



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

École Nationale Supérieure Agronomique

Département: Génie rural

Spécialité: Agriculture numérique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

القسم : الهندسة الريفية

التخصص : الزراعة الرقمية

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master

THEME

Analyse comparative des architectures de réseaux neuronaux convolutifs pour la reconnaissance des maladies des plantes de tomates.

Présenté par: Melle. BACHIRI Zohra
Melle. HANICHET Assia

Soutenu le 04/12/2025

Devant le jury composé de :

Promoteur : Dr. ETSOURI Salim
Co-promoteur: Dr. BOUDHAR Lies
Président : Dr. AMOKRANE Athmane
Examineur : Dr. AIT ALI YAHIA Yassine
Examineur : Dr. FODHIL Fadhela

MCA, ENSA
MCB, ENSA
MCB, ENSA
MCB, ESI
MAB, ENSA

Promotion 2020-2025

Table des matières

Dédicaces.....	I
Dédicaces.....	II
Remerciement.....	III
Abstract:	IV
Résumé :	V
خلاصة البحث.....	VI
Liste des figures.....	I
Liste des tableaux	II
Liste des abréviations	III
Introduction Générale.....	4
Introduction Générale.....	1
Etude Bibliographique.....	1
Etude Bibliographique.....	4
1.1 Introduction bibliographique	4
1.2 Contexte général et enjeux.....	4
1.2.1 Données statistiques sur les pertes annuelles causées par les maladies.....	5
1.2.2 Exemples d'impacts environnementaux.....	5
1.2.3 Importance des cultures maraîchères dans l'alimentation et l'économie locale.	5
1.3 La tomate : une culture stratégique en Algérie et ses vulnérabilités face aux maladies.....	6
1.3.1 Liste des principales maladies affectant les plants de tomates :	7
1.3.1.1 L'oïdium de la tomate.....	7
1.3.1.2 Pourriture grise (Botrytis).....	8
1.3.1.3 Cul noir (nécrose apicale).....	8
1.3.1.4 Mildiou de la tomate.....	9
1.3.1.5 Alternariose de la tomate	9
1.3.1.6 Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV).....	10
1.3.1.7 Tomato mosaic virus (ToMV)	10
1.3.1.8 Target Spot	11
1.3.1.9 Septoria leaf spot	11
1.3.1.10 Tomato Leaf Mold.....	11
1.3.1.11 Tomato Early blight.....	12

1.3.1.12	Tomato bacterial spot	12
1.3.1.13	Tomato healthy	12
1.3.2	Défis de la détection précoce des maladies chez les plants de tomates	12
1.3.2.1	Exemples concrets de maladies des tomates	13
1.3.2.2	Problèmes liés à la détection tardive	13
1.3.2.3	Exemples de symptômes difficiles à identifier à l'œil nu.....	14
1.3.2.4	Importance d'une intervention rapide pour minimiser les pertes.....	14
1.3.3	Limites des méthodes traditionnelles de diagnostic et besoins en innovation.....	14
1.3.4	Inconvénients des inspections manuelles	15
1.3.5	Complexité et coût des analyses de laboratoire	15
1.4	Appel à des solutions numériques pour répondre aux besoins des agriculteurs.....	16
1.5	Contribution de l'intelligence artificielle et des réseaux de neurones dans la gestion des maladies des plantes	16
1.5.1	Analyse d'images et reconnaissance de motifs	16
1.5.2	Principe de fonctionnement des algorithmes d'apprentissage automatique appliqués à l'agriculture.....	17
1.5.3	Exemples d'applications réussies.....	18
1.5.4	Potentiel futur de l'IA pour transformer la gestion des maladies des plantes	18
1.6	État de l'art sur les réseaux neuronaux convolutifs (CNN)	19
1.6.1	Définition.....	19
1.6.2	Principes fondamentaux	20
1.6.3	Composants et fonctionnement de la convolution.....	20
1.6.3.1	Couches et processus	20
1.6.3.2	Fonction d'activation dans les réseaux de neurones.....	21
1.6.4	La normalisation par lot (Batch Normalization).....	21
1.6.5	Architecture typique des CNN.....	22
1.6.5.1	Couches convolutionnelles	22
1.6.5.2	Méthodes d'extraction de caractéristiques	22
1.6.6	Composants clés des réseaux de neurones.....	23
1.6.6.1	Paramètres des couches de convolution	23
1.6.6.2	Les couches de pooling.....	23
1.6.6.3	Les couches entièrement connectées	24
1.6.7	Gestion des problèmes d'apprentissage	24
1.6.7.1	Le surapprentissage (Overfitting)	24

1.6.7.2	Le Dropout.....	24
1.6.8	Fonction Softmax	25
1.6.9	Avantages des CNN pour la classification d'images :	25
1.6.9.1	Extraction automatique de caractéristiques :	25
1.6.9.2	Invariance aux transformations :	25
1.6.9.3	Performances élevées	26
1.6.9.4	Applications variées	26
1.7	Travaux Existants sur la détection des maladies des plantes.....	27
1.7.1	Études antérieures sur les CNN pour la détection des maladies (ex : PlantVillage, travaux avec ResNet, VGG, MobileNet)	27
1.7.2	Limites des CNN pour la détection de maladies sur les plantes	27
1.7.2.1	Images de laboratoire vs images prises sur le terrain	27
1.7.2.2	Problème de déséquilibre des données	27
1.8	Objectifs et Originalité.....	28
1.8.1	Hypothèses et protocole.....	29
1.9	Conclusion bibliographique.....	29
Matériels et Méthodes		3
2	Matériels et Méthodes	32
2.1	Environnement technique.....	32
2.2	Préparation des données	34
2.3	Architectures à comparer	36
2.4	Préparation des données	39
2.4.1	Acquisition des données	39
a)	Organisation du dataset	39
b)	Redimensionnement et normalisation	39
c)	Data augmentation.....	39
d)	Chargement des données.....	40
2.5	Entraînement des modèles :.....	40
2.6	Évaluation sur l'ensemble de test.....	40
Résultats et Discussions		32
3	Résultats et Discussions.....	43
3.1	Résultats	43
3.1.1	Performances des architectures	43
3.1.2	Robustesse et généralisation.....	47
3.1.3	Efficacité computationnelle.....	48

3.1.4	Explicabilité.....	49
3.2	Discussions.....	56
3.2.1	Interprétation des résultats.....	56
3.2.2	Limitations.....	57
3.2.3	Perspectives.....	57
	Conclusion générale.....	60
	Références Bibliographiques.....	63

Abstract:

Tomato is one of the most widely cultivated crops worldwide due to its nutritional and economic value. Nevertheless, it remains highly susceptible to various fungal, bacterial, and viral diseases that significantly impact yield and fruit quality. This study focuses on comparing different Convolutional Neural Network (CNN) architectures for classifying tomato leaf diseases using the PlantVillage dataset. Three main models were evaluated: MobileNetV3-Large, MobileNetV3-Small, and EfficientNet-B0. The comparison considered accuracy, computational efficiency, inference speed, and the ability to generalize to field-like conditions.

The findings indicate that MobileNetV3-Small achieves the best balance between accuracy and computational cost, reaching approximately 81% accuracy. Its lightweight design makes it well suited for deployment on low-power embedded systems such as ESP32 and Raspberry Pi. This work contributes to the digital transformation of agriculture by supporting the development of intelligent tools for early disease detection, ultimately promoting productivity and environmental sustainability.

Keywords: Tomato leaf disease, CNN, Deep Learning, Precision Agriculture, Image Classification.

Résumé :

La tomate constitue l'une des cultures les plus importantes au niveau mondial, tant sur le plan nutritionnel qu'économique. Cependant, elle demeure vulnérable à de nombreuses maladies fongiques, bactériennes et virales qui affectent la qualité et le rendement du produit. Ce travail vise à comparer plusieurs architectures de réseaux neuronaux convolutifs (CNN) pour la classification des maladies des feuilles de tomate, en s'appuyant sur la base de données PlantVillage. Trois modèles principaux ont été étudiés : MobileNetV3-Large, MobileNetV3-Small et EfficientNet-B0. L'évaluation a porté sur la précision, la rapidité d'exécution, l'efficacité computationnelle et la capacité de généralisation en conditions proches du terrain.

Les résultats obtenus montrent que le modèle MobileNetV3-Small offre le meilleur compromis entre précision et légèreté, avec une exactitude d'environ 81 %, ce qui le rend particulièrement adapté aux dispositifs embarqués à faibles ressources, tels que l'ESP32 et le Raspberry Pi. Ces performances ouvrent la voie au développement de solutions intelligentes destinées à la détection précoce des maladies, contribuant ainsi à renforcer la productivité agricole et à soutenir la transition numérique du secteur.

Mots-clés : Maladies des feuilles de tomate, Réseaux neuronaux convolutifs, Apprentissage profond, Agriculture de précision, Classification d'images.

خلاصة البحث

تعد الطماطم من أهم المحاصيل الزراعية في العالم نظرًا لأهميتها الغذائية والاقتصادية، غير أنها تُصاب بالعديد من الأمراض الفطرية والبكتيرية والفيروسية التي تؤثر سلبيًا على الإنتاج وجودة المحصول. يهدف هذا البحث إلى مقارنة عدة بنى من الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) من أجل تصنيف أمراض أوراق الطماطم اعتمادًا على قاعدة البيانات PlantVillage. تمت دراسة ثلاث معماريات رئيسية، وهي MobileNetV3-Small و MobileNetV3-Large و EfficientNet-B0 من خلال تقييم أدائها من حيث الدقة، وسرعة التنفيذ، والكفاءة الحسابية، والقدرة على التعميم في ظروف واقعية تحاكي بيئة الحقل. أظهرت النتائج أن MobileNetV3-Small قد حقق أفضل توازن بين الدقة والكفاءة الطاقوية إذ بلغت دقته حوالي 81% مما يجعله الأنسب للاستخدام في تطبيقات الزراعة الدقيقة وخاصة على الأجهزة المدمجة محدودة الموارد مثل ESP32 و Raspberry Pi. يساهم هذا العمل في دعم التحول الرقمي في المجال الزراعي من خلال تطوير حلول ذكية للتشخيص المبكر للأمراض النباتية، مما يعزز الإنتاجية والاستدامة البيئية.

الكلمات المفتاحية: أمراض الطماطم، الشبكات العصبية الالتفافية، التعلم العميق، الزراعة الدقيقة، تصنيف الصور