

Thèse 1 : Évaluation spatialisée des rendements céréaliers sous système agroforestier en contexte de petite agriculture familiale au Sahel : 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

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 en intra ou en inter-parcelles. 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 de proxymétrie par drone (drone low-cost, automatisation chaînes d'acquisition et de traitement), associées à des techniques d'analyses innovantes (ex. géostatistiques, machine learning), offrent de nouvelles opportunités pour l'évaluation des performances agronomiques des systèmes agroforestiers de paysages agricoles complexes (Blaes et al., 2016; Hall et al., 2018; Rousard et al., 2020; Sarron et al., 2018). Ce type d'approche basée sur des rendements observés en placette et agrégés à la parcelle permet de prendre en compte la variabilité intra-parcellaire des rendements liée aux micro-variabilités environnementales, aux pratiques des agriculteurs ou encore à la présence des arbres. Les drones sont une alternative tangible pour le suivi des cultures et de leur variabilité intra-parcellaire en petite agriculture familiale. Récemment, Rousard 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 pour au moins le mil et l'arachide(1) de construire les relations empiriques liant rendement des placettes intra-parcelle et indices de végétation multiples, en utilisant des images de drones acquises à différentes dates au cours de la croissance des cultures, (2) de calculer la distance d'impact des arbres (*Faidherbia*) ou des buissons (*Piliostigma*, *Guiera*) sur les cultures à l'aide de techniques géostatistiques (3) de comparer les rendements par parcelle mesurés et estimés par le modèle statistique ; (4) d'éprouver la stabilité des relations empiriques dans l'espace et dans le temps et essayer de transformer ces modèles en indicateurs portables dans d'autres régions du Sénégal. 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 un couplage drone-satellite pour la spatialisé des rendements à l'échelle paysage..

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, LAlmètre, 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.

Mesure de la distance d'influence des buissons ou des arbres sur la culture : une telle distance sera mesurée par approche géostatistique (indice Range), (Roupsard et al., 2020)

Extrapolation du rendement en fruits et en matière verte et litière, de placettes à la parcelle : Des relations empiriques multivariées seront recherchées entre ces variables établies à l'échelle de placettes de quelques m² choisies dans la parcelle le long d'un gamme de couverture et les indices de végétation (Vis) multiples et acquis à différentes dates au cours du cycle cultural. Le rendement à la parcelle estimé par le modèle sera comparé au rendement réel.

Etude de la stabilité des relations : Plusieurs années d'étude sur plusieurs lots de parcelles seront éprouvées à l'aide des modèles empiriques. Une approche bayésienne pourra être testée pour calibrer un modèle général (Ovalle-Rivera et al., 2020). En cas de succès, ce modèle sera proposé comme indicateur d'effet des arbres et des buissons dans d'autres zones couvertes par le projet.

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 Roupsard (Cirad, accueilli LMI IESOL Ird Dakar) et Modou Mbaye (CERAAS Thies). Le/la thésard(e) sera affilié(e) au LMI IESOL de Dakar et sera accueilli régulièrement au CSE et 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.

Profils et compétences :

- Toutes formations (Master ou Ingénieur) fournissant des bases solides en SIG, statistiques, géostatistiques et ses applications aux domaines de l'agriculture ou de l'environnement. 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 et le post-traitement des données 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 à travailler dans un environnement pluridisciplinaire.

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