



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes**  
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

## **AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT**

**Monsieur Abdellatif MOUSSAID**

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Informatique

**Le Vendredi 17 Novembre 2023 à 15h00 au Grand Amphi à l'ENSIAS**

**Intitulé de la thèse**

**Intelligence Artificielle et Traitement D'images Satellites pour la  
Prédiction du Rendement et le Suivi des Cultures Arboricoles :  
Cas d'un Verger D'agrumes**

**Président :**

Pr. Ilham BERRADA, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Sanaa EL FKIHI, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

Pr Mounir AIT KERROUM, PES, ENCG de Kénitra, Université Ibn Tofail Kenitra

Pr Ismail BERRADA, PH, Université Mohammed VI Polytechnique, Ben Guerir

Pr Amina RADGUI, PH, Institut National des postes et Télécommunications - Rabat

**Examineur :**

Pr. Houda BENBRAHIM, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat



**Résumé** : Ces dernières années, l'intelligence artificielle s'est progressivement intégrée dans notre quotidien, apportant des transformations significatives. L'abondance de données dans divers secteurs offre une opportunité majeure pour exploiter le potentiel de l'intelligence artificielle. L'un des domaines propices à l'application des algorithmes d'apprentissage automatique est l'agriculture, un secteur qui génère une grande quantité de données. En utilisant ces données, il devient possible d'améliorer à la fois la qualité et la quantité des récoltes, tout en simplifiant des tâches complexes pour les agriculteurs. Dans cette perspective, notre thèse vise à exploiter des images satellites et des données de terrain pour développer des systèmes capables de surveiller la taille de la canopée des arbres et de prédire le rendement d'une vaste parcelle d'arbres.

Au cours de la première partie de la thèse, nous avons utilisé des images satellites et des algorithmes d'apprentissage automatique pour segmenter et classer les arbres dans des vergers condenses. La zone d'étude est le verger d'agrumes OUARGHA au Maroc. Notre approche consistait à segmenter les rangées à l'intérieur de la parcelle, à détecter tous les arbres et à estimer leur taille en fonction de leur canopée. Dans l'ensemble, notre modèle combine les images satellites avec d'autres mesures sur le terrain pour classer les arbres en trois catégories : faible/absent, normal ou grand. Les résultats obtenus ont été visualisés sur une carte montrant tous les arbres et leurs catégories respectives. Lors de la phase de la validation, nous avons obtenu un score de 0,93 ( F-mesure ) lors de la segmentation des rangées. De plus, des comparaisons sur le terrain ont été effectuées et les résultats étaient très satisfaisants.

La deuxième partie de la thèse s'intéresse à définir un système intelligent de prédiction du rendement des parcelles d'agrumes. Ce système utilise un algorithme d'apprentissage automatique entraîné sur des données de terrain combinées avec des informations spectrales extraites à partir des images satellite.

Pour cela, nous avons utilisé un historique de 5 ans de données pour un verger marocain composé de 50 parcelles. Ces données sont liées au climat, à la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation, aux produits de fertilisation, aux produits de traitement phytosanitaire, à la taille et au type de porte-greffe de chaque parcelle. De plus, des indices spectraux ont été extraits à partir des images satellite pour améliorer les scores de prédiction. A travers ces données, nous avons réussi à construire un dataset composé de 250 lignes, représentant les 50 parcelles sur une période de 5 ans étiquetées avec le rendement de chaque parcelle. Enfin, deux systèmes de prédiction ont été abordés, le premier prédit le rendement d'une année agricole sur la base d'un historique des années précédentes. Et le second concernant la prédiction du



rendement d'une parcelle d'agrumes à partir des données d'autres parcelles du même verger. Pour le premier, nous avons effectué un benchmarking en comparant plusieurs algorithmes d'apprentissage automatique, en optimisant les paramètres et en utilisant les techniques de validation croisée nécessaires, tandis que l'algorithme Orthogonal Matching Pursuit (OMP) a donné de bons scores de prédiction de 0,2489 (MAE) et 0,0843 (MSE). Pour le second type de prédiction, nous avons utilisé un réseau de neurones artificiel qui prend, en entrée, les données de terrain avec les images des indices spectraux NDVI et NDWI de chaque parcelle, et nous sommes arrivés à un score de prédiction de 0.1450 (MAE) et 0.0458 (MSE).

**Mots-clés** : Agriculture intelligente, Apprentissage automatique, Apprentissage en profondeur, Classification des arbres, Informatique industrielle, Intelligence artificielle, Prédiction du rendement, Segmentation de la canopée, Traitement d'images satellites.

**Abstract:** Over the past few years, there has been significant integration of artificial intelligence into our daily lives, primarily driven by the abundance of data available in various sectors. One sector that has particularly benefited from the application of Machine Learning algorithms is agriculture, which generates substantial amounts of valuable data. These algorithms have demonstrated immense potential in replicating human-like intelligence and supporting decision-making processes. The objective of our thesis is to leverage satellite imagery and field data to develop advanced systems that can effectively monitor the size of tree canopies and predict yields for large tree parcels.

During the initial phase of our research, we utilized satellite imagery and Machine Learning algorithms to perform the segmentation and classification of trees in condensed orchards. The study focused on the OUARGHA citrus orchard in Morocco. Our approach involved the segmentation of rows within the parcel, identification of trees within each row, and subsequent classification based on their canopy size. To achieve this, our model incorporates the parcel image along with other field measurements, enabling the classification of trees into three distinct classes: missing/weak, normal, or large. The results are visually presented on a map, providing a comprehensive view of the tree distribution and their corresponding classes. Notably, the validation phase yielded outstanding results, with a remarkable F-measure score of 0.93 for row segmentation. Additionally, we conducted numerous field comparisons to assess the performance of our models, and the outcomes were highly satisfactory.



Moving forward, our second objective entails the development of an intelligent system for yield prediction in citrus orchards. This involves leveraging a Machine Learning algorithm trained on field data and integrating spectral information extracted from satellite images. Our dataset encompasses five years of historical data from a Moroccan orchard, consisting of 50 individual parcels. These data encompass various factors such as climate conditions, irrigation water usage, fertilization products, phytosanitary treatment products, and the specific rootstock used for each parcel. In addition, we leverage the NDVI and NDWI spectral indices provided by the Sentinel satellite to further improve the accuracy of our predictions. With this extensive data, we have constructed a comprehensive set comprising 250 rows (50 parcels and 5 years). Each row is labeled with the corresponding yield quantity, enabling us to train our models effectively and make accurate predictions. Subsequently, we developed two prediction systems. The first one predicts the yield for an entire agricultural year based on historical data from previous years, and the second one focuses on predicting the yield of a specific citrus parcel by leveraging data from other parcels within the same orchard. For the first system, we conducted a thorough benchmarking of several Machine Learning algorithms, optimizing the necessary parameters and employing cross-validation techniques. Among these algorithms, the implementation of the Orthogonal Matching Pursuit (OMP) algorithm resulted in promising prediction scores. The algorithm achieved a Mean Absolute Error of 0.2489 and a Mean Squared Error of 0.0843, demonstrating its effectiveness in accurately predicting citrus yield. As for the second system, we employed an artificial neural network that takes field data as input along with the NDVI and NDWI images of each parcel. This approach yielded a score of 0.1450 (MAE) and 0.0458 (MSE), demonstrating its effectiveness in predicting the yield of a specific citrus parcel.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Canopy Segmentation, Computer Science, Deep Learning, Machine Learning, Satellite Image Processing, Smart Agriculture, Tree Classification, Yield Prediction.