

الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة العليا للإعلام الآلي 08 ماي 5491. بسيدي بلعباس
École Supérieure en Informatique
-08 Mai 1945- Sidi Bel Abbès



Dissertation

To obtain the diploma of **Engineering**

Field: **Computer Science**

Specialties: **Ingénierie des Systèmes Informatiques (ISI) & Artificial Intelligence and Data Science (IASD)**

Theme

Z-Farm: An Intelligent Zigbee-Based Wireless Sensor Network for Precision Agriculture

Presented by:

MOULAY LAKHDAR Zakaria (ISI)

OMARI Abdessalaem (IASD)

Submission Date: **July, 2026**

In front of the jury composed of:

Dr. KHALDI Miloud

President

Dr. BENSENANE Hamdane

Supervisor

Dr. ELHANNANI Souad

Examiner

Dr. ABDELHAK Soumia

Incubator Representative

Academic Year : 2025/2026

Abstract

Smart agriculture demands the tight integration of real-time sensor data, artificial intelligence, and low-power wireless networking. This thesis presents **Z-Farm**, an end-to-end smart-agriculture platform developed for the Z-Farm agri-tech startup, combining an IoT sensing layer with three AI modules and a unified web dashboard.

The IoT hardware layer deploys an ESP32-C6 node over a Zigbee 3.0 wireless sensor network, collecting soil moisture, air temperature and humidity, water flow rate, and tank level data at sub-second cadence and transmitting it to a Raspberry Pi 5 gateway via Zigbee2MQTT and MQTT.

Three AI modules are integrated into the platform. **Module 1** is a predictive irrigation classifier trained on the Smart Drip Irrigation System (SDIS) rice-farming dataset. A stacked ensemble of eight classical machine learning models and two deep learning architectures is evaluated; LightGBM achieves the best individual accuracy of **98.68%** and is selected as the production model. **Module 2** is a MobileNet convolutional neural network fine-tuned on the PlantVillage dataset (54,306 images, 38 disease categories), achieving a validation accuracy of **96.74%** for crop disease detection from smartphone leaf photographs. **Module 3** is a Bagging Regressor trained on a 26,297-record FAO-derived dataset (101 countries, 10 crops, 1990–2013), achieving $R^2 \approx 0.99$ for seasonal crop yield forecasting, with automatic live-weather integration via the Open-Meteo API.

All three modules are exposed through a React 18 single-page dashboard served by a FastAPI backend, with real-time WebSocket updates, an A/B yield scenario simulator, an AI audit log, automated alert management, and an Z-Farm ChatBot powered by the Gemini generative AI API.

Keywords— Smart agriculture, IoT, Zigbee, ESP32-C6, predictive irrigation, LightGBM, crop disease detection, MobileNet, yield forecasting, Bagging Regressor, FastAPI, React, Z-Farm, precision agriculture, Algeria

Résumé

L'agriculture intelligente exige l'intégration étroite des données de capteurs en temps réel, de l'intelligence artificielle et des réseaux sans fil à faible consommation énergétique. Ce mémoire présente **Z-Farm**, une plateforme d'agriculture intelligente de bout en bout développée pour la startup agri-tech Z-Farm, combinant une couche de détection IoT avec trois modules d'intelligence artificielle et un tableau de bord web unifié.

La couche matérielle IoT déploie un nœud ESP32-C6 sur un réseau de capteurs sans fil Zigbee 3.0, collectant les données d'humidité du sol, de température et d'humidité de l'air, de débit d'eau et de niveau de réservoir à une cadence inférieure à la seconde, et les transmettant à une passerelle Raspberry Pi 5 via Zigbee2MQTT et MQTT.

Trois modules d'intelligence artificielle sont intégrés dans la plateforme. **Le Module 1** est un classificateur d'irrigation prédictif entraîné sur le jeu de données SDIS (*Smart Drip Irrigation System*). Un ensemble empilé de huit modèles classiques d'apprentissage automatique et deux architectures d'apprentissage profond sont évalués ; LightGBM atteint la meilleure précision individuelle de **98,68%** et est sélectionné comme modèle de production. **Le Module 2** est un réseau de neurones convolutif MobileNet affiné sur le jeu de données PlantVillage (54 306 images, 38 catégories de maladies), atteignant une précision de validation de **96,74%** pour la détection des maladies des cultures à partir de photographies de feuilles prises par smartphone. **Le Module 3** est un Bagging Regressor entraîné sur un jeu de données dérivé de la FAO comportant 26 297 enregistrements (101 pays, 10 cultures, 1990–2013), atteignant $R^2 \approx 0,99$ pour la prévision saisonnière des rendements agricoles, avec une intégration automatique des données météorologiques en direct via l'API Open-Meteo.

Les trois modules sont exposés via un tableau de bord en application monopage React 18 servi par un backend FastAPI, avec des mises à jour WebSocket en temps réel, un simulateur de scénarios A/B pour les rendements, un journal d'audit IA, une gestion automatisée des alertes, et un assistant conversationnel Z-Farm ChatBot alimenté par l'API Gemini.

Mots clés — Agriculture intelligente, IoT, Zigbee, ESP32-C6, irrigation prédictive, LightGBM, détection de maladies des cultures, MobileNet, prévision de rendement, Bagging Regressor, FastAPI, React, Z-Farm, agriculture de précision, Algérie

الملخص

تتطلب الزراعة الذكية التكامل الوثيق بين بيانات المستشعرات في الوقت الفعلي والذكاء الاصطناعي والشبكات اللاسلكية منخفضة الاستهلاك. يُقدّم هذا المذكرة منصة **Z-Farm**، وهي منصة زراعية ذكية متكاملة من طرف إلى طرف طوّرت لصالح شركة Z-Farm الناشئة في مجال التكنولوجيا الزراعية، تجمع بين طبقة استشعار إنترنت الأشياء وثلاثة وحدات ذكاء اصطناعي ولوحة تحكم ويب موحدة.

تعتمد طبقة الأجهزة على عقدة ESP32-C6 عبر شبكة مستشعرات لاسلكية Zigbee 3.0، تجمع بيانات رطوبة التربة ودرجة الحرارة والرطوبة وتدفع المياه ومستوى الخزان بمعدل أقل من ثانية، وترسلها إلى بوابة Raspberry Pi 5 عبر Zigbee2MQTT وبروتوكول MQTT.

تتضمن المنصة ثلاث وحدات ذكاء اصطناعي. الوحدة الأولى مصنّف ري تنبؤي حقّق دقّة بلغت 98.68% باستخدام نموذج LightGBM بعد مقارنة 11 خوارزمية للتعلم الآلي. الوحدة الثانية شبكة عصبية تلافيفية MobileNet مُدرّبة على قاعدة بيانات PlantVillage المكوّنة من 54 306 صورة و38 فئة مرضية، حقّقت دقة التحقق 96.74% لاكتشاف أمراض المحاصيل من صور الأوراق. الوحدة الثالثة نموذج BaggingRegressor مُدرّب على قاعدة بيانات مشتقة من منظمة FAO تضم 26 297 سجلاً (101 دولة، 10 محاصيل، 1990-2013)، يحقق $R^2 \approx 0.99$ للتنبؤ الموسمي بغلة المحاصيل مع تكامل تلقائي لبيانات الطقس الحية عبر واجهة برمجية Open-Meteo.

تُعرض جميع الوحدات عبر لوحة تحكم React 18 أحادية الصفحة مدعومة بواجهة خلفية FastAPI، مع تحديثات WebSocket الفورية، ومحكي السيناريوهات A/B لمقارنة الغلة، وإدارة التنبيهات الآلية، ومساعد Z-Farm ChatBot المُشغل بواجهة Gemini API.

الكلمات المفتاحية: الزراعة الذكية، إنترنت الأشياء، ESP32-C6، Zigbee، الري التنبؤي، LightGBM، اكتشاف أمراض المحاصيل، MobileNet، التنبؤ بالغلة الزراعية، BaggingRegressor، FastAPI، React، Z-Farm، الزراعة الدقيقة، الجزائر.