

---

## ESTIMATION SPATIALISÉE DES RENDEMENTS D'UNE CULTURE PÉRENNE EN AFRIQUE DE L'OUEST : LE CAS DU MANGUIER AU SÉNÉGAL

Thèse de Julien **SARRON**<sup>1</sup>

Analysée par Philippe **GATE**<sup>2</sup>

**Directeur de thèse** : Eric MALÉZIEUX (Chercheur Cirad)

**Co-encadrant** : Emile FAYE (Chercheur Cirad)

### Contexte et problématique de la thèse

Le contexte de l'étude est l'Afrique de l'Ouest dont les éléments caractéristiques de la culture des manguiers (mais aussi celles des principales autres cultures pérennes et annuelles) sont particulièrement bien décrits avec ses composantes géographiques, pédoclimatiques, démographiques et socio-économiques, et ses enjeux associés. La production de mangues contribue de manière significative à la sécurité alimentaire, source de nourriture locale (dans les systèmes extensifs et diversifiés) et de devises *via* l'exportation (dans les systèmes intensifs). Le manque de données fiables sur les rendements, leur variabilité, et aussi sur les caractéristiques des vergers et des systèmes de production avec leurs pratiques culturales, est un frein pour l'ensemble de la filière, notamment pour concevoir des systèmes plus performants et anticiper sur les volumes de production. L'objectif de la thèse est donc de proposer des outils et des méthodes d'estimation du rendement aux différents niveaux d'échelle (arbre, verger et bassin de production) et de comprendre les sources de variabilité afin de proposer des marges de progrès.

### Originalité

La thèse valorise l'Intelligence Artificielle (machine learning, deep-learning) par l'utilisation de capteurs RGB aéroportés par des drones pour produire de la donnée utile (manquante) dans le domaine des vergers, ce qui est nouveau. La précision satisfaisante des estimations résulte en partie du très grand nombre d'objets qui ont été caractérisés pour l'apprentissage et la validation (par exemple 10 000 fruits annotés sur les arbres).

Elle ne s'intéresse pas à un système de production en particulier mais prend en charge, dans son périmètre, l'ensemble de la diversité (et de la complexité) des systèmes présents : extensifs (le plus souvent avec des variétés locales), diversifiés (agroforesterie avec d'autres arbres, des cultures annuelles) et intensifs (monovariétaux).

Elle tente d'explicitier les facteurs à l'origine des écarts à la production atteignable pour chaque situation (pratiques culturales, environnement...), en développant une approche originale (Stochastic Frontier Analysis, initialement conçue pour les analyses économiques).

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat de Montpellier SupAgro, en sciences Agronomiques, Ecole doctorale GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau, portée par l'unité de recherche Hortsys du CIRAD, en affectation au Centre pour le Développement de l'Horticulture à Dakar, Sénégal, et soutenue le 09 décembre 2019.

<sup>2</sup> Philippe Gate, Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 1 « Production végétales ».

« Innovation frugale » : Le choix des technologies, des outils et du traitement des données développés est guidée par la notion de « frugalité » (coût, temps de calcul, d'observations ... pour une précision suffisante), afin que ceux-ci puissent être utilisables et utilisés par la suite par les opérateurs locaux.

L'engagement de l'auteur de cette thèse pour une future utilisation sur le terrain des outils élaborés est tout à fait manifeste.

### Principaux résultats

En dépit de la complexité des vergers (asynchronisme phénologique au sein d'un même arbre, vergers poly-variétaux, voire multi-espèces, diversité des pratiques), les méthodes frugales envisagées (drone commercial avec capteur RGB, prise de deux photos par arbre seulement *etc...*), il est possible de détecter le nombre de fruits de manière précise (score > 90-95%), ainsi que les rendements avec des résultats très convaincants. Cette performance résulte de la bonne estimation :

- de la structure de l'arbre par le couple drone-capteur en mobilisant des méthodes de deep-learning : caractérisation du houppier, de son volume, de sa hauteur (cette dernière étant estimée avec une RMSE de 11%).
- et aussi, par l'introduction d'une variable estimée visuellement par des experts locaux, sur un sous-échantillon d'arbres, l'indice de charge (surface des fruits sur la surface totale du houppier).

L'auteur propose une méthode d'estimation du rendement à l'échelle du verger dont la structure peut être très variable compte tenu de la diversité des systèmes et des pratiques. Les estimations fournies par les vols de drones et les photos sont combinées avec un échantillonnage d'arbres pour cartographier la variabilité spatiale, ce qui permet, au final, d'estimer le rendement à l'échelle du verger, quelle que soit leur complexité et la diversité spatiale intra-verger.

En parallèle, une deuxième voie d'estimation du rendement, basée sur la mise en œuvre de méthodes d'échantillonnage fonction du type de systèmes de cultures est également proposée.

L'analyse des gaps de production a permis de montrer que les écarts étaient les plus élevés dans les vergers extensifs, avec 66% de la production atteignable contre 38 et 28% respectivement pour les vergers diversifiés et intensifs. Ces écarts sont expliqués, pour le système extensif, notamment par un déficit de pratiques et d'intrants et le choix de variétés locales. Pour le système intensif, c'est l'optimisation de la densité, la régulation des houppiers par une taille annuelle et le recours aux intrants (azote et irrigation post-floraison) qui sont à l'origine des performances. L'analyse des systèmes diversifiés fournit des éléments intéressants : le rendement par arbre y est le plus élevé, la densité, la biodiversité et aussi l'irrigation apportée sur les autres espèces du verger en étant probablement à l'origine. Par ailleurs, la diversification des espèces y offre une résilience économique plus forte pour l'exploitant.

Sans doute la comparaison avec des outils analogues développés notamment en Californie aurait sans doute été intéressante, mais il faut retenir que la discussion des résultats est très bien menée et donc convaincante.

### Voies de progrès

L'analyse des écarts entre le rendement atteignable et le rendement observé par verger n'a pas permis un diagnostic suffisamment approfondi et donc d'identifier des voies de progrès, en particulier de changements de pratiques pour les agriculteurs. Cette difficulté résulte surtout d'un déficit d'information : données d'enquête peu précises, trop qualitatives, et pas orthogonales car les pratiques sont très liées

aux trois systèmes suivis (extensif, diversifié, intensif) et faible caractérisation des environnements (statut hydrique et nutritionnels des sols, état sanitaire des cultures, en particulier).

La variable indice de charge estimée visuellement a un poids important dans les modèles, avec une forte variabilité. L'utilisation d'un modèle écophysologique dynamique et plus mécaniste, couplé aux informations fournies par le drone (architecture de l'arbre, rayonnement intercepté), pourrait être utile pour renforcer la performance de ce qui est proposé, en allégeant par ailleurs la prise d'information sur le terrain.

### **Perspectives de valorisation opérationnelle**

Bien que dans le cadre de sa thèse, l'auteur n'a pas pu étendre ses investigations au niveau du bassin de production, niveau où se joue sans doute la commercialisation à l'export, la thèse se conclue de façon très intéressante en proposant un outil web de partage et de mutualisation des données, concernant à la fois les informations saisies par les producteurs et celles estimées par les capteurs. Cette plateforme sera mise à disposition de l'ensemble des acteurs de la filière : connaissance des rendements pour les producteurs, des productions par variété à l'échelle des territoires pour gérer les flux, les prix, proposition de voies de progrès *via* le traitement de l'ensemble des données (pratiques plus performantes).

### **Valorisation des résultats de la thèse**

#### **- Publications scientifiques**

- Deux actes de conférences à visée technologique. Ces deux actes sont présentés dans leur version finale. L'un a bénéficié d'un prix de présentation orale et l'autre est soumis pour publication dans un numéro spécial.
- Un article scientifique soumis à *Agronomy for Sustainable Development*
- Un article scientifique publié dans *Remote Sensing*.
- Deux articles en cours de finalisation visant des revues agronomiques

- Utilisation opérationnelle des outils élaborés dans le cadre de la thèse : PixFruit Mangue : outil d'acquisition, de gestion et de partage de données pour la filière mangue en Afrique de l'Ouest.

Cet important travail scientifique, réalisé avec des données de terrain difficiles parfois à obtenir, offre des perspectives de progrès à visée opérationnelle pour différents systèmes de production en Afrique de l'Ouest. A ce titre, cet excellent travail mérite d'être valorisé par la mise de cette analyse sur le site de l'Académie d'agriculture de France.