

## THÈSE CIRAD – CSE 2021 - SUSTAINSAHEL

# Thèse 2 : Évaluation spatialisée des rendements céréaliers sous système agroforestier en contexte de petite agriculture familiale au Sahel : Une approche basée sur le couplage drone-satellite

### Contexte et objectifs

Dans un contexte de changements démographiques et environnementaux sans précédent, l'agriculture se doit de contribuer à la durabilité de la sécurité alimentaire sans compromettre l'intégrité environnementale de la planète, répondant ainsi aux objectifs du développement durable à l'horizon 2030. Ainsi, à l'échelle globale, pour répondre à l'augmentation des besoins alimentaires, le paradigme est passé d'une simple intensification de l'agriculture à une intensification écologique des pratiques agricoles (Defries et al., 2015) permettant d'augmenter les rendements tout en limitant les impacts environnementaux des systèmes agricoles. Ces enjeux sont particulièrement cruciaux en Afrique Sub-Saharienne où la petite agriculture familiale est localement une source d'alimentation et de revenus et contribue à une large part de la sécurité alimentaire et nutritionnelle globale (Herrero et al., 2017) et dans le même temps l'une des régions du monde où l'agriculture est particulièrement contrainte avec des rendements observés bien en deçà des rendements potentiels (Mueller et al., 2012). L'agroforesterie, et notamment les parcs arborés (ex. les parcs à *Faidherbia albida*), est un des leviers de l'intensification écologique, et est une pratique largement répandue en Afrique de l'Ouest. Outre l'amélioration des rendements de la céréale associée, les parcs agroforestiers sont pourvoyeurs d'une diversité de services écosystémiques permettant aussi une diversification et/ou sécurisation de la production agricole, une amélioration de la fertilité du sol ou une réduction de la pression des ravageurs.

La présence d'arbres dans les parcelles conduit à une forte variabilité dans la productivité des cultures à l'intérieur de la parcelle, avec des rendements qui peuvent être plus élevés en périphérie des arbres. Ainsi des méthodes d'évaluation des performances agronomiques des associations arbres/cultures permettant de prendre en compte les hétérogénéités induites par la présence des arbres sont donc nécessaires pour optimiser les pratiques des agriculteurs. Actuellement, l'évaluation de l'effet des arbres sur les cultures se fait essentiellement à partir de données observées en station expérimentale ou à l'échelle de quelques parcelles en réseau paysan (Bayala et al., 2015). Cependant ces méthodes sont coûteuses en temps et difficilement extrapolables à l'échelle du paysage. Par ailleurs les paysages agricoles d'Afrique Sub-Saharienne sont complexes et très hétérogènes, avec une variabilité intra- et inter-parcellaires due entre autre à de fortes hétérogénéités dans les conditions biophysiques ou de pratiques des agriculteurs. Les avancées récentes en matière d'imagerie satellitaire, associées à des techniques d'analyses innovantes issues de l'intelligence artificielle, offrent de nouvelles opportunités pour l'évaluation des performances agronomiques des systèmes agroforestiers de paysages agricoles complexes, que ce soit pour l'évaluation des surfaces cultivées (Gbodjo et al., 2020) ou des rendements (Leroux et al., 2020). Ce type d'approche basée sur des rendements observés agrégés à la parcelle, ne permet cependant pas de prendre en compte la variabilité intra-parcellaire des rendements dues aux micro-variabilités environnementales, aux pratiques des agriculteurs ou encore à la présence des arbres. Les drones se présentent eux comme une alternative tangible pour le suivi des cultures et de leur variabilité intra-parcellaire en petite agriculture familiale (Blaes et al., 2016; Hall et al., 2018; Rouspard et al., 2020; Sarron et al., 2018). Récemment, Rouspard et al. (2020) ont par exemple proposé une approche basée sur de l'imagerie drone et des géostatistiques pour évaluer la distance d'influence de *Faidherbia albida* sur les rendements du mil au Sénégal.

L'objectif de cette thèse est de contribuer à l'évaluation spatialisée des rendements céréaliers sous système agroforestier dans des paysages agricoles hétérogènes du bassin arachidier Sénégalais (région de Niakhar). Plus spécifiquement à partir d'un réseau de parcelles représentatif d'un gradient d'hétérogénéité paysagère ; il s'agira à partir de l'exploitation du continuum observation terrain-drone-satellite (1) de mettre au point une méthode de cartographie des surfaces cultivées en mil et de la fraction couverte par le mil au niveau pixel, (2) de spatialiser différents paramètres agronomiques (eg. LAI, rendements ...) par la combinaison de l'imagerie drone et satellite à l'échelle du paysage et (3) d'évaluer l'effet des hétérogénéités paysagères sur la productivité du système de culture à l'échelle paysagère et les facteurs de variabilité intra/inter parcellaire. Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet UE-H2020 SustainSAHEL (Synergistic use and protection of natural resources for rural livelihood through systematic integration of crops, shrubs and livestock in the Sahel). Cette thèse est complémentaire d'une seconde thèse portant

plus spécifiquement sur l'évaluation de l'effet de l'arbre et des arbustes à l'échelle intra-parcellaire à partir de l'imagerie drone et d'approche géostatistique.

## Démarche proposée

**Acquisition de données et pré-traitements sur un réseau de parcelle en milieu paysan :** Cette étape se fera en partie collaboration avec le second doctorant (1) Mise en place des plans de vol et acquisition d'images drone tout au long du cycle cultural et mise en place d'une chaîne de prétraitements (correction géométrique, radiométrique, production d'ortho-images ...), (2) mesures de LAI, biomasse, rendements, stress azoté à plusieurs période au cours du cycle. Plusieurs techniques d'acquisition d'information sur le LAI pourront être testés (destructive, LAImètre, appareil photo hémisphérique, application smartphone), (3) référencement des différentes composantes du système (céréales, sol nus, mauvaise herbe) à partir de la photo-interprétation des images drones et/ou des photo-hémisphériques, (4) acquisition de données d'occupation du sol et inventaire des ligneux sur l'ensemble de la zone d'étude.

**Cartographie des surfaces et évaluation du taux de couverture du mil :** Dans un premier temps, une cartographie des surfaces cultivées en mil sur l'ensemble de la zone d'étude sera mise en place à partir d'une classification orientée-objets et d'algorithmes de machine learning (eg. Random Forest) appliquée sur des images à très haute résolution spatiale (eg. Planet) pour discriminer les différents types d'utilisation du sol. La chaîne de traitements dédiée Moringa développée par le Cirad pourra être utilisée. Dans un second temps, à partir de la combinaison entre les informations de référencement des différentes composantes et de l'imagerie satellitaire, une cartographie du taux de couverture en mil à l'échelle de pixels satellite sera mise en place. La démarche mise en place sera basée sur de la régression avec test de différents algorithmes. Pour ce faire, des indices spectraux, texturaux et structuraux seront extraits des images satellites. Cette étape nous permettra de (1) cartographier les surfaces cultivées en mil, (2) le taux de couverture du mil et sa variabilité spatiale en fonction de la distance aux arbres par exemple.

**Évaluation des paramètres du couvert :** Dans un premier temps, différents modèles de régression seront calibrés et testés à l'échelle des placettes d'observation pour les différents paramètres du couvert observés (LAI, fraction de couverture végétale, rendements, biomasse, statut azoté des plantes), puis spatialisé à partir de l'imagerie drone l'imagerie drone. Dans un second temps, les différents paramètres du couvert ainsi spatialisés par drone seront utilisés pour calibrer une relation drone/satellite afin de pouvoir en avoir une estimation à l'échelle du paysage. Plusieurs approches devront être testés, de la simple régression linéaire à des approches par machine/deep learning. La sensibilité des estimations à la période d'acquisition des images satellites ainsi qu'à la méthode de ré-échantillonnage spatiale des sorties drone sera à tester.

**Évaluation de l'effet de l'hétérogénéité paysagère :** Elle sera étudiée statistiquement à partir (1) des cartes obtenues lors de la première étape pour lesquelles différents métriques de paysages (composition et structuration) permettant de décrire les arrangements spatiaux à l'échelle des patches de culture; des types de de patches de culture ou de mosaïques paysagères seront dérivés, (2) des cartes de rendements spatialisés et indicateurs de variabilités spatiales dérivées.

## Encadrement et conditions de la thèse

L'inscription en thèse pourra se faire à l'Université de Thiès ou à l'UCAD, où un directeur sera identifié. La thèse sera encadrée par Alain Audebert (Cirad, accueilli CERAAS Thies), Louise Leroux (Cirad, accueillie Centre de Suivi Ecologique, Dakar) et Abould Aziz Diouf (Centre de Suivi Ecologique), Olivier Rousard (Cirad, accueilli LMI IESOL Ird Dakar) et Modou Mbaye (CERAAS Thies). Le/la thésard(e) sera affilié(e) au Centre de Suivi Ecologique de Dakar et sera accueilli régulièrement au CERAAS de Thiès. Un comité de pilotage se réunira chaque année pour évaluer l'avancement de la thèse et conseiller l'étudiant(e). Démarrage prévue de la thèse début 2021.

## Profil et compétences :

- Toutes formations (Master ou Ingénieur) fournissant des bases solides en télédétection et ses applications aux domaines de l'agriculture ou de l'environnement. Les candidat(e)s ayant une formation autour des sciences de données et de l'intelligence artificielle avec une expérience en télédétection seront également considérés.
- Bonne maîtrise d'un langage de programmation (Python ou R)

- Formation en pilotage de drone ou à défaut expérience dans la prise d'information par drone serait un plus, à défaut, une formation sera mise en place en début de thèse
- Bonne aptitude sur le terrain
- Très bonne capacités rédactionnelles, en Français et Anglais, et bonne aptitude a travailler dans un environnement pluridisciplinaire.

**CV et Lettre de Motivation** à envoyer à Louise Leroux ([louise.leroux@cirad.fr](mailto:louise.leroux@cirad.fr)), Alain Audebert ([alain.audebert@cirad.fr](mailto:alain.audebert@cirad.fr)), Olivier Roupsard ([olivier.roupsard@cirad.fr](mailto:olivier.roupsard@cirad.fr)) et Abdoul Aziz Diouf, avant le **25 Novembre 2020**. Merci de faire un seul mail avec les quatre destinataires en copie.