



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 Master

THEME

**Intégration de Drones et d'Algorithmes d'Intelligence
Artificielle pour la Détection Précoce des Stress Biotiques
et Abiotiques des Végétaux**

Présenté par: Mr. Zemmamouche Walaeddine

Soutenu le 07/07/2025

Devant le jury composé de :

Président : Mme. GUEDIOURA Ilhem

MCA, ENSA

Promoteur : Mr. BOUDHAR Lies

MCA, ENSA

Examineurs : Mr. ETSOURI Salim

MCA, ENSA

Mr. AIT ALI YAHIA Yassine

MCB, ESI

Promotion 2020-2025

Sommaire

<i>Introduction Générale</i>	1
<i>Synthèse bibliographique</i>	7
<i>Synthèse Bibliographique</i>	5
<i>Chapitre 1 : Contexte agricole et enjeux</i>	5
Introduction :	5
1. La culture du blé dur	6
2. La Culture du maïs	10
3. La Culture du Pomme de terre	12
4. La Culture de Tomate	14
5. Culture d’Olivier	17
6. Culture d’orange	19
7. Culture de pastèque	21
8. Culture de vigne	23
Conclusions	27
<i>Chapitre 2 : Introduction à l’intelligence artificielle (IA)</i>	28
Introduction	28
11. Machine Learning : Concepts Fondamentaux et Paradigmes	30
12. Apprentissage Profond (Deep Learning) : Architectures et Applications Avancées .	32
12.1 Les Fondations : Réseaux de Neurones Artificiels	33
12.2 Fonctions d’Activation Courantes	33
12.3 Algorithmes d’Optimisation Clés	34
12.4 Architectures d’Apprentissage Profond Spécialisées	34
<i>Chapitre 3: Réseaux de Neurones Convolutifs (CNN) et YOLO</i>	36
Introduction aux CNN : Fondements et Évolution	36
13. Composants Fondamentaux des CNN: Une Analyse Approfondie	37
14. Architectures CNN emblématiques : Analyse approfondie	40
15. YOLO (You Only Look Once) : Détection d’objets en temps réel	41
15.1. Évolution de l’architecture YOLO (You Only Look Once)	42
15.1.1. Principes Fondamentaux de YOLO (v1)	42
15.1.2. Évolution de YOLO	43
<i>Chapitre 4: Transformateurs pour la vision ‘Vision Transformers’</i>	45
Introduction	45

17. Le précédent NLP : “Attention Is All You Need”	45
16.1. Adapter les Transformers à la vision : les images vues comme des séquences de patches	45
16.2. Défier les biais inductifs des CNN	46
17. Architecture Principale du Vision Transformer (ViT)	46
17.6. Mécanisme d’Attention : Le moteur des Vision Transformers (ViTs)	48
18. Vision Transformers vs. CNNs : Analyse Comparative	49
19. Variantes et améliorations clés des Vision Transformers	51
20. Performances, Applications et Perspectives Futures	52
20.1. Références de Performance ‘Benchmarks’	52
20.2. Applications Diversifiées	52
20.3. Limites et Tendances Futures	53
<i>Chapitre 5: Drones (Véhicules Aériens Sans Pilote - UAV) : Technologie et Applications</i>	55
21. Anatomie d’un drone : Composants clés et systèmes	55
22. Principes de Fonctionnement : Comment les Drones Volent et Naviguent	57
23. Applications agricoles : Faciliter l’agriculture de précision	59
<i>Chapitre 6: Systèmes embarqués, IA en périphérie ‘Edge AI’ et cloud</i>	61
Introduction :	61
24. Composants Clés	61
25. Systèmes Embarqués dans les Drones Agricoles : des plateformes embarquées intelligentes	63
26. Connectivité, Intégration au Cloud et Internet des Objets (IoT)	65
<i>Chapitre 7:</i>	68
<i>État de l’art : UAV (drones) et algorithmes d’IA pour la prédiction des stress biotiques et abiotiques des plantes</i>	68
Conclusions	69
<i>Méthodologie et résultats</i>	72
<i>Partie 1 :Matériels et méthodes</i>	73
Introduction	72
1. Context experimental	72
1.1. Conception et Implémentation du Système	74
1.2. Architecture et Construction du Drone	76
1.3. Guide d'Assemblage Rapide	78
1.4. Environnement de Développement:	80
2. Pipeline de Traitement d'Image et Intelligence Artificielle	85

2.1. Description de Pipeline	85
2.2. Processus de travail	86
3. Déploiement d'une Plateforme Web Intelligente pour la Supervision :	121
Conclusion.....	124
Partie 2: Résultats et discussion	126
9. Discussion	137
Conclusion	139
Conclusion générale	144
Perspective.....	145
REFERENCES	147
Annexes	164

Abstract

The growing prevalence of plant diseases stemming from both biotic and abiotic stressors constitutes a major constraint to global food security and agricultural productivity. Conventional approaches to disease detection and management are often limited by high costs, delayed response times, and environmental concerns. In this context, the present thesis introduces an integrated system combining Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), artificial intelligence (AI), and a real-time recommendation platform for early detection and management of crop diseases.

The proposed approach employs a hybrid AI pipeline incorporating state-of-the-art deep learning models, including Convolutional Neural Networks (CNNs), Vision Transformers (ViT), and YOLOv12, achieving classification accuracies exceeding 96%. The system architecture encompasses the design and deployment of a custom UAV equipped with RGB imaging sensors, and the implementation of edge AI using a Raspberry Pi platform for in-field processing.

To support agronomic decision-making, a dedicated web interface has been developed, providing real-time visualization, analytics, and interpretability of the detection outcomes. An integrated chatbot, powered by Natural Language Processing (NLP), facilitates user interaction by offering context-specific recommendations for disease management.

Experimental evaluations demonstrate the system's effectiveness in improving detection speed, precision, and operational efficiency when compared to traditional methods. Furthermore, the framework promotes sustainable agricultural practices by enabling targeted interventions, thereby minimizing unnecessary chemical use and reducing environmental impact. Future directions include expanding the system's applicability to a broader range of crops and enhancing its scalability under diverse field conditions.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs); Artificial Intelligence (AI); Deep Learning; Plant Disease Detection; YOLOv12; Vision Transformers; Edge Computing; RGB Imaging; Natural Language Processing (NLP); Decision Support; Precision Agriculture; Sustainable Crop Management.

Résumé

L'augmentation des maladies affectant les cultures, d'origine biotique ou abiotique, représente une contrainte majeure pour la sécurité alimentaire et la productivité agricole à l'échelle mondiale. Les méthodes conventionnelles de détection et de gestion des maladies se révèlent souvent coûteuses, lentes et potentiellement nuisibles à l'environnement. Dans ce contexte, ce mémoire propose un système intégré combinant des drones (UAV), l'intelligence artificielle (IA) et une plateforme de recommandation en temps réel pour la détection précoce et la gestion des maladies des cultures.

La méthodologie repose sur un pipeline hybride exploitant des modèles avancés de deep learning tels que les réseaux de neurones convolutifs (CNN), les Vision Transformers (ViT) et YOLOv12, atteignant une précision de classification supérieure à 96 %. Le système comprend la conception d'un drone personnalisé équipé d'une caméra RGB, ainsi que le déploiement des modèles IA sur une plateforme embarquée Raspberry Pi.

Afin d'accompagner la prise de décision agronomique, une interface web dédiée a été développée, fournissant des visualisations en temps réel, des analyses interprétables et un accès aux résultats du système. Un chatbot intégré, basé sur le traitement du langage naturel (NLP), permet aux utilisateurs d'obtenir des recommandations ciblées selon les maladies détectées.

Les résultats expérimentaux montrent que le système proposé surpasse les approches traditionnelles en termes de rapidité, de précision et de coût. Il favorise également une agriculture durable en réduisant l'usage excessif de produits chimiques et en limitant l'impact environnemental. Les perspectives futures incluent l'élargissement à d'autres cultures et l'amélioration de la robustesse et de l'évolutivité du système.

Mots-clés: Drones (UAV) ; Intelligence Artificielle (IA) ; Apprentissage Profond ; Détection des Maladies des Plantes ; YOLOv12 ; Vision Transformers ; Calcul en Périphérie ; Imagerie RGB ; Traitement du Langage Naturel (NLP) ; Aide à la Décision ; Agriculture de Précision ; Gestion Durable des Cultures.

خلاصة البحث

تُعدّ الأمراض النباتية الناتجة عن عوامل حيوية وغير حيوية من أبرز التحديات التي تهدد الأمن الغذائي والإنتاجية الزراعية على مستوى العالم. وغالبًا ما تكون الأساليب التقليدية في الكشف عن الأمراض وإدارتها مكلفة وبطيئة وقد تؤدي إلى آثار سلبية على البيئة. في هذا السياق، يُقدّم هذا البحث نظامًا متكاملًا يجمع بين الطائرات المسيّرة بدون طيار (UAV) ، والذكاء الاصطناعي (AI) ، ومنصة توصيات أنية لرصد الأمراض النباتية وإدارتها.

يعتمد النظام المقترح على خط معالجة هجين يعتمد نماذج تعلم عميق متقدمة، مثل الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) ، ومحولات الرؤية (ViT) ، ونموذج YOLOv12 ، محققًا دقة تصنيف تتجاوز 95%. يشمل تصميم النظام بناء طائرة مسيّرة مزودة بكاميرا RGB ، وتكامل النماذج الذكية على منصة Raspberry Pi لمعالجة البيانات على الحافة.

ولتمكين المستخدمين من التفاعل واتخاذ القرار، تم تطوير منصة ويب تفاعلية تتيح عرض النتائج والبيانات التحليلية في الوقت الحقيقي. كما يتضمن النظام روبوت دردشة ذكي يعتمد على تقنيات معالجة اللغة الطبيعية (NLP) لتقديم توصيات وعلاجات مخصصة بناءً على نوع المرض المكتشف.

أظهرت التجارب أن هذا النظام يتفوق على الأساليب التقليدية من حيث السرعة والدقة والفعالية من حيث التكلفة، كما يدعم الزراعة المستدامة عبر تقليل الاستخدام العشوائي للمبيدات الكيميائية والحد من الأثر البيئي. وتشمل آفاق العمل المستقبلية توسيع النظام ليشمل محاصيل إضافية، وتعزيز قابليته للتوسع والاعتماد عليه في ظروف حقلية متنوعة.

الكلمات المفتاحية : الطائرات بدون طيار (UAV)؛ الذكاء الاصطناعي (AI)؛ التعلم العميق؛ كشف أمراض النباتات؛ YOLOv12؛ الشبكات العصبية التلافيفية؛ محولات الرؤية Vision Transformers؛ الحوسبة الطرفية؛ التصوير RGB؛ معالجة اللغة الطبيعية (NLP)؛ دعم القرار؛ الزراعة الدقيقة؛ الإدارة المستدامة للمحاصيل.