



الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Département: Génie rural

القسم: الهندسة الريفية

Spécialité : Agriculture numérique

التخصص : الزراعة الرقمية

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

THÈME

***Détection Précoce des Insectes Ravageurs dans les Cultures de Citronniers
à l'aide de Réseaux Neuronaux Convolutifs (CNNs)***

Présenté par : Melle. DJEBLI Ikram

Soutenu le 11/12/2025

Mr. HAMROUZE Sofiane

Devant le jury composé de :

Président : Mr. ETSOURI Salim (MCA, ENSA)

Promoteur : Mr. BOUDHAR Lies (MCB, ENSA)

Examineurs : Mr. AIT ALI YAHIA Yassine (MCB ,ESI)

Mme. FODHIL Fadhela (MAB, ENSA)

Promotion 2020-2025

Table de matière

INTRODUCTION GENERALE	1
INTRODUCTION GENERALE	1
INTRODUCTION GENERALE	2
I CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES AGRUMES	3
I.1 Historique des agrumes	3
I.2 Systématique des agrumes.....	3
I.3 Importance économique	4
I.3.1 Dans le monde.....	4
I.3.2 Les agrumes en méditerranée	8
I.3.3 En Algérie.....	9
II CHAPITRE 2 : INSECTES RAVAGEURS DANS LA CULTURE DES AGRUMES	11
II.1 Ravageurs des agrumes	11
II.1.1 <i>Ceratitis capitata</i>	11
II.1.2 <i>Phyllocnistis citrella</i>	11
II.1.3 <i>Aleurothrixus floccosus</i>	12
II.1.4 <i>Toxoptera SSP</i>	12
II.1.5 <i>Aonidiella SSP</i>	13
II.1.6 <i>Aspidiotinae</i>	14
II.1.7 <i>Tetranychus urticae</i>	14
II.1.8 <i>Icerya purchasi</i>	15
II.2 Problèmes posés par les ravageurs	15
II.2.1 Perte économique.....	15
II.2.2 Difficulté de détection précoce des ravageurs	16
II.3 Méthodes de détection traditionnelles.....	16
II.3.2 Aspirateurs :	18
II.3.3 Pièges attractifs.....	19
II.3.4 Techniques spécialisées	20

II.4	L'agriculture intelligente.....	22
II.4.1	Identification et classification des insectes en agriculture : vers une surveillance intelligente des ravageurs	22
II.4.2	Aperçu des solutions utilisant pour l'identification et la classification des ravageurs.....	23
II.4.3	Limites des approches conventionnelles d'IA.....	24
III	CHAPITRE 3 : CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS (CNNs).....	25
III.1	Définition	25
III.2	Architecture de base des CNN.....	25
III.2.1	Couches convolutives.....	26
III.2.2	Les fonctions d'activation dans les CNN	27
III.2.3	Couches de pooling	29
III.2.4	Couches entièrement connectées (Fully Connected Layers).....	30
III.2.5	Fonction de perte (Loss Function).....	30
III.3	Architectures CNN pour la classification d'images :	30
III.4	Les principaux défis liés à l'utilisation des CNN pour l'identification de ravageurs dans les cultures :	31
IV	CHAPITRE 4 : MATERIEL ET METHODE.....	33
IV.1	Les Outils logiciels utilisés :	33
IV.1.1	Python 3.11.9	33
IV.1.2	Framework utilisé : PyTorch.....	33
IV.1.3	Bibliothèques Utilisées dans le Projet de Deep Learning	33
IV.2	Matériel informatique utilisé pour l'entraînement des modèles	35
IV.3	Préparation et structuration de la base de données d'images	36
IV.3.1	Sources des images	36
IV.3.2	Nettoyage et structuration des données	36
IV.3.3	Classes d'insectes retenues.....	36
IV.4	Augmentation des données.....	37
IV.4.1	Transformations appliquées	38
IV.5	Modèles CNN utilisés.....	39
IV.5.1	EfficientNet-B0	40

IV.5.2	MobileNetV3-Small	40
IV.5.3	DenseNet121.....	40
IV.5.4	ResNet-18.....	40
IV.6	Objectif comparatif.....	40
IV.7	Hyperparamètres.....	41
IV.7.1	Nombre d'époques (Epochs).....	41
IV.7.2	Taille du lot (Batch size)	41
IV.7.3	Taux d'apprentissage (Learning Rate, LR).....	42
IV.7.4	Fonction de perte (Loss Function).....	42
IV.7.5	Optimiseur et Scheduler	42
IV.8	Élaboration de l'entraînement du modèle	42
IV.8.1	Structure générale du processus d'entraînement	43
IV.9	Objectif de la phase de test	49
V	CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	50
V.1	MobileNet V3 Small	50
V.2	DenseNet121	53
V.3	EfficientNet-B0.....	56
V.4	ResNet18.....	58
V.5	Synthèse finale.....	62
	CONCLUSION GENERALE	62

Résumé

La culture des agrumes joue un rôle majeur dans l'économie agricole des régions méditerranéennes, mais elle est fortement affectée par les attaques d'insectes ravageurs, rendant la détection précoce indispensable pour une gestion phytosanitaire durable.

Ce travail propose une approche de surveillance intelligente basée sur l'apprentissage profond, utilisant des réseaux de neurones convolutifs (CNN) pour la classification automatique des insectes ravageurs des agrumes à partir d'images. Quatre architectures pré-entraînées sur ImageNet ont été étudiées et comparées : MobileNetV3-Small, ResNet-18, DenseNet-121 et EfficientNet-B0.

La méthodologie repose sur l'apprentissage par transfert afin d'adapter ces modèles à un jeu d'images spécifique. Les performances ont été évaluées selon la précision de classification, le temps d'inférence et l'aptitude à l'intégration sur des systèmes embarqués.

Les résultats montrent que les architectures légères, notamment MobileNetV3-Small et ResNet-18, offrent un compromis optimal entre précision et rapidité, les rendant adaptées à la surveillance en temps réel. Cette étude confirme le potentiel des CNN pour le développement de systèmes autonomes de détection et d'alerte précoce, contribuant à une agriculture plus durable et intelligente.

Mots-clés : Agrumes ; Insectes ravageurs ; Apprentissage profond ; Réseaux de neurones convolutifs (CNN) ; Classification d'images ; MobileNetV3 ; ResNet18 ; DenseNet121 ; EfficientNet-B0.

Abstract

Citrus cultivation plays a major role in the agricultural economy of Mediterranean regions; however, it is severely affected by insect pest attacks, making early detection essential for sustainable phytosanitary management.

This work proposes an intelligent monitoring approach based on deep learning, using convolutional neural networks (CNNs) for the automatic classification of citrus insect pests from images. Four architectures pre-trained on ImageNet were studied and compared: MobileNetV3-Small, ResNet-18, DenseNet-121, and EfficientNet-B0.

The methodology relies on transfer learning to adapt these models to a specific insect image dataset. Model performance was evaluated in terms of classification accuracy, inference time, and suitability for integration into embedded systems.

The results show that lightweight architectures, particularly MobileNetV3-Small and EfficientNet-B0, offer an optimal trade-off between accuracy and speed, making them well suited for real-time monitoring applications. This study highlights the potential of CNN-based approaches for the development of autonomous early detection and alert systems, contributing to more sustainable and intelligent agriculture.

Keywords: Citrus crops; Pest insects; Deep learning; Convolutional Neural Networks (CNN); Image classification; MobileNetV3; ResNet18; DenseNet121; EfficientNet-B0.

الملخص

تُعد زراعة الحمضيات من الركائز الاقتصادية المهمة في مناطق حوض البحر الأبيض المتوسط. غير أن إنتاجية هذه البساتين تتأثر بشكل كبير نتيجة الهجمات المتكررة للحشرات الضارة وتتسبب هذه الآفات في خسائر اقتصادية معتبرة، مما يجعل الكشف المبكر ضرورة أساسية ضمن منهجية الإدارة المتكاملة والمستدامة للآفات. وفي هذا الإطار يقترح هذا العمل مقاربة مبتكرة للمراقبة الذكية تعتمد على تقنيات التعلّم العميق، وبخاصة الشبكات العصبية الالتفافية، من أجل تصنيف الحشرات الضارة في الحمضيات اعتمادًا على الصور. وقد تم دراسة عدة معماريات مدربة مسبقًا على قواعد بيانات ضخمة. وتعتمد المنهجية على التعلّم بالنقل بهدف الاستفادة من المعرفة المكتسبة من مجموعات بيانات ضخمة، مع تكييف النماذج لتتلاءم مع صور الحشرات المرتبطة بأشجار الحمضيات. كما جرى تقييم أداء النماذج وفق عدة معايير تشمل دقة التصنيف، وسرعة التنفيذ، والكفاءة الطاقية، والقدرة على التكامل ضمن الأنظمة المدمجة، خاصة على المتحكم. وقد أظهرت النتائج أن المعماريات الخفيفة تحقق توازنًا مميّزًا بين الدقة والسرعة، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات الميدانية للكشف المبكر وفي الوقت الحقيقي داخل بساتين الحمضيات. ويبرز هذا البحث الإمكانيات الكبيرة للذكاء الاصطناعي والشبكات العصبية الالتفافية في تحسين الإدارة المتكاملة للآفات، كما يمهد نحو تطوير أنظمة ذاتية للكشف والإنذار المبكر تدعم توجهات الزراعة الذكية والمستدامة. الصور.

الكلمات المفتاحية

تصنيف الصور (CNN)؛ الحمضيات؛ الحشرات الضارة؛ التعلّم العميق؛ الشبكات العصبية الالتفافية؛

.ResNet؛ DenseNet؛ EfficientNet؛ MobileNetV3

مناطق حوض البحر الأبيض المتوسط