

Sujet de thèse :



Estimation spatialisée des rendements d'une culture pérenne en Afrique de l'Ouest : le cas du manguiers au Sénégal.

Spécialité : Agronomie - écologie

École doctorale : GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau

Titre : Estimation spatialisée des rendements d'une culture pérenne en Afrique de l'Ouest : le cas du manguiers au Sénégal.

Title : Spatial estimation of the yields of a perennial crop in West Africa : mango case study in Senegal.

Directeur de thèse : M. Eric Malézieux (DHR, UPR HortSys) – Tel : 0467593930

Encadrement : L'encadrement local sera assuré par M. Emile Faye (UPR HortSys)

Contact : Emile Faye – emile.faye@cirad.fr / Eric Malézieux – eric.malezieux@cirad.fr

Unité de Recherche : UPR 103 HORTSYS - Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles

Mots clés : agroécologie, paysage, géostatistiques, verger de manguiers, rendement, SIG, télédétection, Sénégal.

Profil du candidat : Formation ingénieur ou master recherche en agronomie/horticulture, compétences approfondies en géomatique et outils de télédétection (ERDAS, ArcGIS, QGIS et OTB). Intérêt pour les approches paysagères de l'agroécologie. Maîtrise du logiciel R. Capacités de rédaction en anglais scientifique. Autonomie. Capacité d'adaptation pour un travail dans une équipe pluridisciplinaire et dans un pays en voie de développement.

Domaine : Agronomie et télédétection

Financement : Contrat doctoral CIRAD

Objectifs :

L'objectif de ce travail de thèse est de concevoir un système d'évaluation et de estimation spatialisée des rendements de la culture du manguiers à l'échelle régionale. Le challenge sera de caractériser les systèmes de production de mangues dans l'Ouest du Sénégal (Zone des Niayes) et d'identifier les paramètres explicatifs de la variabilité des rendements pour *in fine* réaliser des estimations spatialisées de récoltes à l'échelle régionale.

Le premier objectif est donc de concevoir des outils méthodologiques pour l'estimation du rendement du manguiers à l'échelle de la plante et du verger à partir de relevés empiriques de paramètres biologiques, physiques, et agronomiques identifiés dans différents types de systèmes de production (vergers monoculturels exports, diversifiés sans intrants, diversifiés à niveaux intermédiaires d'intrants, voir Grechi *et al.* 2013).

Dans un deuxième temps, l'objectif de ce travail sera de concevoir un système d'évaluation et de prévision des rendements de la culture du manguiers à l'échelle régionale. Pour ce faire, il faudra établir un lien statistique entre les données de télédétection et les rendements observés sur le terrain. Une cartographie précise des types de vergers dans la zone d'étude devra être élaborée *via* des outils de télédétection spatiale (classification orientée-objets d'images à Très Haute Résolution Spatiale et multispectrale). Cette cartographie servira de base pour la conception d'un système d'estimations spatialisées de rendement de la culture du manguiers à l'échelle régionale. Ce couplage de données de terrain avec cette cartographie issue de la télédétection devra permettre de caractériser la variabilité des rendements du manguiers à l'échelle régionale (zone de production de l'Ouest du Sénégal) en prenant en

compte la diversité des systèmes de production composant les agrosystèmes de la zone étudiée.

Présentation détaillée/Contexte :

Aujourd'hui estimée à 831 millions, la population africaine devrait atteindre les 3.8 milliards à l'horizon 2100. A ces changements démographiques se surimposent de profondes modifications environnementales, dues au changement climatique, qui dans une région où l'agriculture est dominée par les cultures pluviales, impacteront négativement les productions agricoles et horticoles (Wheeler & von Braun 2013, Challinor *et al.* 2014, Leroux *et al.* 2015). Dans ce contexte d'insécurité alimentaire, il est indispensable d'améliorer les moyens de suivi de la production agricole et horticole pour faire face aux enjeux du développement et réduire la vulnérabilité des populations.

L'évaluation et la prévision de la productivité des cultures revêtent un enjeu stratégique pour les pays en voie de développement à la fois en termes de sécurité alimentaire (autonomie) mais aussi économique (maîtrise, contrôle et optimisation des volumes produits). L'estimation du rendement est en effet une donnée nécessaire et stratégique pour les acteurs aussi bien publics (instituts techniques et de recherche en agronomie, universités, ministères..) que privés (producteurs, conseiller technique agricole, contrôleur qualité, filières d'export...). Cependant, dans les pays du Sud, les outils de prévision de récolte restent inexistantes ou précaires pour la plupart des cultures, et ne reposent pas sur des bases scientifiques solides.

Méthodes et Résultats attendus:

La zone d'étude est dans l'ouest du Sénégal. Elle s'étend de Dakar à Thiès et englobe au Nord les Niayes (Rey *et al.* 2006). Elle représente la principale zone de production de mangue du Sénégal autant pour les marchés locaux que pour l'exportation. Cette zone d'étude présente une diversité de systèmes de production, du verger de manguiers diversifiés sans intrants au grand verger de manguier/citrus à vocation d'export avec niveau intermédiaire d'intants, représentative de l'hétérogénéité que l'on retrouve dans l'Ouest africain (Rey *et al.* 2006, Vannière *et al.* 2007).

Dans un réseau de 87 vergers de manguiers établi et suivi par notre équipe (depuis 2012) au sein de la zone d'étude et représentatif de la diversité des systèmes de production de l'ouest Sénégal, il faudra compléter la caractérisation des vergers dans leurs composantes agronomiques, physiques et écologiques afin d'identifier les paramètres explicatifs du rendement des vergers. Une base de donnée pré-existante sur ces vergers devra être complétée (en partie seulement par le doctorant) par de nombreux paramètres dont voici une liste non exhaustive :

À l'échelle de l'arbre, il s'agira de collecter les paramètres biologiques (âge, stade phénologique, espèces et variétés, greffage), morphologiques (taille, houppier, hauteur, circonférence, hauteur du tronc...), abiotiques (température air/plante/sol, humidité relative...), d'état sanitaire (vigueur, blessures physiques, maladies, champignons, ravageurs...), de rendement (comptage des fruits, relevé de maturation,...) et de qualité (couleur, état du fruit...).

À l'échelle du verger, la caractérisation prendra en compte les espèces et les variétés de manguiers cultivées ainsi que la diversité cultivée au sein de la parcelle (mono/plurispécifique, polyculture), la configuration spatiale du verger (par de nombreux indices de composition et configuration spatiale extraits d'orthophotographies à hautes résolutions spatiales acquises par survols de drone: surface, densité de plantes, distance inter-arbre, aggrégation, cohésion, indice de végétation parcellaire, indice de forme de la parcelle...), le climat (vent, ensoleillement/ombrage, humidité et température de l'air par mesures de station climatique), les pratiques culturales (irrigation, taille, fertilisation, sols...)

et les rendements (nombre de fruits récoltés, fréquence des récoltes, stockage des fruits, courbes de répartition des récoltes de mangues). Des relevés des taux d'infestations en ravageurs (comme la mouche des fruits *Bactrocera invadens*) et les actions de luttés et pratiques agricoles pour les gérer (produits phytosanitaires, traitements des « left-overs » et fruits infectés...) seront effectués. De plus, dans ce réseau de vergers et pour chaque type de système de culture, des expérimentations sur l'évaluation du rendement seront conduites en parallèle de cette étude (estimation via analyse d'image voir Payne *et al.* 2013 et d'orthophotos drone voir Faye *et al.* 2015).

À l'échelle de la région, les travaux s'effectueront principalement à partir de l'analyse d'images satellites THRS de la zone d'étude (Pleiades, LANDSAT et Sentinel-2). Cette partie télédétection se déroulera en collaboration avec Valérie Soti (et Louise Leroux) de l'UPR AÏDA basée au Centre de Suivi Ecologique de Dakar. La télédétection sera ici utilisée comme un outil d'estimation et de suivi de l'horticulture à large échelle. Elle devra permettre la caractérisation et la quantification des éléments du paysage, et apportera de nombreux indices de végétation et thermique (NDVI, RVI, CWSI ...) à partir des bandes spectrales disponibles (RGB, NIR, IR,...). La segmentation et la classification orientée-objet de ces données spatiales devront permettre la réalisation d'une carte d'occupation des sols et l'identification des espèces arborées (et autres si possibles) présentes sur zone (manguier, anacardier, baobab, citrus, etc...). Des analyses de composition et de configuration du paysage seront ensuite effectuées sur ces couches afin de catégoriser les systèmes de production de mangue selon la typologie préétablie (voir Gréchi *et al.* 2013). Ces informations seront, dans un premier temps, combinées et comparées à des données spatialisées disponibles sur l'occupation des sols, les régimes climatiques, la pédologie, l'urbanisation, et les voies de communications. Puis l'ensemble sera analysé pour caractériser, estimer et localiser les surfaces cultivées de verger de manguier à l'échelle régionale. Enfin, cette cartographie des systèmes de production sera mise en relation avec la base de données de 87 vergers (estimations empiriques de rendement incluses) pour établir des estimations de rendement de mangue à l'échelle de la région. Une attention particulière sera apportée aux composantes agroécologiques des agrosystèmes (biodiversité cultivée ou non, cultures limitrophes, haies naturelles, point d'eau...) pouvant jouer dans l'élaboration du rendement (dynamique et l'occurrence de bioagresseurs par exemple).

Cette thèse permettra également de dégager les principaux moteurs des systèmes de production de mangues à l'échelle régionale: accès aux ressources en eau, réseaux de communications et transports, proximité des villes et des zones de stockage/vente, activités anthropiques...). De plus, les indicateurs développés à partir des bandes spectrales du jeu d'images Sentinel-2 permettront la mise en place d'indices de suivi de l'état sanitaire et du rendement des manguiers dans les vergers.

Cette thèse innovera par l'utilisation de manière conjointe des méthodes développées spécifiquement aux deux échelles (du verger à la région) pour l'estimation spatialisée du rendement. Finalement, après l'intégration de ces travaux aux différentes échelles, cette thèse ouvrira la voie pour le développement d'un outil de prévision des rendements du manguier adapté au contexte ouest africain. Cette thèse posera les bases d'un outil d'évaluation de la productivité de la filière mangue à long terme, dans un contexte de changement climatique, incluant les questions d'incertitude et de résilience. De plus, ces travaux seront le point de départ de la co-conception de systèmes de production innovants, productifs et plus respectueux de l'environnement.

Références bibliographiques :

- Brévault, T., Renou, A., Vayssières, J. F., Amadji, G., Assogba-Komlan, F., Diallo, M. D., ... & Marnotte, P. (2014). DIVECOSYS: Bringing together researchers to design ecologically-based pest management for small-scale farming systems in West Africa. *Crop Protection*, 66, 53-60.
- Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S. M., Smith, D. R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4, 287-291.
- Faye, E., Rebaudo, F., Yáñez-Cajo, D., Cauvy-Fraunié, S., & Dangles, O. (2015). A toolbox for studying thermal heterogeneity across spatial scales: from unmanned aerial vehicle imagery to landscape metrics. *Methods in Ecology and Evolution*.
- Mango-based orchards in Senegal: diversity of design and management patterns. Grechi Isabelle, Sane Cheikh Amet Bassirou, Diame Lamine, De Bon Hubert, Benneveau Aurore, Michels Thierry, Huguenin Virginie, Malézieux Eric, Diarra Karamoko, Rey Jean-Yves. 2013. *Fruits*, 68 (6) : 447-466.
- Payne, A. B., Walsh, K. B., Subedi, P. P., & Jarvis, D. (2013). Estimation of mango crop yield using image analysis–segmentation method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 57-64.
- Rey J.-Y., Diallo T.M., Vannière H., Didier C., Keita S., Sangaré M., The mango in French- speaking West Africa, *Fruits* 61 (2006) 281– 289.
- Usha, K., & Singh, B. (2013). Potential applications of remote sensing in horticulture—A review. *Scientia Horticulturae*, 153, 71-83.
- Vannière H., Didier C., Rey J.-Y., Diallo T.M., Keita S., Sangaré M., The mango in French- speaking West Africa: cropping systems and agronomical practices, *Fruits* 62 (2007) 187– 201
- Wheeler, T., & von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508-513.
- Leroux L. (2015). Suivi et Caractérisation des Dynamiques de la Production Agricole en Afrique de l’Ouest par Télédétection à Moyenne Résolution Spatiale.

Début de la thèse : Octobre 2016

Modalités d’accueil : Le doctorant sera accueilli au sein de l’équipe HortSys du CIRAD de Montpellier et sera basé au Centre de Développement de l’Horticulture (ISRA) à **Dakar, Sénégal.**