

**UNIVERSITE « POLITEHNICA » DE BUCAREST  
FACULTE D'INGENIERIE EN LANGUES ETRANGERES  
ELECTRONIQUE, TELECOMMUNICATIONS ET  
TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION**

# **PROJET DE FIN D'ETUDES**

**Coordinateur (Tuteur) :**

**S.l. dr. ing. Alin Adrian ALECU**

**Étudiant :**

**HAMILA Wael**

**Bucarest**

**2022**



**UNIVERSITE « POLITEHNICA » DE BUCAREST  
FACULTE D'INGENIERIE EN LANGUES ETRANGERES  
ELECTRONIQUE, TELECOMMUNICATIONS ET  
TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION**



# **SMART FARM**

**Coordinateur (Tuteur) :  
S.I. dr. ing. Alin Adrian ALECU**

**Étudiant :  
HAMILA Wael**

**Bucarest**

**2022**

**UNIVERSITE « POLITEHNICA » DE BUCAREST FACULTE  
D'INGENIERIE EN LANGUES ETRANGERES  
ELECTRONIQUE, TELECOMMUNICATIONS ET  
TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION**

Approuvé

Directeur de département :

Prof. dr. ing. George DRAGOI

**SUJET DU PROJET DE FIN D'ETUDE POUR:**

**HAMILA Wael**

1. Titre du thème (du sujet) :

*Smart Farm / Fermă Inteligentă*

2. Données initiales de conception :

*Une ferme intelligente qui utilise des algorithmes de l'intelligence artificielles et de l'IoT capable de prédire le temps d'irrigation de façon autonome supervisée par une application web.*

3. Contribution de l'étudiant :

- *Recherche sur les produits existants sur le marché.*
- *Collecter les données de la plante*
- *Implémentation d'algorithmes qui prennent des décisions concernant le temps d'irrigation.*
- *Implémentation de l'application web*

4. Matériel graphique obligatoire : *Schéma bloc, graphes*

5. Le mémoire est basé sur les connaissances acquises au fil des études des suivants cours :

*Microcontrôleurs, Réseaux de neurones et algorithmes génétiques.,*

6. L'environnement de développement de l'ouvrage : *Visual Studio Code, Python, MicroPython,*

*Thonny, Microsoft Azure, Angular*

7. Ce projet serve à : *Projet de fin d'études*

8. Délai de l'ouvrage : *Juillet 2022*

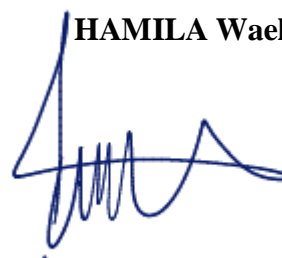
**Coordinateur (Tuteur) du projet :**

**S.I. dr. ing. Alin Adrian ALECU**



**Etudiant :**

**HAMILA Wael**



## Déclaration d'honnêteté académique

Je soussigné **HAMILA Wael**, passeport série **Y**, n° **578253**, ai rédigé le mémoire de licence intitulé « **SMART FARM** » en vue de la soutenance publique organisée par la Faculté d'Ingénierie en Langues Étrangères, Département « **FACULTE D'INGENIERIE EN LANGUES ETRANGERES** » de l'Université **POLITEHNICA** de Bucarest, année académique **2021/2022**.

Au vu de l'art. 143 de la loi nationale sur l'éducation no. 1/2011, par. (4) «Les directeurs des mémoires de licence/ mémoires de master sont solidairement responsables avec les auteurs de l'originalité de leur contenu» et par. (5) "Il est interdit de vendre des articles scientifiques afin de faciliter la falsification par l'acheteur de la paternité d'un mémoire de licence", je déclare sous ma propre responsabilité que ce mémoire est original, étant le résultat de mon travail, ne contient pas de parties plagiées, et les références bibliographiques ont été utilisées conformément à la législation en vigueur.

J'ai pris connaissance du fait que le plagiat ou la présentation d'un mémoire élaboré et rédigé par un autre diplômé, ou tiré d'Internet, à partir de manuels et de livres, sans en préciser la source est un délit (vol intellectuel et non-respect du droit d'auteur et de la propriété intellectuelle) et entraîne l'annulation de l'examen de licence

Fait à Bucarest le : 17/06/2022

Signature :



# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

En premier lieu ceux que personne ne peut compenser les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon éducation et mon bien-être à mes parents qui se sont sacrifiés pour me prendre en charge tout au long de ma formation et qui sont l'origine de ma réussite que dieu les garde et les protèges.

A ma famille et mes chers amis qui m'ont accordé leur soutien dans les instants les plus difficiles.

Tous mes formateurs et toute l'équipe pédagogique et administrative de la « Faculté d'Ingénierie en Langues Etrangères » (FILS) et de Polytech Montpellier pour l'aide qu'ils ont toujours porté aux étudiants.

Toute personne qui de près ou de loin a participé à ma formation.

# Remerciements

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif du département FILS pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur Alin Adrian ALECU qui, en tant qu'encadrant de mémoire, il a toujours montré l'écoute et la disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer pour que ce mémoire voit le jour

Je n'oublie pas ma famille pour leur contribution, leur soutien et leur patience. Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à toutes et à tous.

# Résumé

Le présent rapport décrit le travail réalisé dans le cadre du projet de fin d'études que j'ai effectué durant le deuxième semestre de l'année universitaire 2021/2022.

Au cours des dernières années, une nouvelle technologie a été remarquée dans le domaine de l'électronique et des réseaux informatiques, elle nous donne la possibilité de faire des systèmes connectés à des réseaux informatiques. Cette technologie est l'internet des objets (IoT), elle a la capacité d'augmenter la croissance des technologies de l'information et de la communication et de fournir des services capables d'améliorer considérablement le bien-être des individus et des sociétés.

Les concepts de l'Internet des objets (IoT) et de l'intelligence artificielle (IA) sont examinés dans ce projet, mon but est de faire un système d'irrigation intelligent basé sur l'Internet des objets utilisant une approche d'intelligence artificielle pour une utilisation efficace de l'eau.

Afin de mener à bien cette mission, j'ai trouvé utile de commencer par des recherches sur les technologies de l'IoT et l'IA, par la suite, l'analyse et la conception.

A la lumière de cette étude, divers axes sont décelés englobant une inspection approfondie des différents caractéristiques et aspects techniques.

# Liste des figures

Figure 2.1 : Les trois couches d'un modèle IoT

Figure 2.2 : Les composants d'un modèle IoT

Figure 3.1 : Capture d'écran du système d'arrosage automatique irrigation goutte à gouttes

Figure 3.2 : Capture d'écran du système d'arrosage automatique des plantes

Figure 3.3 : Capture d'écran de GARDENA smart irrigation control

Figure 4.1: Carte ESP8266

Figure 4.2: Architecture interne de la carte ESP8266

Figure 4.3: Affectation des pins

Figure 4.4: ESP8266 pinout

Figure 4.5 : Capteur capacitif d'humidité du sol V1.2

Figure 4.6: Architecture interne du capteur d'humidité

Figure 4.7: Montage carte/capteur

Figure 4.8 : Structure du Blob Storage

Figure 4.9: Transfert des données du capteur vers le serveur et ensuite vers le blob storage

Figure 4.10: Exemple de régression linéaire

Figure 4.11: Données de 25 jours

Figure 4.12: Les données superposées

Figure 4.13:  $y_{\text{test}}$  vs  $y_{\text{pred}}$

Figure 4.14 : Application web pour visualiser l'état du sol

Figure 5.1 : Fonctionnement de tout le système

# Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Comparaison des produits qui existent dans le marché

Tableau 4.1 : Définition des Pins

Tableau 4.2 : Comparaison des valeurs prédites et des valeurs réelles



# Table des matières

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Cahier des charges .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Contexte et présentation du projet .....</b>	<b>4</b>
2.1 Contexte.....	4
2.2 Présentation rapide du projet .....	4
<b>3. Objectifs et public visé .....</b>	<b>5</b>
3.1 Objectif principal .....	5
3.2 Public visé .....	5
<b>Chapitre II : Présentation du domaine .....</b>	<b>6</b>
<b>1. L'intelligence Artificielle .....</b>	<b>7</b>
1.1 Avantages et inconvénients .....	8
1.2 Avantages de l'intelligence artificielle .....	9
1.3 Inconvénients de l'intelligence artificielle .....	11
<b>2. Internet des Objets (IoT) .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Les trois couches d'un modèle IoT .....</b>	<b>13</b>
3.3.1 La couche de perception .....	13
3.3.2 La couche réseau .....	14
3.3.3 La couche d'application.....	14
<b>3.4 Les composants d'un modèle IoT .....</b>	<b>14</b>
<b>3.5 Les avantages et les inconvénients de l'IoT .....</b>	<b>15</b>
3.5.1 Avantages de l'IoT .....	15
3.5.2 Inconvénients de l'IoT .....	16
<b>Chapitre III : L'état de l'art .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Les nouvelles technologies d'irrigations existantes sur le marché.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Système d'arrosage automatique Irrigation goutte à goutte .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Outil de jardin pour système d'arrosage automatique des plantes .....</b>	<b>19</b>

1.3 GARDENA smart Irrigation Control.....	20
2. Les nouvelles technologies d'irrigations existantes sur le marché.....	21
Chapitre IV : Les composants de base du projet .....	23
1. Carte ESP8266.....	24
1.1 Caractéristiques de la carte ESP8266.....	24
2.2.Architecture interne de la carte ESP8266 .....	25
2.3.Définition des Pins.....	26
2. Capteur d'humidité capacitif V1.2 .....	28
2.2.Caractéristiques du capteur .....	28
2.3.Principe de fonctionnement .....	28
2.4.Montage carte ESP8266 / Capteur .....	29
3. Prédiction de l'humidité en tant que micro-service.....	30
3.1 Transfert et stockage des données .....	30
3.1.1 Les « Microsoft Azure Functions » .....	30
3.1.1.1 Utilisations d'Azure Functions.....	31
3.1.1.2 Développement de code pour Azure Functions .....	32
3.1.2 Le « Blob Storage » .....	33
3.1.3 Le protocole http.....	34
3.2 La prédiction du taux d'humidité .....	35
3.2.1 La régression linéaire.....	35
3.2.2 L'importance de la régression linéaire.....	36
3.2.3 Prédiction du taux d'humidité de la plante en utilisant la régression...37	
3.2.3.1 Les étapes de la prédiction .....	38
4. Visualisation des données en temps réel à travers une application web.....	40
Chapitre V : Fonctionnement du système .....	41
1. Capteur d'humidité / Azure function 1.....	42
2. Azure function 1 / Azure Blob storage .....	42
3. Azure Blob storage / Azure function 2.....	42
4. Azure function 2 / Application web.....	43
Conclusion Générale.....	44
Bibliographies.....	46

# Introduction

Personne ne peut nier que l'eau joue un rôle important dans la sécurité alimentaire, la paix et la sécurité internationales. Certains experts n'hésitent plus à pronostiquer qu'au 21<sup>e</sup> siècle l'« or bleu » prendra la place de l'« or noir » dans les conflits entre les Etats.

De nos jours, le monde se trouve face à une situation d'épuisement des réserves ou de pénuries d'eau. Une situation qui devrait encore s'aggraver dans les décennies à venir. D'ici à 2030, selon les projections de la banque mondial, la demande en eau pourrait être supérieure à 40 % aux disponibilités de la planète.

L'agriculture est, de loin, l'industrie ayant la plus grande consommation d'eau.

L'irrigation des régions agricoles représente 70% de l'eau utilisée dans le monde entier. Dans plusieurs pays en voie de développement, l'irrigation représente jusqu'à 95% de toutes les utilisations d'eau.

Le problème est qu'une bonne proportion de l'eau utilisée dans l'irrigation est perdue, voir en'a jamais atteint la plante. Autrement dit, plus de la moitié de l'eau douce utilisée en agronomie est gaspillée.

Les raisons de ces pertes sont multiples mais principalement techniques. Des problèmes de maintenances et l'installation de structures inappropriées sont très souvent à l'origine d'une mauvaise gestion de l'eau. À cela s'ajoute des facteurs purement naturels comme la composition et l'humidité du sol.

Tout en étant conscient de l'importance du volume d'eau utilisé dans l'agriculture et dans l'intention de trouver une méthode d'irrigation permettant la meilleure gestion de l'eau, nous avons opté à un **système d'irrigation intelligent**.

Un système d'irrigation intelligent permet d'éviter en tant que possible le gaspillage d'eau dans l'irrigation et de minimiser l'intervention humaine en introduisant un système formé de l'**IoT** et du l'**IA**.

Notre système passe par quatre étapes importantes ; la première étape consiste à collecter les données du sol à l'aide d'un capteur d'humidité et un microcontrôleur ESP8266, puis envoyer et stocker ces données sur le cloud.

Une fois que les paramètres du sol sont disponibles, les données peuvent être utilisées pour prendre des décisions finales concernant l'irrigation tout en prédisant le taux d'humidité du sol. Les techniques avancées de l'IA et de l'IoT peuvent fournir une solution.

La dernière étape sera l'envoi des informations analysées du serveur cloud à l'application web de l'agriculteur au préalable pour qu'il arrose le champ.

Ce rapport sera réparti en cinq chapitres. Dans le premier chapitre, nous vous décrivons le contexte et l'objectif attendu du projet ainsi que la planification du projet et le cahier des charges.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter les domaines de l'IoT et de l'intelligence artificielle.

Quant au troisième chapitre, nous allons comparer les produits qui existent dans le marché.

Concernant le quatrième chapitre, il définit les composants et le matériel nécessaire pour la réalisation de ce projet ainsi que les architectures internes et les caractéristiques de chaque composant utilisé.

Pour le dernier chapitre, nous avons mis en relief la mise en place du capteur d'humidité du sol dans un pot, le stockage des données collectées dans le cloud, la régression linéaire (utilisée pour la prédiction) et l'application web conçus pour suivre l'humidité du sol et aussi pour recevoir les notifications pour irriguer la plante.

# Chapitre I : Cahier des charges

Dans ce chapitre nous présentons de façon rapide notre projet, le contexte général et l'objectif attendu du projet.

## **1. Introduction :**

Le présent document est le cahier de charge du projet « Smart Farm ».

L'objectif d'un cahier de charge c'est de fournir une explication globale sur la façon dont le projet va être conduit.

En premier lieu, nous parlerons du contexte dans lequel s'inscrit l'élaboration de « Smart Farm ».

Nous expliquerons, dans un second lieu, les objectifs d'un tel projet.

Nous terminerons sur les cibles et le public visé.

## **2. Contexte et présentation du projet :**

### **2.1. Contexte :**

La réalisation du projet « Smart Farm » rentre dans le cadre d'obtenir mon diplôme d'ingénieur en électronique, télécommunication et technologies de l'information.

### **2.2. Présentation rapide du projet :**

« Smart Farm » est un outil d'irrigation intelligent. Il est composé d'un capteur d'humidité du sol lié à une carte électronique ESP8266 connectée au wifi.

Les informations collectées, grâce au capteur d'humidité, sont stockés dans le Cloud.

Toutes ces informations sont par la suite traitées et utilisées pour la prédiction du prochain temps d'irrigation et en fin visualisées en temps réel sur une application web.

L'utilisateur reçoit, par conséquent, une notification pour irriguer sa plante à chaque fois que l'humidité du sol atteint une certaine valeur.

### **3. Objectifs et public visé :**

#### **3.1. Objectif principal :**

Ce projet est né dans l'idée de développer le système d'irrigation traditionnelle qui ne prend pas en considération que l'humidité du sol est la clé pour apporter la bonne quantité d'eau aux cultures, au bon moment.

« Smart Farm » améliore les décisions d'irrigation de son utilisateur puisqu'il s'agit d'un système basé sur l'IoT et l'IA. Il permet de prédire le bon moment pour l'irrigation à travers une notification envoyée par mail à l'utilisateur et sur l'application web.

« Smart Farm » facilite le suivi de la plante grâce au cloud et à l'application web.

Cette application est accessible depuis n'importe quel moment et à n'importe quel endroit.

#### **3.2. Public visé :**

La cible principale du « Smart Farm » sont les agriculteurs et surtout les agriculteurs à temps partiel qui exercent d'autres fonctions ou une double activité. Ils peuvent, grâce à l'application web, suivre et contrôler à distance l'humidité du sol et savoir le bon moment pour l'irrigation.

« Smart Farm » est, en conclusion, un produit utile et efficace pour les agriculteurs à temps partiel et pour les agriculteurs exploitants dans l'emploi total.

### **Conclusion :**

Après avoir présenté l'objectif et le cahier des charges de notre projet, maintenant nous allons décrire dans le chapitre qui suit, les notions de l'internet des objets (IoT) et de l'intelligence artificielle (IA).

# Chapitre II : Présentation du domaine



L'objectif du présent chapitre est d'élaborer les notions de l'intelligence artificielle (IA) et de l'internet des objets (IoT) et les différents composants basiques de cette architecture.

## **1. L'intelligence Artificielle :**

L'intelligence artificielle est différente de l'intelligence des humains ou des animaux. Alors que l'intelligence artificielle est démontrée par des machines, des ordinateurs, des appareils, l'intelligence humaine implique la conscience et les émotions.

La distinction entre les premières et les dernières catégories est souvent révélée par l'acronyme choisi. L'IA « forte » est généralement appelée intelligence artificielle générale (AGI), tandis que les tentatives d'émuler l'intelligence « naturelle » ont été appelées intelligence biologique artificielle (ABI). Les principaux manuels d'IA définissent le domaine comme l'étude des « agents intelligents » : tout appareil qui perçoit son environnement et prend des mesures qui maximisent ses chances d'atteindre ses objectifs. Familièrement, le terme « intelligence artificielle » est souvent utilisé pour décrire des machines qui imitent les fonctions « cognitives » que les humains associent à l'esprit humain, telles que « l'apprentissage » et la « résolution de problèmes ».

Les capacités d'intelligence artificielle occupent aujourd'hui de nombreux domaines et rivalisent avec les gens côte à côte : compétition au plus haut niveau dans les systèmes de jeu stratégiques (échecs et Go), mais aussi des jeux avec des informations imparfaites (jeux de cartes, poker, Snake), compréhension réussie de la parole humaine, simulation militaire, mais aussi voitures en conduite autonome.

À mesure que les machines deviennent de plus en plus capables, les tâches considérées comme nécessitant une « intelligence » sont souvent supprimées de la définition de l'IA, un phénomène connu sous le nom d'effet de l'IA. Une boutade dans le théorème de Tesler dit « L'IA est tout ce qui n'a pas encore été fait ». Par exemple, la reconnaissance optique de caractères est fréquemment exclue des choses considérées comme de l'IA, étant devenue une technologie de routine.

Les problèmes (ou objectifs) traditionnels de la recherche en IA incluent le raisonnement, la représentation des connaissances, la planification, l'apprentissage, le traitement du langage naturel, la perception et la capacité de déplacer et de manipuler des objets. L'AGI fait partie des objectifs à long terme du domaine. Les approches comprennent des méthodes statistiques, l'intelligence informatique et l'IA symbolique traditionnelle. De nombreux outils sont utilisés dans l'IA, notamment des versions de recherche et d'optimisation mathématique, des réseaux de neurones artificiels et des méthodes basées sur les statistiques, les probabilités et l'économie. Le domaine de l'IA s'appuie sur l'informatique, l'ingénierie de l'information, les mathématiques, la psychologie, la linguistique, la philosophie et de nombreux autres domaines.

Au XX<sup>e</sup> siècle, les techniques d'IA ont connu une résurgence à la suite d'avancées simultanées en matière de puissance informatique, de grandes quantités de données et de compréhension théorique ; et les techniques d'IA sont devenues un élément essentiel de l'industrie technologique, aidant à résoudre de nombreux problèmes difficiles en informatique, en génie logiciel et en recherche opérationnelle. [1]

### **1.1 Avantages et inconvénients :**

C'est la science et l'ingénierie de la fabrication de machines intelligentes qui le rendent important.

Avec la simulation de l'intelligence humaine, les processus par les machines, notamment les systèmes informatiques, incluent l'apprentissage de l'acquisition d'informations et de règles d'utilisation.

Le raisonnement utilise des règles pour parvenir à des conclusions approximatives ou définitives et à une autocorrection.

Il ne fait aucun doute que la technologie est un élément essentiel du développement et de la croissance de l'homme. Une ligne fine ou une erreur entraîne une perturbation ou une destruction.

## **1.2 Avantages de l'intelligence artificielle :**

### **➤ L'intelligence artificielle trie les données :**

Un flux d'actualité sur Facebook, un algorithme prédictif sur le prix des billets d'avion, des recommandations sur Netflix ou Amazon... tous ces exemples sont issus de la puissance de l'IA. Parce qu'elle peut absorber d'immenses quantités de données, l'IA permet d'organiser, de trier, et de donner du sens à ces informations selon des formules particulières qui sont défendues par les GAFAM comme des secrets industriels.

Sans IA, il serait impossible d'arriver à un tel niveau de personnalisation sur tout type de système. Elle travaille jour et nuit pour se nourrir de données et affiner son fonctionnement. Plus elle engloutit des données, plus elle devient performante, et plus les algorithmes peuvent évoluer pour devenir efficaces.

### **➤ L'intelligence artificielle facilite la communication :**

L'IA interconnecte des programmes et machines. Elle joue un rôle essentiel en matière de domotique et d'IoT par exemple. Elle est utilisée dans la communication machine-to-machine pour comprendre notre mode de travail et nos comportements, et tenter de s'y adapter. L'intelligence artificielle sert aussi à la commande vocale et aux assistants virtuels (bien qu'ils soient encore très imparfaits, mais ils s'améliorent régulièrement et ont le mérite de bien fonctionner pour des tâches précises).

### **➤ L'intelligence artificielle sauve des vies :**

Dans le domaine médical, l'IA est de plus en plus utilisée à des fins d'analyse. Ainsi, elle est désormais capable de passer en revue et d'analyser avec précision des imageries médicales afin de détecter d'éventuelles tumeurs.

Son taux de détection est proche de celui des médecins et surtout, elle travaille en continu, 24 heures par jour.

L'IA peut aussi servir pour optimiser et affiner les prévisions météorologiques, en particulier dans le cas d'événements climatiques intenses avec une forte intensité locale (tornade, tempête, inondation, etc.).

En calculant des modèles de prédictions et en affinant son travail en continu, elle est une aide importante pour prendre les bonnes décisions au bon moment.

Enfin, l'intelligence artificielle peut aussi faciliter le travail de la police et des pompiers pour cartographier les interventions, identifier les zones à risques pour renforcer les patrouilles, et mieux gérer les parcours des véhicules d'urgence en temps réel selon la circulation, les conditions météo, etc.

➤ **L'intelligence artificielle digitalise notre écosystème :**

On utilise l'IA dans presque tous les domaines. L'agriculture devient connectée pour intervenir uniquement au bon moment afin de limiter l'utilisation de produits phytosanitaires, et récolter les céréales, les fruits ou les légumes au meilleur moment. Elle peut aussi, grâce à des capteurs implantés dans le sol, gérer l'irrigation de manière intelligente et autonome pour délivrer la juste quantité d'eau quand il le faut.

En matière d'urbanisme, la Smart City se construit aussi grâce à l'intelligence artificielle. Cette dernière récupère de multiples données afin de connecter les bâtiments, les rues, les espaces publics, etc. Le résultat : une meilleure organisation basée sur la donnée, des économies d'énergie et un meilleur usage des budgets.

En matière de transport, l'IA est présente dans la voiture autonome. Cette dernière peut se passer plus ou moins temporairement d'un conducteur humain pour arriver à bon port. À terme, lorsque l'IA pilotera les voitures dans un cadre sécurisé, c'est l'assurance d'un trafic routier plus sûr et plus fluide.

Enfin, dans le monde des affaires, l'intelligence artificielle est utilisée pour automatiser la relation commerciale (lead scoring, automatisation...), le service support (chatbot, assistant virtuel...) et la gestion financière (envoi des factures, gestion automatique des impayés...).

➤ **L'intelligence artificielle est plus inclusive :**

L'IA ne juge pas et permet à des personnes en situation de handicap d'interagir avec leur environnement.

Elle est ouverte à tous, ouvre de nouvelles perspectives en matière de communication. C'est ainsi que des personnes à mobilité réduite peuvent communiquer par la voix avec un ordinateur ou un smartphone. Elle sert aussi à transcrire des contenus textuels en audio (ou vice-versa).

À terme, elle pourrait même traduire automatiquement des contenus entre deux langues étrangères, avec une qualité proche ou égale à celle d'un traducteur humain.

L'intelligence artificielle est un domaine qui ouvre de nombreuses portes. Que ce soit au niveau de la conception, avec des emplois davantage tournés vers la technique, ou vers la gestion de projet, travailler avec et pour l'IA est un défi passionnant, car c'est la technologie du futur qui va progressivement s'implanter dans notre quotidien.[1]

### **1.3 Inconvénients de l'intelligence artificielle :**

➤ **Un coût élevé :**

La création d'une intelligence artificielle nécessite des coûts énormes car ce sont des machines très complexes. Leur réparation et leur entretien impliquent des coûts importants également.

Ils ont des logiciels qui nécessitent une mise à niveau fréquente pour répondre aux besoins de l'environnement changeant et à la nécessité que les machines soient plus intelligentes chaque jour.

En cas de panne grave, la procédure de récupération des codes perdus et de réinstallation du système peut nécessiter beaucoup de temps et d'argent.

➤ **Aucune initiative :**

Les machines n'ont pas d'émotions et de valeurs morales. Ils exécutent ce qui est programmé et ne peuvent pas juger ce qui est juste ou faux. Même ne peuvent pas prendre de décisions s'ils rencontrent une situation qui leur est inconnue. Ils ne fonctionnent pas correctement ou tombent en panne dans de telles situations.

➤ **Aucune amélioration avec l'expérience :**

Contrairement aux humains, l'intelligence artificielle ne peut être améliorée avec l'expérience. Avec le temps, cela peut conduire à l'usure. Il stocke beaucoup de données, mais la manière dont on peut y accéder et les utiliser est très différente de l'intelligence humaine.

Les machines ne peuvent pas modifier leurs réponses aux environnements changeants. Nous sommes constamment bombardés par la question de savoir s'il est vraiment stimulant de remplacer les humains par des machines. Dans le monde de l'intelligence artificielle, rien de tel que de travailler avec tout son cœur ou avec passion.

Les soins ou les préoccupations ne sont pas présents dans le dictionnaire de l'intelligence machine. Il n'y a pas de sentiment d'appartenance, de camaraderie ou de contact humain. Ils ne parviennent pas à faire la distinction entre un individu travailleur et un individu inefficace.

➤ **Pas de créativité :**

Voulez-vous la créativité ou l'imagination ?

Ce ne sont pas la force de l'intelligence artificielle. Bien qu'ils puissent vous aider à concevoir et à créer, ils ne sont pas à la hauteur du pouvoir de penser que possède le cerveau humain ni même de l'originalité d'un esprit créatif.

Les êtres humains sont des intellectuels extrêmement sensibles et émotionnels. Ils voient, entendent, pensent et ressentent. Leurs pensées sont guidées par les sentiments qui manquent complètement dans les machines. Les capacités intuitives inhérentes au cerveau humain ne peuvent pas être reproduites.

➤ **Le chômage :**

Celui-ci est le plus risqué et peut avoir des effets graves. Avec les technologies à forte intensité de capital, les besoins à forte intensité humaine ont diminué dans certaines industries. Si à l'avenir, les êtres humains n'ajoutent pas à leurs compétences, alors en un rien de temps, nous pouvons voir qu'ils seront remplacés par des machines.

Le problème majeur de la stagnation ou de la croissance du PIB au rythme attendu est le chômage. Les gens ne possèdent pas les compétences requises qui sont demandées. Il y a un énorme écart entre la demande et l'offre à cause de cela.[2]

## 2. Internet des Objets (IoT) :

L'Internet of Things (IoT) décrit le réseau de terminaux physiques, les « objets », qui intègrent des capteurs, des logiciels et d'autres technologies en vue de se connecter à d'autres terminaux et systèmes sur Internet et d'échanger des données avec eux. Ces terminaux peuvent aussi bien être de simples appareils domestiques que des outils industriels d'une grande complexité.

### 2.1 Les trois couches d'un modèle IoT :

Le concept de l'Internet des objets a été l'objet des recherches depuis plus d'une décennie, mais même si, encore de nombreux aspects ne sont pas clairement définis. Par exemple, aujourd'hui il n'y a pas une architecture standardisée et spécifique pour l'IoT. Malgré ce manque de compatibilité, il y a une architecture à trois couches (figure 2) bien connu qui est généralement accepté, ces couches sont : la couche de perception, la couche réseau et la couche d'application.

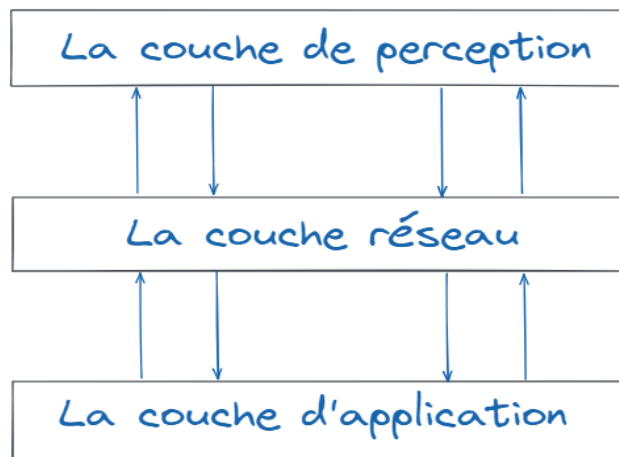


Figure 2.1 : Les trois couches d'un modèle IoT

#### 2.1.1 La couche de perception :

Le rôle principal de la couche de perception est de reconnaître les propriétés physiques telles que la température, l'humidité, le niveau de la lumière, la vitesse, etc., par divers dispositifs de détection, et de convertir ces informations en signaux numériques. Les objets de cette couche peuvent avoir des capacités de détection et/ou des capacités d'actionnement.

### 2.1.2 La couche réseau :

La couche réseau est la couche responsable de la transmission des données reçues de la couche de perception à une base de données, serveur, ou d'un centre de traitement. Les principales technologies utilisées pour réaliser cette couche sont : les technologies cellulaires 2G / 3G / LTE, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee ou Ethernet, et avec ces différentes technologies on peut donc faire le traitement de plusieurs objets qui seront connectés à l'avenir.

L'internet des objets sera un énorme réseau qui relie non seulement une multitude d'objets, mais englobe également des réseaux hétérogènes.

### 2.1.3 La couche d'application :

La couche application analyse les informations reçues de la couche réseau. Cette couche fournit des applications pour toutes sortes de défis technologiques. Ces applications favorisent l'Internet des objets, ce qui explique pourquoi cette couche joue un rôle important dans la propagation de l'IoT.

## 2.2 Les composants d'un modèle IoT :

Tous les composants nécessaires à la conception d'un modèle d'essai IoT sont classés ci-dessous sur la base du modèle à trois couches.

#### ➤ La couche de perception se compose de :

- **Les capteurs** : détectent les propriétés physiques et convertissent ces propriétés en signaux numériques
- **Les actionneurs** : reçoivent des commandes pour effectuer des actions à des moments spécifiques.
- **End-devices** : sont de petites cartes avec un microcontrôleur intégré utilisé pour fournir des capacités de traitement et de communication pour les capteurs et les actionneurs.

#### ➤ La couche réseau se compose de :

- **Les protocoles de communication** : utilisés pour les end-devices.
- **Station de base (Gateway)** : pour contrôler le passage des informations entre les end-devices et l'internet.



➤ **La d'application comprend :**

- **Les plateformes IoT Cloud :** sont des bases de données virtuelles en ligne qui stockent les informations de l'End-device et donne la visualisation de ces informations (tableaux, graphiques) pour les utilisateurs finaux.
- **L'application Software :** pour les Smartphones, tablettes, ordinateurs de bureau qui fournissent des interfaces graphiques (GUI) pour la surveillance et le contrôle des end-devices. [9]

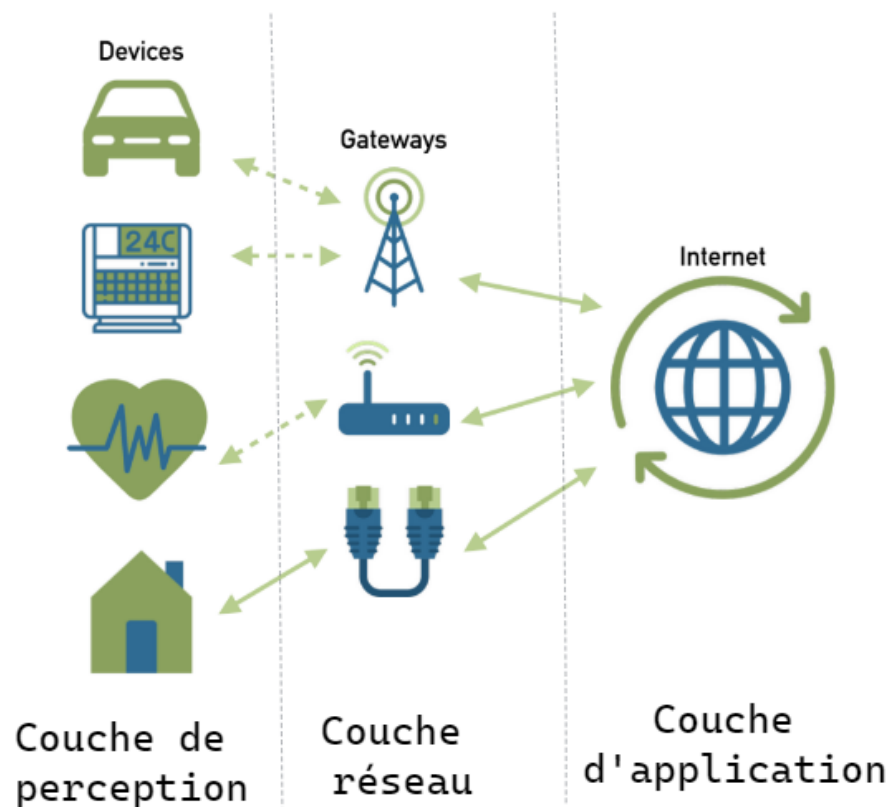


Figure 2.2 : Les composants d'un modèle IoT

## 2.3 Les avantages et les inconvénients de l'IoT :

### 2.3.1 Avantages de l'IoT :

Pour les industries, l'IoT représente un virage technologique qui facilite l'automatisation pour un internet industriel prédictif. C'est ainsi que l'IoT...

- Améliore votre efficacité grâce à la prise de décisions plus intelligentes et plus éclairées.
- Réduit vos coûts de maintenance en remplaçant les maintenances inutiles par une maintenance prédictive plus efficace et personnalisée.
- Optimise vos processus avec une meilleure communication et un contrôle des opérations à distance pour identifier les risques, les sources de gaspillage et les éventuels goulots d'étranglement.
- Limite vos coûts d'inventaire avec une gestion des stocks automatisée qui réduit les erreurs humaines et facilite les opérations de logistique.
- Anticipe vos interventions de maintenance sur votre chaîne de production et réduit fortement les risques de pannes subites.
- Contrôle l'efficacité et la productivité de votre équipement.

### **2.3.2 Inconvénients de l'IoT :**

Chaque technologie doit aussi composer avec certains inconvénients ou nouveaux défis qu'il est important de connaître. Pour l'IoT, le principal sujet tourne autour des enjeux liés à la sécurité des données et aux enjeux des cyberattaques. En effet, à partir du moment où un équipement est connecté, il peut être la source d'une attaque par des pirates informatiques.

Il est donc essentiel de mettre en place des protocoles de sécurité très stricts pour éviter qu'un individu malveillant n'accède à des données hautement sensibles sur le fonctionnement de votre site industriel. Sécurité, sauvegarde, audit et contrôle régulier constituent alors votre meilleur rempart.

L'intégration de l'IoT dans les entreprises industrielles peut transformer une entreprise de l'intérieur. En prenant des décisions basées sur des données fiables et collectées régulièrement, vous pouvez ainsi gagner un temps précieux pour ajuster, optimiser et réorganiser votre ligne de production ou vos équipements et mieux gérer votre maintenance.

# Chapitre III : L'état de l'art

Les systèmes d'irrigation ont commencé avec une poulie et un treuil ; petit à petit de nouvelles technologies et méthodes ont été inventées et mises en œuvre.

A travers ce chapitre, nous avons vous exposé, en premier lieu, les dernières découvertes existantes sur le marché en ce qui concerne l'irrigation et nous avons étudié les avantages et les inconvénients de chacune.

Puis nous avons vous indiqué, à travers un tableau comparatif, les points forts de notre système d'irrigation intelligent par rapport à ceux indiqués déjà dans la première section.

## **1. Les nouvelles technologies d'irrigations existantes sur le marché**

Dans cette section, nous s'intéresserons à la description de quelques technologies existantes dans le marché tout en indiquant leurs avantages et inconvénients.

### **1.1 Système d'arrosage automatique Irrigation goutte à goutte :**

Un système d'arrosage automatique vous permet d'arroser les plantes par irrigation goutte à goutte. Un dispositif d'irrigation goutte à goutte qui peut aider à gagner du temps. Il suffit de définir manuellement l'heure à laquelle on souhaite que l'appareil arrose les plantes.



Figure 3.1 : Le système d'arrosage automatique irrigation goutte à gouttes

### **+ Avantages :**

- Il peut arroser 10 pots en même temps
- Facile à configurer. Il fournit de l'eau directement à la racine des plantes en pot
- Il peut arroser les plantes même si vous n'êtes pas chez vous.

### **- Inconvénients :**

- Cet appareil fonctionne seulement avec des piles. Il est difficile donc de déterminer quand il est nécessaire de les remplacer tout en sachant que la pile se décharge plus au moins vite.
- Il ne dispose aucun indicateur pour vous aider à distinguer si l'appareil fonctionne ou non.
- Prix plus au moins élevé ; cet appareil coûte environ 70 dollars tous frais inclus.
- Impossible de contrôler ce produit à distance ; Il fonctionne en tant que minuteur.
- Ce produit ne contient pas un capteur d'humidité du sol d'où l'impossibilité de surveiller la quantité de l'eau qu'il contient. L'utilisateur par conséquent n'est plus capable de déterminer le bon moment pour l'irrigation.

## **1.2 Outil de jardin pour système d'arrosage automatique des plantes :**

Désormais, vous n'avez plus besoin d'arroser vos plantes vous-même avec ce système d'arrosage automatique des plantes. Vous pouvez simplement laisser les plantes seules.

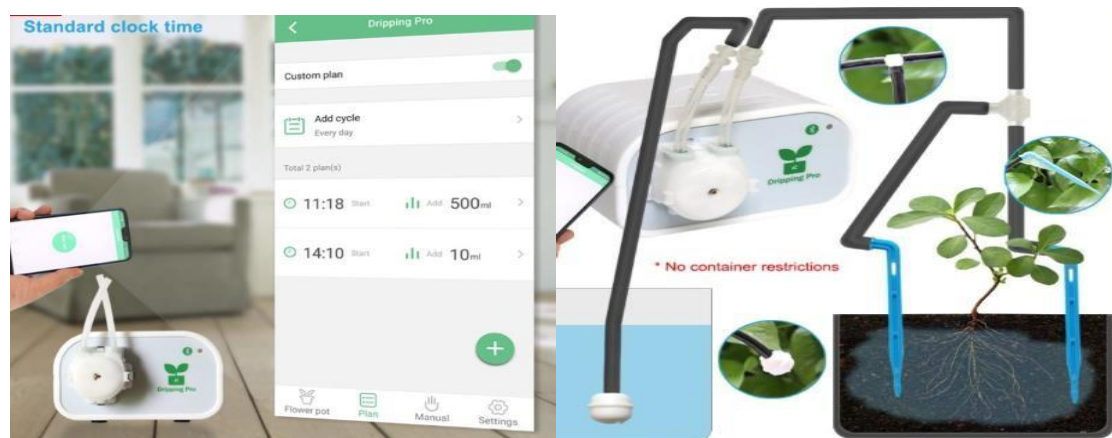


Figure 3.2 : Capture d'écran du système d'arrosage automatique des plantes

### **+ Avantages :**

- Facile à utiliser.
- Il peut être contrôlé via une application téléphonique. De cette façon, vous n'avez plus besoin d'aller les arroser vous-même.
- Il dispose également d'un indicateur lumineux pour vous aider à voir facilement si l'appareil fonctionne ou non.

### **- Inconvénients :**

- Prix plus au moins élevé ; cet appareil coûte environ 102 dollars tous frais inclus
- L'application mobile n'est pas connectée au wifi, elle fonctionne via Bluetooth d'où l'impossibilité de contrôler cet outil à une distance supérieure à 30 mètres.
- Il ne contient pas un capteur d'humidité du sol.

### **1.3 GARDENA smart Irrigation Control :**

Le Programmeur Smart Irrigation Control est un accessoire utilisable pour toutes les personnes qui souhaitent gagner du temps sur l'entretien de leurs espaces extérieurs, et ce peu importe leurs tailles et les besoins en eau. Il permet une programmation de l'arrosage de plusieurs zones aux besoins différents en eau du jardin via l'application smart App.



Figure 3.3 : Capture d'écran de GARDENA smart irrigation control

### **Avantages :**

- Utilisation de sources d'eau alternative.
- Capteur d'alimentation en eau adapté à vos besoins.
- Grâce à l'application smart GARDENA gratuite sur iOS, Android et web vous pouvez connaître l'état de tous vos appareils connectés à tout moment, même en étant en vacances ou en déplacement à l'autre bout du monde (application connectée au wifi)

































### **Inconvénients :**

- Ce produit est idéal pour une utilisation en extérieur. Il ne convient pas à l'intérieur.
- Prix élevé (environ 300 dollars)
- Installation compliquée
- Il ne contient pas un capteur d'humidité du sol.

## **2. Les nouvelles technologies d'irrigations existantes sur le marché :**

En analysant les produits mentionnés dans la section précédente, nous avons remarqué que chaque outil d'irrigation présente des imperfections. Toutes ces imperfections sont prises en considération lors de l'établissement de ce modeste travail.

Les différents apports de notre projet sont présentés brièvement dans le tableau présenté ci-dessous : (Tableau 3.1 : Tableau de comparaison des produits qui existent sur le marché)

	Smart Farm	Système d'arrosage goutte à goutte	système d'arrosage automatique des plantes	GARDENA smart Irrigation Control
				
Contrôlable via une application liée au wifi				
Contient un capteur d'humidité du sol				
Collecter, visualiser et analyser les données en temps réel à travers des graphiques.				
Prédire la chute du d'humidité du sol grâce à la régression linéaire				
Anticiper les besoins des plantes en eau				
Recevoir des alertes lorsque le taux d'humidité atteint une certaine valeur				
Stockage des données collectées sur le cloud				



# Chapitre IV : Les composants de base du projet

Dans le présent chapitre on va décrire les composants nécessaires pour la réalisation d'un prototype, les caractéristiques et les spécifications de ces composants et les architectures internes.

## 1. Carte ESP8266 :

L'ESP8266 (figure 4.1) est un circuit intégré à microcontrôleur avec connexion Wi-Fi développé par le fabricant chinois Espressif.[3]

C'est un module qui sert à faire la liaison avec un réseau Wi-Fi disponible. C'est une puce qui contient un microcontrôleur interne qui donne l'accès sans fil aux réseaux, avec d'autres options plus développées. Plus précisément, l'ESP8266 est un système-sur-puce (Soc) qui fonctionne dans la bande des fréquences de 2,4 GHz, ce module utilise le protocole de communication WIFI 802.11 b/g/n, qui permet au microcontrôleur interne de se connecter à un réseau Wi-Fi et de faire des connexions TCP / IP simples, ou d'être détectable par d'autres périphériques qui utilisent le même protocole WIFI.

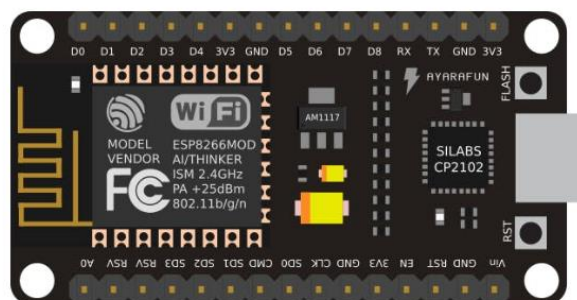


Figure 4.1: Carte ESP8266

### 1.1 Caractéristiques de la carte ESP8266 :

- Protocole de communication 802.11 b/g/n
- Microcontrôleur : 32 bits (avec une basse consommation intégrée)
- Une entrée analogique 10-bits.
- Commutateur TR intégré, balun, LNA, amplificateur de puissance et réseau correspondant.
- PLL, régulateurs et unités de gestion de l'alimentation intégrés.
- Prend en charge plusieurs types d'antennes



### 1.3 Définition des Pins :

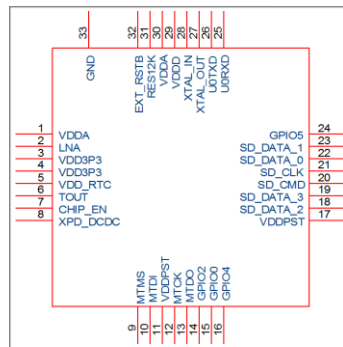


Figure 4.3: Affectation des pins

Pi n	Name	Type	Function
1	VDDA	P	Analog Power 3.0 ~3.6V
2	LNA	I/O	RF Antenna Interface. Chip Output Impedance=50Ω No matching required but we recommend that the $\pi$ -type matching network is retained.
3	VDD3P3	P	Amplifier Power 3.0~3.6V
4	VDD3P3	P	Amplifier Power 3.0~3.6V
5	VDD_RT C	P	NC (1.1V)
6	TOUT	I	ADC Pin (note: an internal pin of the chip) can be used to check the power voltage of VDD3P3 (Pin 3 and Pin4) or the input voltage of TOUT (Pin 6). These two functions cannot be used simultaneously.
7	CHIP_E N	I	Chip Enable. High: On, chip works properly; Low: Off, small current
8	XPD_DC DC	I/O	Deep-Sleep Wakeup; GPIO16
9	MTMS	I/O	GPIO14; HSPI_CLK
10	MTDI	I/O	GPIO12; HSPI_MISO
11	VDDPST	P	Digital/IO Power Supply (1.8V~3.3V)
12	MTCK	I/O	GPIO13; HSPI_MOSI; UART0_CTS
13	MTDO	I/O	GPIO15; HSPI_CS; UART0_RTS
14	GPIO2	I/O	UART Tx during flash programming; GPIO2
15	GPIO0	I/O	GPIO0; SPI_CS2
16	GPIO4	I/O	GPIO4
17	VDDPST	P	Digital/IO Power Supply (1.8V~3.3V)
18	SDIO_D ATA_2	I/O	Connect to SD_D2 (Series R: 200Ω); SPIHD; HSPIHD; GPIO9
19	SDIO_D ATA_3	I/O	Connect to SD_D3 (Series R: 200Ω); SPIWP; HSPIWP; GPIO10
20	SDIO_C	I/O	Connect to SD_CMD (Series R: 200Ω); SPI_CS0; GPIO11

	MD		
21	SDIO_CLK	I/O	Connect to SD_CLK (Series R: 200Ω); SPI_CLK; GPIO6
22	SDIO_DATA_0	I/O	Connect to SD_D0 (Series R: 200Ω); SPI_MISO; GPIO7
23	SDIO_DATA_1	I/O	Connect to SD_D1 (Series R: 200Ω); SPI_MOSI; GPIO8
24	GPIO5	I/O	GPIO5
25	U0RXD	I/O	UART Rx during flash programming; GPIO3
26	U0TXD	I/O	UART Tx during flash programming; GPIO1; SPI_CS1
27	XTAL_OUT	I/O	Connect to crystal oscillator output, can be used to provide BT clock input
28	XTAL_IN	I/O	Connect to crystal oscillator input
29	VDDD	P	Analog Power 3.0V~3.6V
30	VDDA	P	Analog Power 3.0V~3.6V
31	RES12K	I	Serial connection with a 12 kΩ resistor and connect to the ground
32	EXT_RSTB	I	External reset signal (Low voltage level: Active)

Tableau 4.1 : Définition des Pins

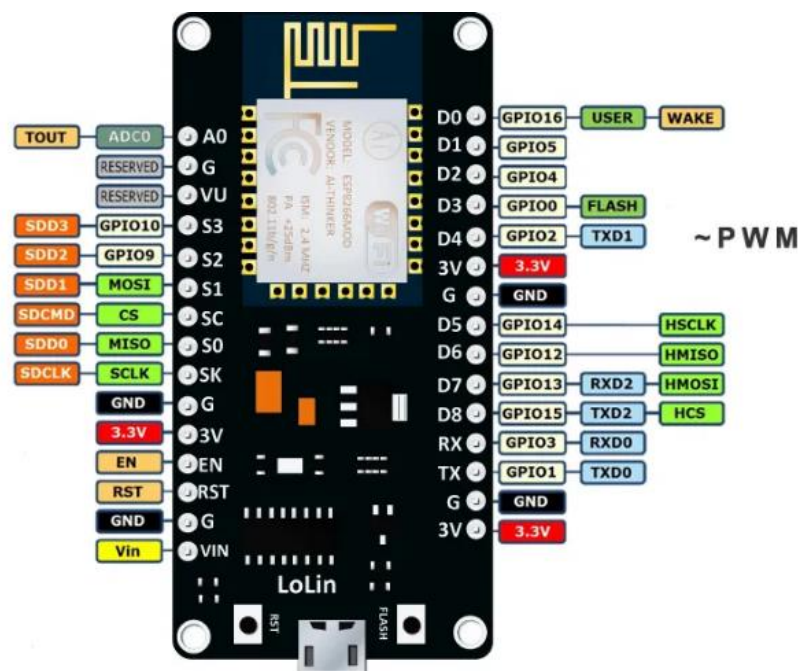


Figure 4.4: ESP8266 pinout

## **2. Capteur d'humidité capacitif V1.2 :**

Ce capteur capacitif analogique d'humidité du sol mesure les niveaux d'humidité du sol par détection capacitive, plutôt que par détection résistive comme les autres types de capteurs d'humidité.

Il est fait d'un matériau résistant à la corrosion, ce qui lui confère une longue durée de vie.

Ce module comprend un régulateur de tension qui permet un fonctionnement de 3,3 ~ 5,5V.



Figure 4.5 : Capteur capacitif d'humidité du sol V1.2

### **2.1. Caractéristiques du capteur :**

Sortie analogique

Tension de fonctionnement : DC 3.3-5.5V

Tension de sortie : DC 0-3.0V DC

Interface : PH2.0-3P

Taille : 99x16mm/3.9x0.63".

### **2.2. Principe de fonctionnement :**

C'est un capteur de type polymère capacitif à couche mince consistant en un substrat sur lequel une mince couche de polymère est déposée entre deux électrodes conductrices.

La surface de détection est enduite d'une électrode métallique poreuse pour la protéger contre la contamination et l'exposition à la condensation. Ce substrat est généralement en verre ou en céramique.

Le polymère à couche mince absorbe ou dégage de la vapeur d'eau selon que l'humidité relative de l'air ambiant croît ou décroît.

Les propriétés diélectriques du film polymère varient en fonction de la quantité de vapeur absorbée. Lorsque l'humidité relative autour du capteur varie, les propriétés diélectriques du film polymère changent, de même que la capacité du capteur.

L'électronique dans l'instrument mesure la capacitance du capteur et la convertit en une valeur d'humidité.

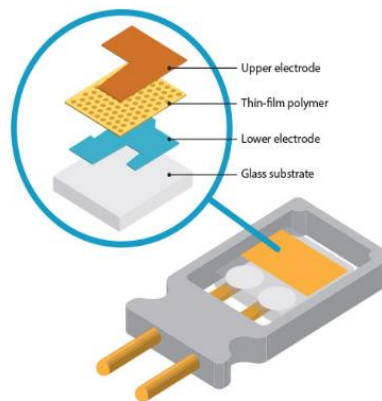


Figure 4.6: Architecture interne du capteur d'humidité

### 2.3. Montage carte ESP8266 / Capteur :

Le but de cette partie est de brancher le capteur d'humidité à la carte.

Pour se faire, j'ai utilisé les pins suivants :

- A0 : c'est une broche ADC qui peut être utilisée pour vérifier la tension d'entrée du pin A0 (en jaune)
- 3V : tension d'alimentation du capteur (en rouge)
- Gnd : le fil de terre (en noir)

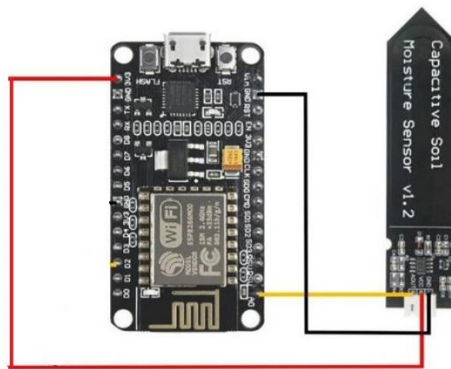


Figure 4.7: Montage carte/capteur

### 3. Prédiction de l'humidité en tant que micro-service :

Dans cette section on va mettre l'accent sur la partie responsable aux collectes, envoi et stockage des données dans le cloud et la prédiction du taux d'humidité tout en détaillant les outils utilisés.

#### 3.1. Transfert et stockage des données :

Après avoir branché notre capteur à la carte ESP8266, le programmer et l'installer au sol à côté des racines de notre plantes, nous procédons à envoyer les données captées par le capteur vers la « Azure function » et ensuite les stocker dans le « Blob Storage » afin de les utiliser plus tard dans la prédiction du taux d'humidité du sol.

Donc pour atteindre nos buts désirés, nous avons utilisé les outils suivants :

- « Microsoft Azure Functions »
- Le « Blob Storage »
- Le protocole http

##### 3.1.1. Les « Microsoft Azure Functions » :

Azure Functions est le service d'informatique sans serveur hébergé sur le cloud public Microsoft Azure. Azure Functions, comme l'informatique sans serveur en général, vise à accélérer et à simplifier le développement applicatif.



Dans le développement traditionnel des applications, il faut tenir compte de l'infrastructure informatique sous-jacente. En cas de cloud computing, une équipe informatique doit créer, surveiller et payer des instances de cloud computing, quelle que soit l'activité qu'elles fournissent réellement pour l'entreprise.

Avec l'informatique sans serveur, également connue sous le nom de Function as a Service (FaaS), l'idée est de libérer l'utilisateur de toutes ces considérations d'infrastructure.

En mode sans serveur, il est possible de créer et de télécharger tout simplement du code, puis de définir les déclencheurs ou les événements qui l'exécuteront.

Les déclencheurs (HTTP triggers) peuvent provenir de diverses sources, par exemple l'application d'un autre utilisateur ou d'autres services cloud, tels que des bases de données et des plateformes d'événements et de notifications.

Lorsqu'un déclencheur ou un événement se produit, c'est au fournisseur cloud de charger le code dans un environnement d'exécution adapté, d'exécuter le code, puis de débloquer les ressources de traitement. Les serveurs sont toujours nécessaires, mais l'utilisateur n'a plus à provisionner ni à gérer les instances de calcul.

#### **3.1.1.1.Utilisations d'Azure Functions**

Les fonctions de l'informatique sans serveur ne proposent en général que quelques fonctionnalités et non les applications en entier. Elles gèrent plutôt des tâches spécifiques et de courte durée, et sous-entendent souvent une certaine forme de traitement des données, comme le traitement d'images ou de commandes, la maintenance de fichiers ou la collecte de données sur des périphériques de l'Internet des objets.

Les utilisateurs peuvent également enchaîner les fonctions ou les associer entre elles, pour créer des API (application program interfaces) et des applications à base de microservices plus complètes.

### **3.1.1.2.Développement de code pour Azure Functions :**

Avec Azure Functions, les entreprises n'ont plus à provisionner, à gérer ni à payer des ressources à long-terme dans le cloud. Elles peuvent ainsi se consacrer pleinement au développement de code. De nombreuses fonctions d'Azure Functions sont intéressantes pour les développeurs.

Azure Functions prend en charge les fonctions développées en C#, F#, Node.js, Python, PHP, batch, bash, et tous les formats de fichiers exécutables.

Les développeurs peuvent coder Azure Functions directement sur le portail Azure, mais peuvent aussi procéder à une intégration continue et déployer le code via GitHub, Microsoft Visual Studio Team Services et d'autres outils de développement. [5]

#### **Appel des « Azure functions » :**

Les fonctions Azure peuvent être appelées lorsqu'elles sont déclenchées par les événements d'autres services. Étant pilotée par les événements, la plate-forme d'application a des capacités pour implémenter du code déclenché par des événements se produisant dans n'importe quel service tiers ou système sur site.

#### **Les différents types de « triggers » (déclencheurs) :**

- **HTTP Trigger : déclenche l'exécution du code en utilisant une requête HTTP.**  
(Celle qu'on a utilisée pour déclencher toutes les fonctions Azure de notre projet)
- **Timer Trigger :** Exécutez le nettoyage ou d'autres tâches par lots selon un calendrier prédéfini.
- **Cosmos DB Trigger :** Traiter les documents Azure Cosmos DB lorsqu'ils sont ajoutés ou mis à jour dans des collections dans une base de données NoSQL.
- **Blob Trigger:** Traitez les objets blob Azure Storage lorsqu'ils sont ajoutés aux conteneurs. On peut par exemple utiliser cette fonction pour redimensionner l'image.
- **Queue Trigger :** Répondre aux messages à mesure qu'ils arrivent dans une file d'attente Azure Storage.

- Event Grid Trigger : Répondez aux événements livrés à un abonnement dans Azure Event Grid. Prend en charge un modèle basé sur un abonnement pour la réception d'événements, qui inclut le filtrage. Une bonne solution pour construire des architectures basées sur les événements.
- Event Hub Trigger : répondre aux événements livrés à un Azure Event Hub. Particulièrement utile dans l'instrumentation des applications, l'expérience utilisateur ou le traitement des flux de travail, et les scénarios de l'Internet des objets (IoT).
- Service Bus Queue Trigger : Connectez votre code à d'autres services Azure ou à des services locaux en écoutant les files d'attente de messages.
- Service Bus Topic Trigger : Connectez votre code à d'autres services Azure ou à des services locaux en vous abonnant à des rubriques. [8]

### 3.1.2. Le « Blob Storage » :

Au cours de notre projet on a opté à utiliser le blob Storage afin de stocker les données du capteur pour les utiliser plus tard dans la prédiction du taux d'humidité.

Le « Blob Storage » est une fonctionnalité de Microsoft Azure qui permet aux développeurs de stocker des données non structurées sur la plateforme cloud de Microsoft. Ces données sont accessibles de n'importe où dans le monde et peuvent inclure de l'audio, de la vidéo, du texte et des csv. Les objets blob sont regroupés dans des "containers" liés aux comptes d'utilisateurs.

Le stockage Blob permet à Microsoft Azure de stocker arbitrairement de grandes quantités de données non structurées et de les fournir aux utilisateurs via HTTP et HTTPS.

Les cas d'utilisation de Microsoft incluent la diffusion de vidéo, de fichiers, de texte et d'images en streaming à des utilisateurs distants. Azure permet aux utilisateurs de stocker des objets blob dans des "containers" (voir figure 4.8).

Un blob peut être dédié uniquement à la vidéo tandis qu'un autre peut stocker des fichiers image/texte/csv...etc.

Microsoft définit trois types de blobs : les « block blobs », les « append blobs » et les « page blobs ».

Les « block blobs » prennent en charge jusqu'à 50 000 blocs jusqu'à 4 mégaoctets, avec jusqu'à 195 giga-octets au total. Les « block blobs » sont destinés au texte et à d'autres fichiers binaires. Les « append blobs » prennent en charge les opérations d'ajout et sont conçus pour les « log files ». Les « page blobs » sont conçus pour les opérations de lecture/écriture fréquentes. [6]

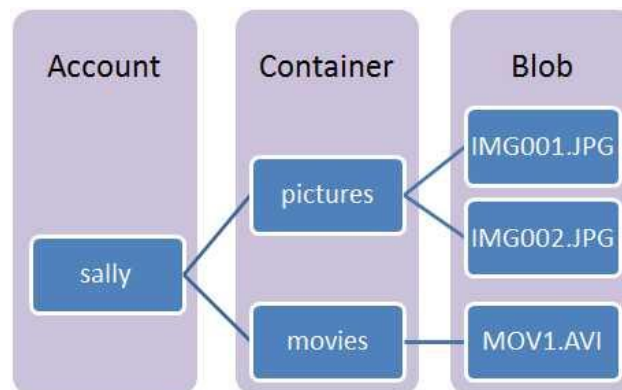


Figure 4.8 : Structure du Blob Storage

### 3.1.3. Le protocole HTTP :

Le protocole HTTP (HyperText Transfer Protocol) est le protocole le plus utilisé sur Internet depuis 1990. La version 0.9 était uniquement destinée à transférer des données sur Internet (en particulier des pages Web écrites en HTML) La version 1.0 du protocole (la plus utilisée) permet désormais de transférer des messages avec des en-têtes décrivant le contenu du message en utilisant un codage de type MIME.

Le but du protocole HTTP est de permettre un transfert de fichiers (essentiellement au format HTML) localisés grâce à une chaîne de caractères appelée URL entre le client et le serveur Web. [7]

Il existe 5 types de requêtes HTTP :

- GET : Requête de la ressource située à l'URL spécifiée
- HEAD : Requête de l'en-tête de la ressource située à l'URL spécifiée
- POST : Envoi de données au programme situé à l'URL spécifiée
- PUT : Envoi de données à l'URL spécifiée
- DELETE : Suppression de la ressource située à l'URL spécifiée

### Schéma représentatif du transfert et du stockage des données du capteur vers le Blob storage:

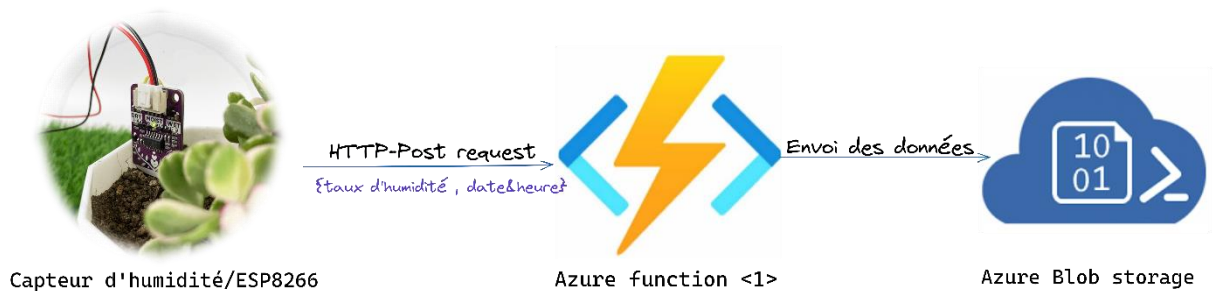


Figure 4.9: Transfert des données du capteur vers le serveur et ensuite vers le blob Storage

### 3.2. La prédiction du taux d'humidité :

Dans cette partie on va s'intéresser à la prédiction du taux d'humidité en utilisant la régression linéaire.

Donc, notre modèle prend comme données d'entrée les données des 10 derniers jours pour prédire la valeur d'humidité des 10 jours qui suivent.

#### 3.2.1. La régression linéaire :

L'analyse de régression linéaire sert à prévoir la valeur d'une variable en fonction de la valeur d'une autre variable. La variable dont vous souhaitez prévoir la valeur est la variable dépendante. La variable que vous utilisez pour prévoir la valeur de l'autre variable est la variable indépendante.

Ce type d'analyse estime les coefficients de l'équation linéaire, impliquant une ou plusieurs variables indépendantes, qui estiment le mieux la valeur de la variable dépendante. La régression linéaire consiste en la détermination d'une droite ou d'une surface qui réduit les écarts entre les valeurs de sortie prévues et réelles.

La régression linéaire simple sert à découvrir la ligne la mieux adaptée pour un ensemble de données appariées. La valeur de X (variable dépendante) est ensuite estimée à partir de Y (variable indépendante).

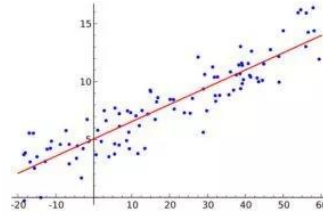


Figure 4.10: Exemple de régression linéaire

La régression linéaire est applicable dans divers programmes et environnements, notamment :

- Régression linéaire R
- Régression linéaire MATLAB
- Régression linéaire de Sklearn
- Régression linéaire Python
- Régression linéaire Excel

### **3.2.2. L'importance de la régression linéaire :**

Les modèles de régression linéaire sont relativement simples. Ils génèrent une formule mathématique facile à interpréter qui peut générer des prévisions. Une régression linéaire peut être appliquée à divers domaines d'études commerciales et universitaires.

La régression linéaire est utilisée dans de nombreux domaines tels que les sciences biologiques, comportementales, environnementales et sociales ou dans les entreprises. Les modèles de régression linéaire constituent un moyen éprouvé de prévision scientifique et fiable du futur. La régression linéaire étant une procédure statistique établie de longue date, les propriétés de ses modèles sont bien connues et peuvent donc être enseignées très rapidement.

[10]

### **3.2.3. Prédiction du taux d'humidité de la plante en utilisant la régression linéaire :**

Après avoir collecté les données (l'humidité de la plante), le système prend les données des dix derniers jours à partir du Blob Storage et prédit la chute du taux d'humidité du sol des dix jours qui suivent.

On a utilisé une « Azure function 2 » qui a comme rôle de récupérer les données des 10 derniers jours à partir du Blob Storage et qui fait la prédiction avec la régression linéaire.

Pour se faire, on a utilisé la bibliothèque libre de python qui s'appelle « Scikit-learn ».

Scikit-learn est une bibliothèque destinée à l'apprentissage automatique. Elle est développée par de nombreux contributeurs notamment dans le monde académique par des instituts français d'enseignement supérieur et de recherche.

Elle propose dans son Framework de nombreuses bibliothèques d'algorithmes à implémenter, clé en main. Ces bibliothèques sont à disposition notamment des data scientists.

Elle comprend notamment des fonctions pour estimer des « random forests » , des régressions logistiques, des algorithmes de classification, et les machines à vecteurs de support.

Elle est conçue pour s'harmoniser avec d'autres bibliothèques libres Python, notamment NumPy et SciPy. [11]

#### **Rôle de l'Azure function :**

- 2) Prendre les données des dix derniers jours à partir du Blob Storage
- 3) Traiter les données
- 4) Faire la prédiction (régression linéaire)
- 5) Envoyer une notification mail avec la date et l'heure de la prochaine chute du taux d'humidité.
- 6) Envoyer une notification à l'application web avec la date et l'heure de la prochaine chute du taux d'humidité.

### 3.2.3.1. Les étapes de la prédiction :

1) Extraire les données à partir du Blob Storage.

2) Tracer les données :

Ici, on a remarqué que les données se répètent, par exemple pour 25 jours il existe 8 échantillons qui se répètent.

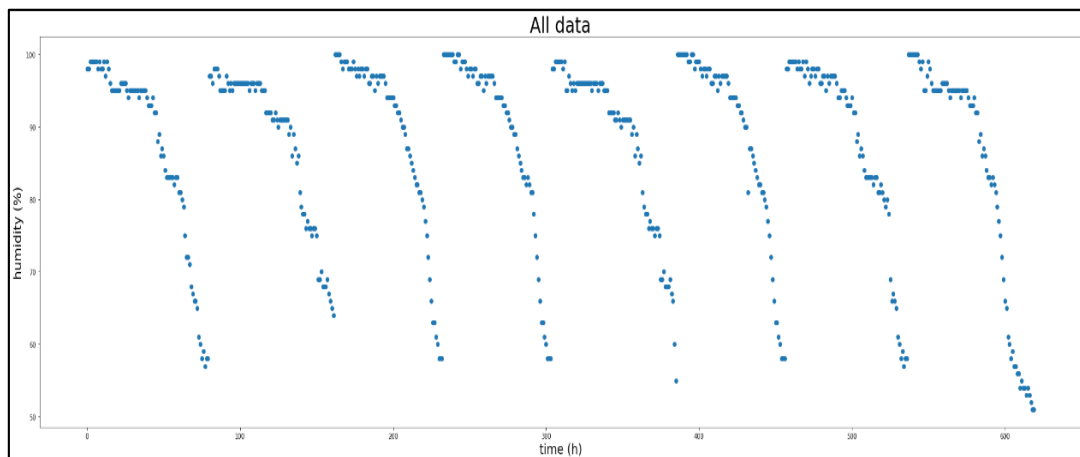


Figure 4.11: Données de 25 jours

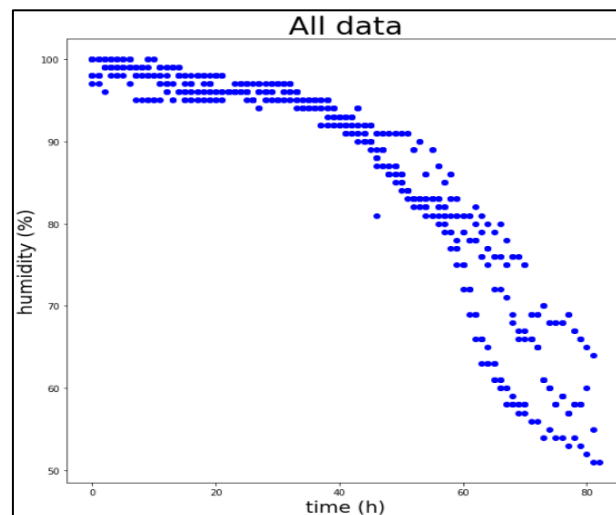


Figure 4.12: Les données superposées



### 3) Entraîner le modèle et explorer les résultats :

Sur la figure ci-dessous, on a tracé les données de test et la droite de la prédiction.

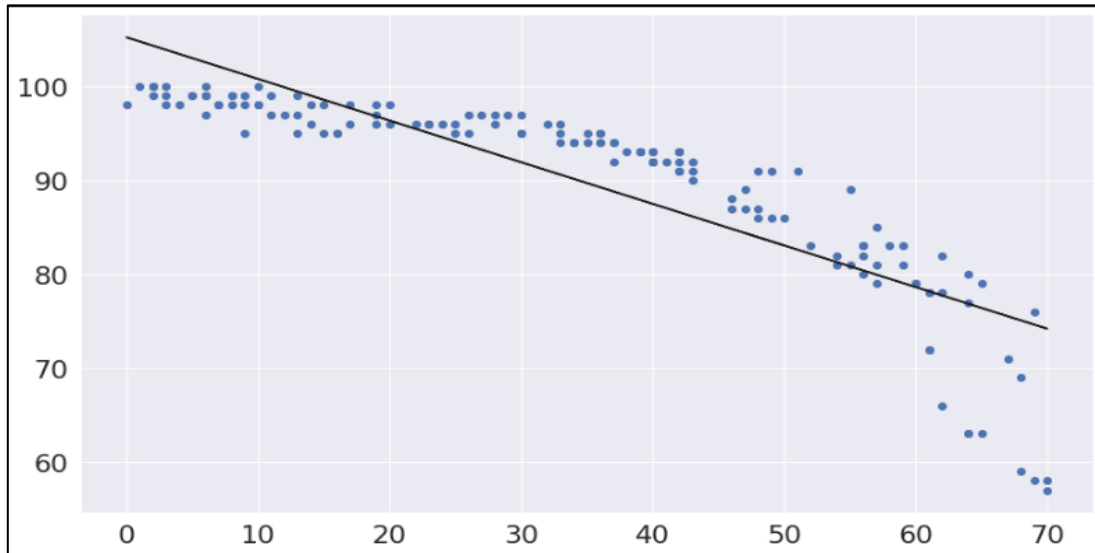


Figure 4.13 :  $y_{\text{test}}$  vs  $y_{\text{pred}}$

### 4) Tester les performances du modèle :

Afin de tester les performances de notre modèle, on a comparé les valeurs issues de la prédiction aux valeurs réelles sur des intervalles de temps différents.

	Valeur prédite	Valeur réelle
Test 1	La plante aura besoin de l'eau après <b>101 heures</b> du dernier arrosage	Le taux d'humidité a chuté (sous 60%) après <b>112 heures</b> du dernier arrosage.
Test 2	La plante aura besoin de l'eau après <b>98 heures</b> du dernier arrosage	Le taux d'humidité a chuté (sous 60%) après <b>101.5 heures</b> du dernier arrosage.
Test 3	La plante aura besoin de l'eau après <b>84 heures</b> du dernier arrosage	Le taux d'humidité a chuté (sous 60%) après <b>78 heures</b> du dernier arrosage.

Tableau 4.2 : Comparaison des valeurs prédites et des valeurs réelles

On a utilisé l'Écart quadratique moyen (Root-mean-square Error) afin de mesurer la différence entre les valeurs prédites par le modèle et les valeurs observées :

RMSE = 5.096 ce qui est génial.

#### 4. Visualisation des données en temps réel à travers une application web :

Afin de visualiser les données, on a opté à une application web qui a comme rôle de :

- Visualiser le taux d'humidité en temps réel
- Recevoir des notifications pour irriguer la plante.

L'application WEB permet à l'agriculteur de suivre les besoins de ses plantes en eau en temps réel et de recevoir des notifications pour anticiper l'irrigation des plantes depuis n'importe quel endroit dans le monde.



Figure 4.14: Application web pour visualiser l'état du sol

# Chapitre V : Fonctionnement du système

Dans ce chapitre, nous allons présenter une description détaillée de tout le système (voir figure 5.1 ci-dessous).

Pour cela, cette partie est rédigée comme suit :

1. Capteur d'humidité / Azure function 1.
2. Azure function 1 / Azure Blob storage.
3. Azure Blob storage / Azure function 2.
4. Azure function 2 / Application web

Avant de commencer de présenter ces quatre parties, nous allons expliquer le rôle de ces composants :

- Azure function 1 : c'est la « Azure function » qui a comme rôle de collecter les données venant du capteur et les stocker dans le « Blob Storage ».
- Azure function 2 :
  - Fait la prédiction du temps d'irrigation.
  - Envoi des notification e-mail avec le temps d'irrigation prédit.
  - Envoi les données du Blob Storage vers l'application web.
  - Notifications avec le temps d'irrigation prédit sur l'application web.
- Azure Blob Storage : c'est là où toutes les données provenant du capteur sont stockées.

### **1. Capteur d'humidité / Azure function 1 :**

Le capteur envoie le taux d'humidité du sol à la fonction Azure chaque heure avec le protocole HTTP / méthode POST-request

### **2. Azure function 1 / Azure Blob storage:**

Une fois les données sont arrivées à la « Azure function 1 », cette dernière traite ces données et les stocke dans le Blob Storage dans un fichier .CSV.

### **3. Azure Blob storage / Azure function 2:**

Cette partie a comme rôle d'extraire les données des dix derniers jours à partir du Blob Storage.

#### 4. Azure function 2 / Application web :

L'application envoie une Post-request à l' « Azure function 2 » et cette dernière renvoi les données des dix derniers et le prochain temps d'irrigation prédit.

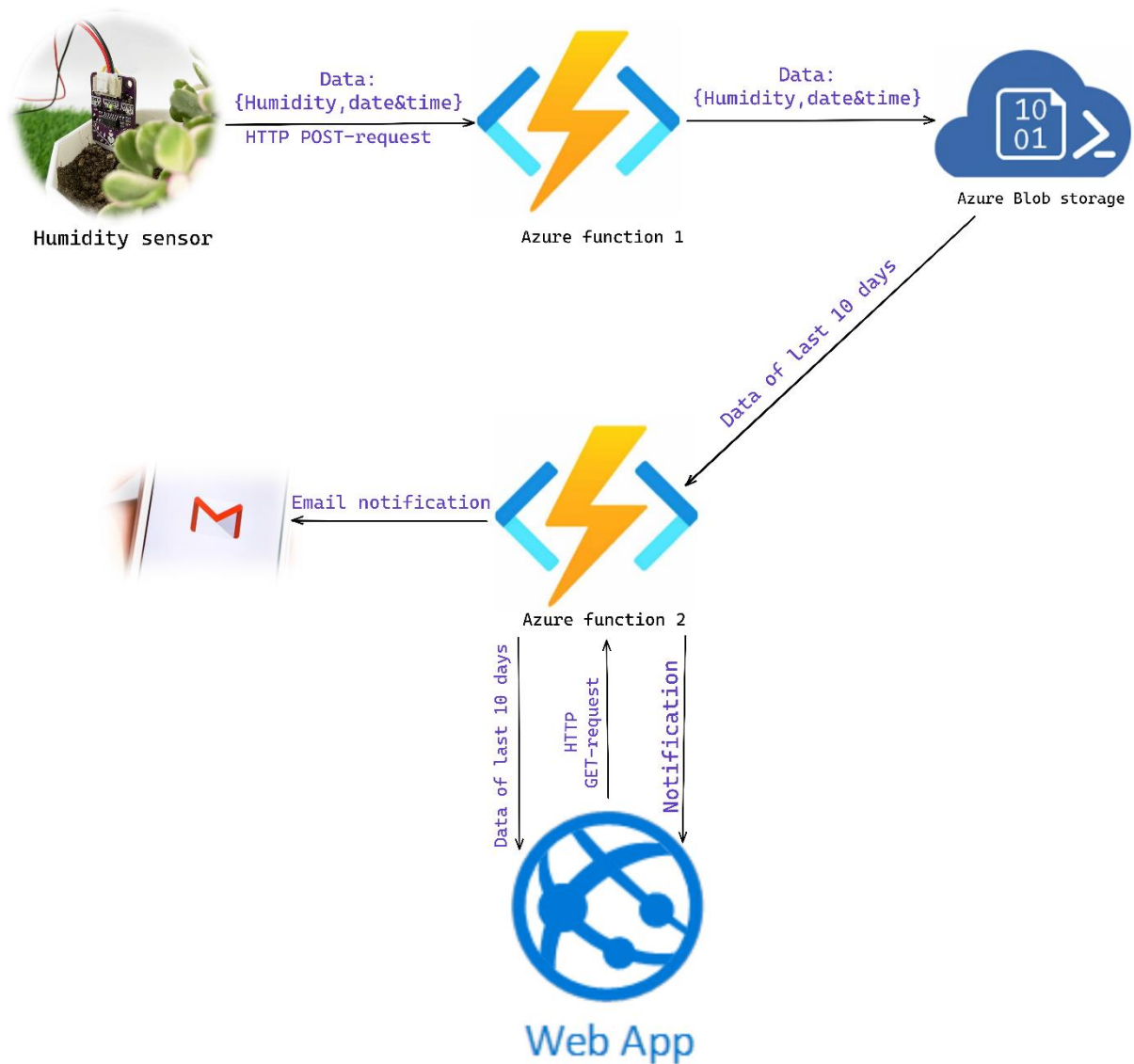


Figure 5.1: Fonctionnement de tout le système

# Conclusion générale

Mon projet de fin d'études consiste à faire la réalisation et la conception d'un système d'irrigation intelligent basé sur les technologies de l'internet des objets et de l'intelligence artificielle, qui permet de contrôler, gérer et superviser les besoins des plantes en eau et aussi planifier le temps d'irrigation à l'aide de l'intelligence artificielle.

C'est dans cette optique que s'inscrit ce mémoire qu'on a partagé en trois grandes phases :

La première consiste au traitement du cahier des charges en commençant par l'étude du matériel nécessaire avec les aspects techniques et fonctionnels de chaque matériel, ce qui permet de réaliser notre premier prototype.

La deuxième a été consacrée à l'étude et la recherche détaillée des technologies de l'internet des objets et de l'intelligence artificielle, nous avons décrit l'architecture de base d'un modèle IoT, ainsi que les composants nécessaires pour cette architecture et les couches de ce modèle.

La troisième phase consiste à la réalisation du projet, pour cela nous avons commencé par le montage et la programmation de la carte électronique avec le capteur d'humidité du sol, en deuxième lieu nous avons présenté la réalisation et la conception détaillée des fonctions Azure hébergées sur le cloud et connectées avec le Blob Storage, et nous avons donné par la suite la solution proposée pour contrôler et superviser les besoins en eau des plantes à travers une application WEB.

En perspectives, nous visons à développer notre projet, en effet nous proposons :

- ✓ Ajouter d'autres paramètres à la prédiction tel que l'humidité relative de l'air et la température ambiante pour rendre la prédiction plus précise.
- ✓ Rendre le système capable de savoir en quelle saison on est.
- ✓ Contrôler plusieurs plantes à la fois et adapter le système selon les besoins chaque plante.
- ✓ Développer une application mobile pour faciliter le suivi des plantes.

Ce projet de fin d'études m'a permis de mettre en œuvre les connaissances et les compétences acquises tout au long de ma formation et d'assumer la responsabilité qui m'a été confiée.

Cette expérience a aiguisé mes capacités d'analyse et de synthèse et a surtout fortifié ma motivation, détermination et mon ambition de suivre une carrière dans le domaine de l'IoT et de l'IA.

# Bibliographie

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial\\_intelligence#cite\\_ref-165](https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence#cite_ref-165)
- [2] <https://www.axiocode.com/avantages-inconvenients-intelligence-artificielle/>
- [3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/ESP8266>
- [4] ESP8266 datasheet : [https://reso-nance.org/wiki/\\_media/materiel/esp8266/esp8266-datasheet.pdf](https://reso-nance.org/wiki/_media/materiel/esp8266/esp8266-datasheet.pdf)
- [5] <https://www.lemagit.fr/definition/Microsoft-Azure-Functions>
- [6] <https://www.techopedia.com/definition/32166/blob-storage>
- [7] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypertext\\_Transfer\\_Protocol](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol)
- [8] <https://www.serverless360.com/azure-functions>
- [9] <https://www.rapport-gratuit.com/notion-sur-linternet-des-objets-iot/>
- [10] <https://www.ibm.com/fr-fr/analytics/learn/linear-regression>
- [11] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Scikit-learn>