine Vision. *Procedia Engineering*, Volume 15, 2011, Pages 1998-2003 <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.373>

3- Programme de recherche

Le travail sera réalisé au sein de l'UMR Agroécologie dans le Pôle Gestad et au sein de l'Equipe BiodiverSE. Les expérimentations se dérouleront sur la plateforme CA-SYS de l'Unité Expérimentale d'Epoisses (Bretenières) de l'INRAE. Cette plate-forme de recherche et d'expérimentation sert à expérimenter l'agroécologie à différentes échelles. Nous bénéficierons d'un appui technique pour la gestion des parcelles et de télépilotes (techniciens INRAE) pour piloter les drones (Mavic2 Zoom et Phantom 4P de la Sté DJI) appartenant à l'INRAE et à l'Institut Agro Dijon. Ces drones disposent de caméras visible et multispectrale et leur utilisation se fera à très basse altitude (5m). Enfin, l'acquisition d'images pourra également se faire à partir de l'imagerie smartphone pour construire des bases de données complémentaires. Les collègues (E. denimal, informaticien et L. Dujourny, statisticienne) de la cellule d'appui à la recherche en science des données de l'institut Agro Dijon, en soutien pour le traitement des données. Ces personnes sont déjà fortement impliquées dans ces travaux de recherche (Cf liste publications des 3 dernières années en 3-2)

Année 1 - Acquisition de données terrain et réalisation d'une base d'images annotées

1) Synthèse bibliographique 2) Préparation d'une parcelle (ou micro-parcelle) de blé et mise en place d'un protocole d'acquisition des données. Les données images acquises par drones et par smartphone à différentes dates de développement de la culture seront complétées par des mesures destructives pour estimer les variables biophysiques clés de la croissance

d'un couvert végétal : biomasse, indice foliaire et indice de nutrition azotée (INN). Mise en correspondance des données images et données destructives. 2) Structuration de la base de données Images pour mettre en place un traitement d'images robuste reposant sur des méthodes de deep learning (réseau de neurones convolutifs, CNN). Annotation de la base de données

Année 2 - Appropriation d'un modèle écophysologique de croissance de peuplement et développement d'indicateurs agronomiques non destructifs

1) Poursuite de l'acquisition de données sur une nouvelle parcelle de blé et validation de l'algorithme de discrimination culture/adventices. Extraction de plusieurs indicateurs agronomiques non destructifs pour caractériser chaque peuplement (culture / adventices). 2) Après appropriation d'un modèle de croissance de culture reposant sur les équations de Monteith (formalisme énergétique de la production de biomasse d'un couvert végétal), utilisation de la SF de la culture comme variable d'entrée (recours à des courbes de calibration). 3) Réalisation de cartes numériques spatio-temporelles pour un suivi de la parcelle 4) préparation d'articles internationaux et présentation des résultats des conférences, congrès.

Année 3 - Synthèse des résultats

1) Analyse et synthèse des résultats 2) rédaction du manuscrit de thèse et soutenance

4- Retombées du projet

A terme nous espérons proposer des solutions simples d'utilisation et open-source aux professionnels du monde agricole pour identifier un stress azoté et des pressions adventices exercées sur une culture de blé. Nous attendons de ce travail une évaluation au champ de la capacité de l'imagerie à estimer des paramètres d'un accès difficile et chronophage par des méthodes classiques.

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

Ce travail s'appuiera sur le financement obtenu dans le cadre du projet Plant2Pro 'PIFEC' (2023-2026) dédié au Pilotage intégral de la fertilisation azotée d'oléagineux par imagerie. A noter que ce travail s'appuiera également sur la collaboration initiée en 2021 ([Butaud, 2021](#)) avec l'entreprise AgroStation (Sté d'expérimentation végétale) en accompagnant le doctorant dans l'élaboration de base de données d'images pour développer des algorithmes d'Intelligence Artificielle.

Connaissances et compétences requises

Les candidats doivent avoir obtenu (ou être sur le point d'obtenir) un Master 2 ou ingénieur dans une discipline pertinente pour l'agriculture numérique (Agronomique, Data, traitement image, machine learning). Le candidat devra avoir une appétence pour l'expérimentation et faire preuves d'autonomie dans le travail manuel ou réflexif.

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

L'agriculture européenne (et française) évolue vers des agrosystèmes moins dépendants en produits chimiques de synthèse (engrais et pesticides). Cette transition agroécologique vers de tels systèmes, plus vulnérables aux aléas (climatiques, bioagresseurs, ...), implique d'avoir une forte réactivité pour maintenir les rendements. Ceci nécessite une surveillance accrue des parcelles par l'utilisation des outils du numérique (imagerie, intelligence artificielle, modèle prédictif, ...).

Ce sujet de doctorat pluridisciplinaire (Agroécologie & Numérique) propose d'utiliser l'imagerie de proxidtection (drone et smartphone) pour une gestion durable des cultures. L'objectif est d'explorer le potentiel de solutions low-cost et peu chronophage pour établir

un diagnostic de l'état sanitaire d'une culture en temps réel. Pour ce faire, il faut être en mesure d'identifier différents stress (biotiques et abiotiques) possibles selon le stade de croissance. En travaillant en culture de blé, à des stades phénologiques jeunes, différents indicateurs agronomiques non destructifs seront établis pour évaluer le bon développement de la culture en regardant également son statut azoté et la pression exercée par les adventices. Ces indicateurs reposent sur l'extraction de variables issues d'un traitement approprié des images. Différentes méthodes reposant sur les techniques d'intelligence artificielle seront évaluées pour discriminer et caractériser chaque peuplement (culture/adventices). Des cartes numériques de la parcelle seront alors générées permettant de faire un diagnostic local de la situation sanitaire. Nous attendons de ce projet une évaluation au champ de la capacité de l'imagerie visible à estimer des paramètres d'un accès difficile et chronophage par des méthodes classiques.

European (and French) agriculture is moving towards agrosystems that are less dependent on chemical inputs (fertilizers and pesticides). This agroecological transition towards such systems, which are more vulnerable to risks (climatic, bio-aggressors, etc.), requires a high level of reactivity to maintain yields. This requires increased monitoring of plots using digital tools (imaging systems, artificial intelligence, predictive models, etc.). This multidisciplinary thesis (Agroecology&Digital) proposes to use proxidetection imagery (drone and smartphone) for sustainable crop management. The aim is to explore the potential of low-cost, time-saving solutions for diagnosing the health status of a crop in real time. This requires the identification of the main stresses (biotic and abiotic) according to the growth stage. Focusing on a wheat crop at early phenological stages, different non-destructive agronomic indicators will be established to assess the crop growth, also looking at its nitrogen status and the weed pressure. These indicators are deduced from the extraction of variables from an appropriate image processing. Different methods based on artificial intelligence techniques will be evaluated to discriminate and characterize each stand (crop/weed). Digital maps of the plot will then be generated to establish a local health diagnosis. Indeed, we expect this project to evaluate the potential of visible images to estimate parameters that are difficult to access by conventional and time-consuming methods.

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

Informatique

Mots-Clés : agroécologie, imagerie, proxidétection, deep learning, culture, adventices, phénotypage, stress, agriculture numérique