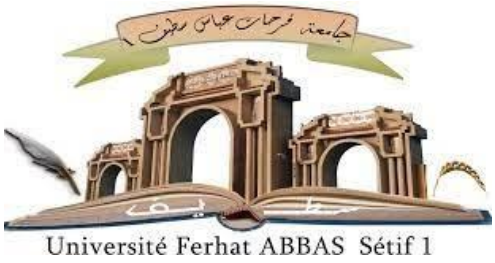
PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

FERHAT ABBAS UNIVERSITY, SETIF 1
Faculty of Sciences
Department of Computer
Science



MASTER'S THESIS

Presented in partial fulfillment of the requirements

for obtaining the degree of Master in Networks and Distributed Systems

---

Simulation of an Automatic Irrigation System

Encadré par :

Dr. HAMMOUCHE Yassine

Réalisé par :

LITIM Nabila

AMARDJIA Hiba

Defense Date: 23/06/2026

DEFENSE JURY MEMBERS

Président :	Dr. GOUDJIL Lakhdar	UFA, SETIF 1
Examiner :	Dr. ANNANE Boubakeur	UFA, SETIF 1

Promotion : 2025/2026

Abstract

Smart agriculture offers a promising solution to address water scarcity and climate change challenges. This thesis presents the simulation of an automatic irrigation system based on the Internet of Things (IoT), designed to optimize water consumption according to actual crop needs. The proposed system is implemented within the CupCarbon simulation environment, where environmental sensors (rain, temperature, air humidity, and soil moisture), a central control unit (ESP32), and actuators (pump and solenoid valves) are modeled as virtual nodes, enabling the emulation of their behavior, interaction, and communication in a controlled virtual setting.

A Firebase cloud database ensures real-time data storage and synchronization, while a web interface and a mobile application enable remote monitoring and configuration. Three scenarios of increasing complexity were implemented: a single-zone baseline scenario, a fault-tolerant scenario based on sensor redundancy, and a multi-zone scenario simulating a farm with sequential irrigation management.

The simulation results confirm the feasibility of combining a soil moisture-based irrigation strategy with an IoT–Cloud architecture, providing a reliable, scalable, and automated irrigation management system. The proposed solution demonstrates how simulation tools and cloud technologies can support the design and evaluation of automatique irrigation systems before real-world deployment.

Keywords: IoT, automatique irrigation, CupCarbon, Firebase, ESP32, simulation, precision agriculture, sensor redundancy.

Résumé

L'agriculture intelligente offre une solution prometteuse pour répondre aux défis liés à la raréfaction des ressources en eau et au changement climatique. Ce mémoire présente la simulation d'un système d'irrigation automatique basé sur l'Internet des Objets (IoT), conçu pour optimiser la consommation d'eau en fonction des besoins réels des cultures. Le système proposé est implémenté dans l'environnement de simulation CupCarbon, où les capteurs environnementaux (pluie, température, humidité de l'air et humidité du sol), une unité de contrôle centrale (ESP32) et les actionneurs (pompe et électrovannes) sont modélisés sous forme de nœuds virtuels, permettant d'émuler leur comportement, leur interaction et leur communication dans un environnement virtuel contrôlé.

Une base de données cloud Firebase assure le stockage et la synchronisation des données en temps réel, tandis qu'une interface web et une application mobile permettent la surveillance et la configuration à distance. Trois scénarios de complexité croissante ont été implémentés : un scénario de base à une seule zone, un scénario tolérant aux pannes basé sur la redondance des capteurs, et un scénario multi-zones simulant une exploitation agricole avec une gestion séquentielle de l'irrigation.

Les résultats de simulation confirment la faisabilité de combiner une stratégie d'irrigation basée sur l'humidité du sol avec une architecture IoT–Cloud, offrant un système de gestion de l'irrigation fiable, évolutif et automatisé. La solution proposée démontre comment les outils de simulation et les technologies cloud peuvent contribuer à la conception et à l'évaluation des systèmes d'irrigation automatique avant leur déploiement réel.

Mots-clés: IoT, irrigation automatique, CupCarbon, Firebase, ESP32, simulation, agriculture de précision, redondance des capteurs.

الملخص

تُعد الزراعة الذكية حلاً واعدًا لمواجهة التحديات المرتبطة بندرة الموارد المائية وتغير المناخ. تقدم هذه المذكرة محاكاة لنظام ري آلي يعتمد على إنترنت الأشياء(IoT) ، صُمم بهدف تحسين استهلاك المياه وفقًا للاحتياجات الفعلية للمحاصيل. يتم تنفيذ النظام المقترح داخل بيئة المحاكاةCupCarbon ، حيث يتم نمذجة الحساسات البيئية (المطر، درجة الحرارة، رطوبة الهواء، ورطوبة التربة)، ووحدة التحكم المركزية(ESP32) ، والمشغلات (المضخة والصمامات الكهربائية) على شكل عقد افتراضية، مما يسمح بمحاكاة سلوكها وتفاعلها واتصالها داخل بيئة افتراضية خاضعة للتحكم.

تضمن قاعدة بيانات Firebase السحابية تخزين البيانات ومزامنتها في الوقت الحقيقي، بينما تتيح واجهة ويب وتطبيق هاتف محمول إمكانية المراقبة والإعداد عن بعد. تم تنفيذ ثلاثة سيناريوهات ذات تعقيد متزايد: سيناريو أساسي لمنطقة واحدة، وسيناريو يتحمل الأعطال يعتمد على تكرار الحساسات، وسيناريو متعدد المناطق يحاكي استغلالًا زراعيًا مع إدارة تسلسلية للري.

تؤكد نتائج المحاكاة إمكانية دمج استراتيجية ري تعتمد على رطوبة التربة مع بنية سحابية وإنترنت الأشياء، مما يوفر نظام إدارة ري موثوقًا وقابلًا للتوسع وآليًا. كما تُظهر هذه الحلول كيف يمكن لأدوات المحاكاة والتقنيات السحابية المساهمة في تصميم وتقييم أنظمة الري الآلي قبل تطبيقها في الواقع.

الكلمات المفتاحية :إنترنت الأشياء، الري الآلي ، CupCarbon، Firebase، ESP32، المحاكاة، الزراعة الدقيقة، تكرار الحساسات.

TABLE OF CONTENTS

TABLE OF CONTENTS

LIST OF FIGURES

LIST OF TABLES

General Introduction 1

1 Internet of Things (IoT) 4

1.1 Introduction 4
1.2 Definition of Internet of Things (IoT) 5
1.2.1 Origin and Evolution of IoT 5
1.2.2 Key Concepts Associated 6
1.3 General Operation 6
1.3.1 Step 1 – Data Collection 6
1.3.2 Step 2 – Data Transmission 6
1.3.3 Step 3 – Analysis and Action 7
1.4 Detailed Architecture of IoT 7
1.4.1 Perception Layer 8
1.4.2 Network Layer 8
1.4.3 Processing Layer 9
1.4.4 Application Layer 9
1. 5 Fundamental Technologies of IoT 9
1.6 Hardware and Software Components of IoT. 10
1.6.1 Microcontrollers 10
1.6.2 Sensors 12
1.6.3 Actuators 12
1.6.4 IoT Cloud Platforms 13
1.7 Application Domains of IoT 13
1.8 Advantages of IoT 14
1.9 Challenges and Limitations of IoT 14
1.10 Future Perspectives of IoT 15
1.11 Conclusion. 15

2 Intelligent Irrigation System 16

2.1 Introduction 16
2.2 Definition of Irrigation 16
2.3 Types of Irrigation Systems 17
2.3.1 Drip Irrigation 17
2.3.2 Center Pivot Irrigation 17
2.3.3 Surface Irrigation 18
2.3.4 Localized Irrigation 18
2.3.5 Sprinkler Irrigation 18

2.3.6 Lateral Move Irrigation . . . 18
2.4 Impact of Environmental Factors on Irrigation . . . 18
2.4.1 Precipitation (Rainfall) . . . 18
2.4.2 Temperature . . . 19
2.4.3 Air Humidity . . . 19
2.4.4 Crop Type . . . 19
2.4.5 Soil Type and Soil Moisture . . . 19
2.5 Limitations of Classical Irrigation Systems . . . 20
2.6 Intelligent Irrigation . . . 20
2.6.1 Key Components of Smart Irrigation Systems . . . 21
2.6.2 Benefits of Intelligent Irrigation Systems . . . 21
2.6.3 Obstacles to Overcome . . . 22
2.7 Classification of Existing Smart Irrigation Systems . . . 22
2.7.1 Time-Based Systems . . . 22
.7.2 Climate-Based (ET) Systems . . . 23
2.7.3 Soil Moisture-Based Systems . . . 23
2.7.4 Hybrid Systems . . . 23
2.7.5 AI/ML-Based Systems . . . 23
2.7.6 IoT-Cloud Based Systems . . . 24
2.7.7 Synthesis and Transition . . . 25
2.8 Conclusion . . . 25

3 Implementation and Simulation **26**
3.1 Introduction . . . 26
3.2 Development Tools . . . 26
3.2.1 CupCarbon . . . 26
3.2.2 Firebase Database: Structure and Configuration . . . 27
3.2.3 Web Interface (HTML, CSS, JavaScript) . . . 27
3.2.4 Mobile Application (Flutter) . . . 28
3.3 Global Architecture of the System . . . 28
3.3.1 System Layers Description . . . 29
3.4 Simulation Environment . . . 31
3.4.1 Simulation Time Cycle . . . 31
3.4.2 Temporal Variables Calculation . . . 32
3.5 Environmental Sensors . . . 33
3.5.1 Rain Sensor . . . 33
3.5.2 Temperature Sensor . . . 35
3.5.3 Air Humidity Sensor . . . 35
3.6 Soil Moisture Model . . . 36
3.6.1 Soil and Plant Parameters . . . 37
3.6.2 Water Balance Calculation . . . 38
3.7 ESP32 Controller . . . 41
3.7.1 System Role and Architecture . . . 41
3.7.2 Irrigation Time Slots . . . 42
3.7.3 Plant Moisture Thresholds . . . 42
3.7.4 Irrigation Decision Logic . . . 42
3.7.5 Irrigation Duration Model . . . 44
3.7.6 System Output and Feedback Loop . . . 44
3.8 Pump Actuator . . . 45
3.9 Simulation Scenarios Overview . . . 45

3.9.1 Scenario 1: Single Zone (Baseline System) 45
3.9.2 Scenario 2: Fault Tolerance (Resilience Test) 46
3.9.3 Scenario 3: Multi-Zone (Large Farm Simulation) 48
3.10 Firebase Database: Structure and Configuration 50
3.10.1 System Architecture 50
3.10.2 Firebase Configuratin 50
3.10.3 Real-time Listening (Web Interface) 51
3.10.4 Saving User Configuration to Firebase 51
3.11 Web Interface (HTML, CSS, JavaScript) 52
3.11.1 Why a Web Interface? 52
3.11.2 Scenario 1: Basic Dashboard 53
3.11.3 Scenario 2: Active Sensor Monitoring 54
3.11.4 Scenario 3: Multi-Zone Management (3 Zones) 55
3.11.5 Integrated Charts for Seasonal Analysis 56
3.12 Mobile Application (Flutter) 59
3.12.1 Why a Mobile Application? 59
3.12.2 Mobile App Design 60
3.12.3 Data Source 60
3.12.4 Advantages Over Web-Only Solution 61
3.13 Conclusion 61

General Conclusion **62**