

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'informatique



Mémoire de Master

Spécialité

Informatique

Option

Réseaux, Mobilité et Systèmes Embarqués

Thème

Conception et réalisation d'une serre intelligente

Présenté par

SADOUN Tassadit

AIT OUFELLA Kahina

Proposé et Encadré par

CHEMOUN.K

AOUDJIT.R

Devant le jury

Madame BELKADI.M Présidente du jury

Madame OUBABAS.S Examinatrice

Soutenu le 09 / 11 / 2020

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la santé, le courage et la capacité pour mener ce travail à terme.

Nous voudrions tout d'abord adresser toute notre reconnaissance à notre promotrice M^{me} CHEMOUN Karima, pour sa patience, sa disponibilité et surtout de nous avoir bien conseillé et suivi pendant notre travail. Et aussi à M^{me} AOUDJIT pour son aide continue.

Nous remercions les membres du jury, devant qui, nous avons l'honneur d'exposer notre travail, et qui ont pris la peine de lire ce mémoire pour juger son contenu .

Nous remercions vivement tous nos professeurs qui nous ont accompagnés durant notre cursus universitaire et pour leur aide et le savoir aussi précieux qu'ils nous ont apporté au sein de département d'informatique à l'UMMTO. Nous tenons aussi à remercier nos amis (es) et tous ceux et celles qui, de loin ou de près nous ont apporté leur aide et soutien tout au long de notre démarche. Enfin, un grand merci à nos familles et particulièrement nos chers parents qui se sont sacrifiés pour nos biens et qui nous ont encouragé et soutenu tout au long de nos études.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail

A mes très chers parents pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes études et pour leurs sacrifices et soutien durant tout mon parcours. Je prie Dieu le tout puissant de les garder en bonne santé et de les récompenser de toutes les peines et sacrifices donnés auxquels je ne rendrai jamais assez.

A mes quatre chers frères , pour leur appui et leurs encouragements et aussi à toute ma famille et mes proches qui me souhaitent toujours la réussite.

*A mes chères copines qui ne cessent de m'encourager dans les moments difficiles
merci a vous (saadia , wissam ,lydia)*

*A mes amis de promotion Master avec qui j'ai passé des moments inoubliables et qui m'ont encouragé et cru en moi spécialement
(Thanina,Mehdi,Massi,Khaled,Yacine)*

Sans oublier ma binome tassadit pour son soutien morale, sa présence et sa compréhension tout au long de ce travail

Kahina

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail

A mon père, qu'est toujours disponible pour moi, et prêt à m'aider et me pousser pour aller de l'avant, je lui confirme mon attachement et mon profond respect .

A ma mère et ma grande mère qui m'ont encouragé durant toutes mes études, et qui sans elles, ma réussite n'aura pas eu lieu. Qu'elles trouvent ici mon amour et mon profond respect.

A mes chers frères et chères soeurs qui ont participés à la réalisation de ce projet avec leur soutien quand j'avais vraiment besoin

A toute ma famille, mes proches, mes cousins, mes voisins, mes amis et mes camarades que j'ai connus jusqu'à présent

et enfin à toute personne qui m'aime et qui me souhaite la réussite

Sans oublier ma binome Kahina qui a contribués à la réalisation de ce modeste travail

Tassadit

Table des matières

Introduction générale	1
1 L'internet des objets	3
1.1 Introduction	3
1.2 Internet des objets	3
1.2.1 Définition	4
1.2.2 Les caractéristiques d'un système IoT	5
1.2.3 Les composants d'un réseau IoT	6
1.2.4 Domaines d'applications de L'IoT	12
1.2.5 Exemples de travaux IoT pour les serres agricoles	15
1.3 Conclusion	20
2 Les serres intelligentes	21
2.1 Introduction	21
2.2 Agriculture intelligente	21
2.2.1 Définition de l'agriculture intelligente	21
2.2.2 Domaines de l'agriculture intelligente	22
2.3 Serres Intelligentes	24
2.3.1 Caractéristiques d'une serre intelligente	24
2.3.2 Avantages de l'automatisation des serres	24
2.3.3 Les principaux composants d'une serre intelligente	25
2.3.4 Conditions environnementales dans les serres	26
2.3.5 Contrôle des conditions environnementales	27
2.3.6 Systèmes de contrôle automatique	30
2.4 Travaux connexes	32
2.4.1 Automatisation d'une serre en utilisant l'IoT	32
2.4.2 Conception d'un système intelligent de contrôle des serres sans fil basé sur la technologie embarquée	33
2.4.3 Conception d'une serre intelligente et un système de surveillance basé sur le réseau de capteurs sans fil et le réseau neuronal	34

TABLE DES MATIÈRES

2.4.4	Un système intelligent de surveillance et de contrôle des serres basé sur un microcontrôleur Arduino UNO	36
2.5	Conclusion	37
3	Conception et Réalisation	38
3.1	Introduction	38
3.2	Objectif et description du système à réaliser	38
3.3	Les outils utilisés	39
3.3.1	Les cartes	39
3.3.2	Les capteurs	40
3.3.3	Les actionneurs	41
3.3.4	Les autres composants	42
3.3.5	Outils de développement utilisés	42
3.3.6	Protocole utilisé	42
3.3.7	L'environnement de programmation	42
3.4	Démarche suivie	43
3.4.1	Architecture proposée	43
3.4.2	Description de tous les outils utilisés	44
3.4.3	Outils de développement utilisés	59
3.5	Montage et programmation de matériel	62
3.5.1	Schéma de raccordement des capteurs 62	
3.5.2	Schéma de raccordement des actionneurs	63
3.6	Fusion de données et prise de la décision	66
3.6.1	Définition de la fusion des données	66
3.6.2	Difficultés liées à la fusion de données	66
3.6.3	Théorie des fonctions de croyance	67
3.7	L'application android	77
3.7.1	Environnement du travail	77
3.7.2	Les langages de programmation utilisés	79
3.8	Conclusion	82
4	Partie tests	83
4.1	Introduction :	83
4.1.1	Présentation de la maquette	83
4.1.2	L'acheminement des données dans le système	86
4.1.3	Les états des actionneurs pendant la phase des tests :	88
4.2	Conclusion	93
	Conclusion générale	94

Table des figures

1.1	L'architecture de l'Internet des objets.	8
1.2	Les technologies de télécommunication dans l'internet des objets connectés.[4]	8
1.3	Principe de fonctionnement de la RFID. [5]	9
1.4	Fonctionnement de la technologie Bluetooth Low Energy. [6]	10
1.5	Domaines d'application de l'IoT.	15
1.6	schéma explicite pour le fonctionnement de GetSenso [11].	16
1.7	Un capteur d'humidité du sol connecté Plantlink.	17
1.8	Le capteur FlowerPower.	18
1.9	Fonctionnement de FlowerPower[11]	19
1.10	Réception des notifications et automatisation de l'équipement. [12]	20
2.1	Agriculture de précision	22
2.2	Contrôle de bétail	23
2.3	Serre intelligente	24
2.4	Les éléments principaux qui composent un système de serre intelligente[FA19]	25
2.5	Renforcement de l'éclairage avec des lampes.	28
2.6	les auvents d'ombrage pour réduction de l'éclairage.	28
2.7	l'aération de la serre.	29
2.8	Toile d'ombrage pour les serres.	30
2.9	Chauffage dans les serres.	30
2.10	Schéma de raccordement avec la carte Netduino3.	33
2.11	Schéma de conception globale du système	34
2.12	L'architecture des couches de ce système.	35
2.13	les communications des différents bloc avec Arduino UNO.	37
3.1	Architecture proposée	43
3.2	La carte ESP32	44
3.3	le raspberry pi 3 modèle b+.	45
3.4	Le module SIM808.	46
3.5	Capteur d'humidité du sol V1.4	47

TABLE DES FIGURES

3.6	Capteur de température V1.2	48
3.7	la photorésistance.	49
3.8	Le capteur MQ135.	51
3.9	Capteur de niveau d'eau	51
3.10	Le fonctionnement du capteur de niveau d'eau	52
3.11	Les broches du moteur pas à pas (28 byj 48) 5V	53
3.12	Diagramme de bobine de moteur pas à pas	53
3.13	Taille d'une électrovanne.	55
3.14	Ventilateur 12V.	55
3.15	source de courant de L293D.	56
3.16	Les broches de sortie de L293D.	57
3.17	Les broches de contrôle de L293D	57
3.18	Les broches de contrôle de vitesse de L293D.	58
3.19	Relais	58
3.20	InfluxDB	59
3.21	Le fonctionnement du protocole MQTT	61
3.22	PlatformIO.	61
3.23	Schéma de raccordement de l'interface de capture.	62
3.24	Schéma de raccordement de la lampe avec l'esp32	63
3.25	Schéma de raccordement l'électrovanne avec l'ESP32	63
3.26	Schéma de raccordement de la pompe avec l'esp32	64
3.27	Schéma de raccordement du moteur pas à pas	64
3.28	Schéma de raccordement de ventilateur	65
3.29	Schéma de raccordement de raspberry PI3 avec le sim808	65
3.30	Problèmes liés à la fusion de données	66
3.31	Les étapes de la mise en œuvre de la théorie des fonctions de croyance	68
3.32	fonction de masse de l'hypothèse ω	70
3.33	fonction de masse de l'hypothèse complémentaire $\bar{\omega}$	70
3.34	fonction de masse de l'ignorance Ω	70
3.35	Représentation des fonctions de masse pour la température	75
3.36	Calcule des combinaisons de Dempster pour l'hypothèse ω	76
3.37	L'émulateur android	78
3.38	L'interface d'accueil de l'application android.	79
3.39	L'interface de configuration de l'application android.	80
3.40	L'interface du tableau de bord de l'application android.	80
3.41	L'interface des graphes de l'application android.	81
3.42	L'interface des notifications de l'application android.	81
4.1	La maquette conçue pour le test.	84
4.2	les capteurs déployés dans la serre	85
4.3	Les actionneurs installés dans la serre	85

TABLE DES FIGURES

4.4	Les données publiées dans le topic test-channel.	86
4.5	La table humsol	86
4.6	Affichage des données reçues dans l'application android.	87
4.7	La publication de l'état « ON » de l'actionneur pompe à eau dans le topic sol.	88
4.8	L'état actif de ventilateur	88
4.9	L'état non_actif de ventilateur	89
4.10	L'état ON de la lampe.	89
4.11	L'état OFF de la lampe	90
4.12	L'état Open de l'électrovanne	90
4.13	L'état ON de la pompe à eau.	91
4.14	L'état OFF de la pompe à eau.	91
4.15	L'état Open de la fenêtre.	92
4.16	L'état Close de la fenêtre.. . . .	92

Liste des tableaux

3.1	Les cartes utilisées	39
3.2	Les capteurs utilisés	40
3.3	Les actionneurs utilisés	41
3.4	Les autres composants utilisés	42
3.5	Les spécifications du capteur d'humidité du sol V1.4 [5]	48
3.6	Interprétation des valeurs données par une photorésistance [8]	50
3.7	Configuration des broches	52
3.8	La séquence dans laquelle chaque bobine doit être déclenchée.	54
3.9	les composants illustrés dans le schéma.	62

Les Acronymes

AC :Alternating Current

ARM :Acorn RiSC(Reduced Instruction Set Computer) Machine

AT :ATtention

AVR : Advanced Virtual RISC

AWS : Amazon Web Services

BLE : Bluetooth Low Energy

CO2 : Dioxide de Carbone

DC :Direct Current

GND :Ground

GNU :GNU's Not Unix

GPIO :General Purpose Input Output

GPRS :General Packet Radio Service

GPS :Global Positioning System

GSM : Global System for Mobile

HTTP :Hyper Text Transfer Protocol Secure

IDE : Integrated development Environment

IoT : Internet of Things

IP :Internet Protocol

I2C :Inter-Integrated Circuit

I2S :Inter-Integrated Circuit Sound

JDL :JoinDirectors of Laboratoires

LCD : Liquid Cristal display

LDR :Light Dependent Resistor

LED : Light Emitting Diode

LoRa : Long Range Wide Area

LPWAN :Low Power Wide Area Network
MIT :Massachusetts Institue of Technology
MMS :Multimedia Messaging Service
MQTT : Message Queuing Telemetry Transport
MP3 :MPEGA Audio Layer-3
M2M : Machine to Machine
NFC : Near Field Communication
OS : Operating System
PC : Personal Computer
RAM :Random Access Memory
RFID : Radio Frequency Identification
RTC :Real Time Clock
SD :Standard Capacity
SDK :Software Development Kit
SIM : Subscriber Identification Module
SMS :Short Messaging Service
SMT :Surface Mount Technology
SPI : Serial Peripheral Infrface
SQL :Structured Query Language
TIC : Technologie de l'information et de la Communication
TCP :Transmitted Control Protocol
TSDB :Time Serial Database
TTL :Transistor-Transistor Logic
UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDP :User Datagram Protocol
UUID : Unique Objet Identifier
USB :Universal Serial Bus
VCC :Common Collector Voltage
VSS : Virtual Switching System
WPA :WiFi Protected Access
WPA2 :WiFi Protected Access v2
WPS :WiFi Protected Setup
Wi-Fi :Wireless Fidelity
XML :Extensible Markup Language

Introduction générale

Ces Dernières années et avec une très grande rapidité, les systèmes intelligents ne cessent de se développer et d'accroître. Ce qui a provoqué une sorte de concurrence et d'amélioration en termes de quantité et de qualité. Cela est dû non seulement à la large bande des exigences du marché mais aussi à la diversité des produits dans le but de satisfaire les besoins de la clientèle et leurs consommations avec une production optimale.

Actuellement, la tendance en technologies consiste à se servir des techniques sans fil tel que l'Internet des objets qui a été intégré dans plusieurs domaines à savoir l'armée, l'industrie, l'agriculture, etc. Internet des objets est un terme très vaste et riche. Il permet de relier le monde entier en se communiquant grâce à l'échange d'information entre les objets.

Dans le domaine de l'agriculture, la serre agricole pourra à son tour profiter des avantages de l'Internet des objets afin de se transformer en une serre intelligente. En effet, les serres agricoles intelligentes sont capables de s'adapter à une certaine évolution de l'environnement à l'aide des capteurs et des actionneurs mais aussi des moyens de communication et même des interfaces électroniques de traitement.

De ce fait, l'agriculture de demain sera automatisée et la production agricole s'appuiera sur la notion de la serre agricole intelligente qui va gérer non seulement les critères climatiques (d'humidité, de lumière et d'arrosage), mais aussi la facilité de contrôle et d'accès par l'agriculteur. Ce qui permettra certainement une production plus optimale sur tous les plans. Internet des objets permet donc aux agriculteurs de prendre le contrôle total de leurs champs agricoles en ce qui concerne le paramétrage : l'humidité, la lumière nécessaire à la production agricole, l'arrosage, la température, etc.

Dans notre projet, nous avons proposé un système pour la réalisation d'une serre agricole automatisée via les moyens technologiques.

Le but principal de notre système est d'aider un simple agriculteur en lui fournissant un équipement très simple et facile à manipuler. L'objectif est de contrôler

intelligemment une serre agricole et d'apporter un suivi et un automatisme sans un effort conséquent.

Ce travail réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'études est décrit dans ce mémoire, qui est structuré en quatre chapitres :

- Nous consacrons le premier chapitre à quelques définitions et généralités liées au domaine de l'Internet des objets ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la serre agricole ;
- Le troisième chapitre sera consacré à la conception et la réalisation de la serre agricole connectée ;
- Le quatrième chapitre sera consacré aux étapes suivies pour tester le bon fonctionnement de notre système réalisé.

Chapitre 1

L'internet des objets

1.1 Introduction

Les avancées technologiques dans le domaine de l'information et des communications ont sans aucun doute modifiés le paysage de l'informatique.

Aujourd'hui, les systèmes informatiques ne sont plus seulement constitués d'ordinateurs connectés à internet, mais ils intègrent également une variété de dispositifs embarqués. Cette nouvelle vision, où le traitement de l'information est intégré aux objets, vient de la rencontre entre l'informatique traditionnelle et l'électronique, ce qui a fait naître le concept d'internet des objets.

L'internet des objets est une concrétisation technique de l'informatique omniprésente dans les moindres faits et gestes de tous les jours, les médias parlent d'objets connectés et les grands cabinets de consulting avaient annoncé qu'il y aura plus d'objets connectés que d'êtres humains ce qui est actuellement le cas. C'est des objets connectés qui seront hétérogènes et remplissent des fonctionnalités diverses.

1.2 Internet des objets

Pour se familiariser avec le concept de l'Internet des objets évoqué dans ce chapitre, nous allons introduire les différentes définitions d'Internet des objets, les caractéristiques d'un système IoT, les composants d'un réseau IoT pour ensuite mettre l'accent sur les domaines d'application de l'internet des objets, et puis en finir avec des exemples de travaux d'internet des objets dédiés aux serres agricoles.

1.2.1 Définition

Internet des Objets, objets connectés, des termes qui peuvent paraître flous. Il est difficile de préciser à partir de quand un objet est connecté et à partir de quand débute l'internet des objets pour éclaircir ces deux notions, il est important de définir en premier l'objet connecté.

« Il s'agit d'un dispositif intelligent avec un identificateur unique qui peut interagir avec le monde physique de manière indépendante sans intervention humaine, capable de recevoir et de transmettre des données avec des logiciels grâce aux capteurs. » [ITU12]

Par exemple, un objet tel qu'une machine à café ou une serrure étaient conçues sans intégration de systèmes informatiques ni connexion à Internet. L'intégration d'une connexion Internet à un objet permet de l'enrichir en terme de fonctionnalité, d'interaction avec son environnement, par exemple, l'intégration d'une connexion internet à la machine à café la rend accessible à distance.

De ce fait, nous proposons trois définitions d'Internet des objets pour mieux comprendre l'extension de l'Internet actuel envers tout objet connecté, ces définitions expliquent qu'un système IoT (Internet of Things en anglais) peut faire appel à des services simples ou complexes selon les scénarios d'application mise en place.

Définition 1 : « L'internet des objets est un réseau qui connecte et rend identifiable de façon unique des objets. Les objets ont des capteurs, des actuateurs et ont de potentielles capacités de programmation. A travers l'exploitation de l'identification unique et des capteurs, les informations de l'objet peuvent être changées depuis n'importe où, n'importe quand et par n'importe qui. » [Nas17]

Définition 2 : « L'internet des objets a pour vision un réseau complexe auto configurable et adaptatif qui interconnecte des objets à internet grâce à l'utilisation de protocoles de communication. Les objets interconnectés ont une représentation physique ou virtuelle dans le monde digital, des capteurs et des actuateurs, des fonctions de programmation et sont identifiables de manière unique. La représentation contient des informations telles que l'identité de l'objet, son statut, sa localisation ou toute autre information jugée pertinente pour le service. Les objets offrent des services, avec ou sans intervention humaine, à travers l'exploitation d'un identifiant unique, la capture de données, la communication et la capacité d'action. Le service est exploité par l'utilisateur d'interfaces intelligentes rendues accessibles par une personne ou une application compte tenu de la sécurité » [Nas17]

Définition 3 : « L'internet des objets est un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électroniques normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant. » [PJB18]

1.2.2 Les caractéristiques d'un système IoT

Les caractéristiques fondamentales de l'IoT sont les suivantes [KKP16] :

- **Inter-connectivité** : Dans l'IoT, tout objet peut être connecté à l'infrastructure mondiale de l'information et de la communication.
- **Services liés aux objets connectés** : l'IoT est à même de fournir des services liés aux objets dans les limites des contraintes, telles que la protection de la vie privée et la cohérence sémantique entre les objets physiques et leurs objets virtuels associés. Afin de fournir de tels services, les technologies utilisées seront amenées à changer, aussi bien dans le monde physique que dans le monde de l'information.
- **Hétérogénéité** : les dispositifs utilisés dans l'IoT sont hétérogènes puisqu'ils ne font pas appel aux mêmes plateformes matérielles ni aux mêmes réseaux. Ils peuvent interagir avec d'autres dispositifs ou plateformes de service par l'intermédiaire de réseaux différents.
- **Changements dynamiques** : l'état des dispositifs (par exemple veille/réveil, connecté/déconnecté) change de façon dynamique, de même que le contexte dans lequel ces dispositifs fonctionnent (emplacement, vitesse, etc.). Par ailleurs, le nombre de dispositifs peut lui aussi évoluer de façon dynamique.
- **Très grande échelle** : les dispositifs qui devront être gérés et qui communiqueront entre eux seront au moins dix fois plus nombreux que ceux connectés à Internet à l'heure actuelle. Le rapport entre les communications établies par des dispositifs et celles établies par des personnes deviendra nettement plus favorable aux premières. Encore plus critique sera la gestion des données générées par ces dispositifs et leurs interprétations à des fins d'application. Cela concerne la sémantique des données, ainsi que la gestion efficace des données.
- **Connectivité** : Une fiable connectivité est assurée en mettant en place des

mécanismes qui permettent de garantir la disponibilité et l'interconnexion aux réseaux, et aussi assurer la compatibilité en connectant plus facilement les nouvelles applications IoT à celle déjà en place.

- **Sécurité** : Divers objets connectés apparaissent dans différents domaines et envahissent notre quotidien. Cela nécessite une préoccupation des risques liés à ces objets connectés en mettant en place des mécanismes assurant la sécurité des données personnelles en particuliers et l'internet des objets en général. Et aussi, chaque objet connecté avec une connexion au réseau est un point d'entrée potentiel pour les failles de sécurité, c'est bien nécessaire d'adopter un système capable de sécuriser les points de terminaison (pc, smartphone, tablettes, etc.), des réseaux et des données qui les traversent. Par exemple, concevoir des serrures intelligentes qui se déverrouillent automatiquement avec un clavier optionnel ou un système vocal, et mettre en place un type spécifique de logiciel antivirus qui protège l'intégralité de ces serrures intelligentes.

1.2.3 Les composantes d'un réseau IoT

On distingue trois composants fondamentaux pour les réseaux d'internet des objets qui sont illustrés comme suit [KKP16] :

Les capteurs

Un objet pour pouvoir le rendre connecté, il doit être caractérisé par un identificateur unique : UOID (Unique Objet Identifier). C'est cet identificateur qui établit la correspondance entre l'objet et les services. Au niveau des objets, l'information est recueillie à l'émission par des capteurs.

Les capteurs sont des dispositifs qui permettent la transformation d'une donnée physique en une donnée numérique exploitable par des logiciels informatiques. Pour cela, il est nécessaire de trouver l'équipement adapté à sa donnée. Ils permettent de collecter et d'échanger un grand nombre d'informations utiles à la prise de décision. Il existe donc diverses solutions de captation :

- Les capteurs de mesures physiques sont des capteurs qu'ont la capacité de mesurer de nombreuses variables physiques et les transformer en données (température, humidité, mesures de particules, etc.). Ces capteurs peuvent embarquer de l'intelligence localement pour optimiser les applications.

- Les capteurs de géolocalisation : permettent un suivi de la position des équipements ou des personnes afin de renforcer la sécurité des travailleurs isolés, le kilométrage des véhicules dans le but d'anticiper les révisions, etc.
- Les capteurs d'état : permettent de détecter des états inventés par l'homme. Par exemple, des capteurs installés sur des portes pour détecter des ouvertures non prévues de nuit comme de jour.

Traitement de l'information

Les traitements des informations récoltées par les capteurs dépendent de la complexité des objets et le stockage local ou distant des données. On peut donc distinguer deux types d'objets :

- **Les objets simples** : dans un très grand nombre de cas, on réalise des traitements locaux pour des données très petites et simples qui sont stockées sur des serveurs locaux en utilisant des microcontrôleurs ou processeurs et cartes à bas coût sans ou avec OS léger (par exemple, utilisation d'un microcontrôleur arduino en développant un programme en c++ à l'aide de l'IDE arduino pour commander la fermeture du volet si la vitesse dépasse un seuil). C'est un traitement simple qui n'a pas besoin d'intervention d'outil de traitement complexe.
- **Les objets complexes** : Les données qui nécessitent un traitement ou une analyse plus approfondis peuvent finalement opter pour les ressources de cloud. Ces données seront transmises à un serveur de stockage de données basé sur le cloud. Une couche de traitement de l'information, le plus souvent située dans une plateforme cloud comme AWS [1], Microsoft Azure [2] ou Google Cloud [3] reçoit ces données, les combine avec des informations provenant d'autres sources pour obtenir une meilleure compréhension de la façon dont le système se comporte.

L'analyse des données peut être utilisée pour comprendre comment les données des capteurs varient au fil du temps et par rapport à d'autres variables. La technologie d'apprentissage automatique peut être utilisée pour automatiser et optimiser les actionneurs en réponse aux données sensorielles ou en fonction des modèles d'utilisateurs. Il peut également y avoir un certain type de technologie de visualisation de données implémenté qui applique la logique métier de l'utilisateur aux données et présente des informations aux utilisateurs dans un format facilement compréhensible (tableaux, graphiques, etc.).

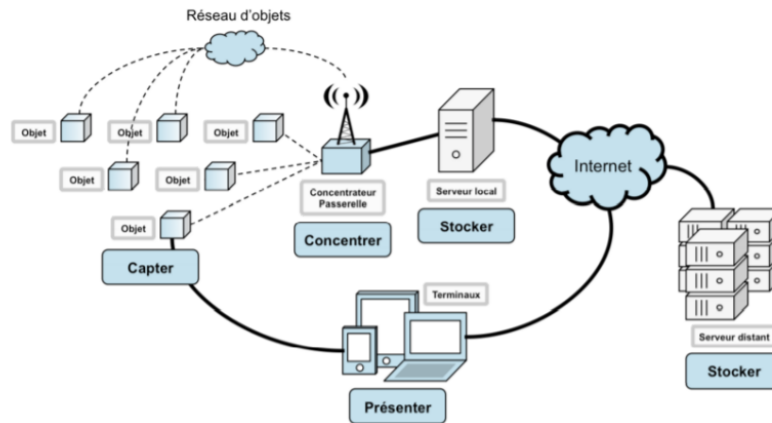


FIGURE 1.1 – L'architecture de l'Internet des objets.

Réseaux de communication

Pour traiter et contrôler les données captées, il est nécessaire de les communiquer via internet. Ce transfert de données peut se faire à l'aide de différents types de réseaux de communication. Ces réseaux seront utilisés en fonction du cas d'usage. Il est important de choisir le réseau le plus adéquat au cas d'usage requis car leur application va dépendre du débit souhaité et sa distance par rapport à son utilisateur. On peut alors les catégoriser en réseau de courte portée ou de grande portée.

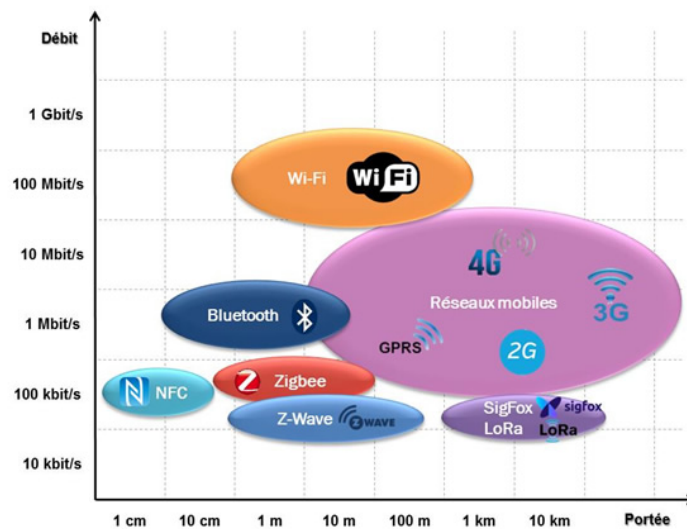


FIGURE 1.2 – Les technologies de télécommunication dans l'Internet des objets connectés.[4]

1. Réseaux de courte portée :

Ce sont des technologies utilisées pour la domotique ou pour les objets connectés quand l'utilisateur se trouve à proximité de son objet connecté.

- **Protocole Near Field Communication (NFC) [OM19]** : Ces protocoles sont fondés sur la technologie d'identification par radio fréquence RFID (Radio frequency identification), haute fréquence (13,56MHz) à courte portée qui permet l'échange d'informations entre les appareils compatibles NFC, qui possèdent une petite puce qui est activée lorsqu'elle se trouve à proximité d'une autre puce NFC (10 centimètres ou moins). Ils permettent donc des interactions bidirectionnelles simples et sûres entre les appareils électroniques. Le protocole NFC est par exemple utilisé dans de nombreuses entreprises pour les badges d'accès aux locaux, ou comme support d'un abonnement à un réseau de transport en commun.

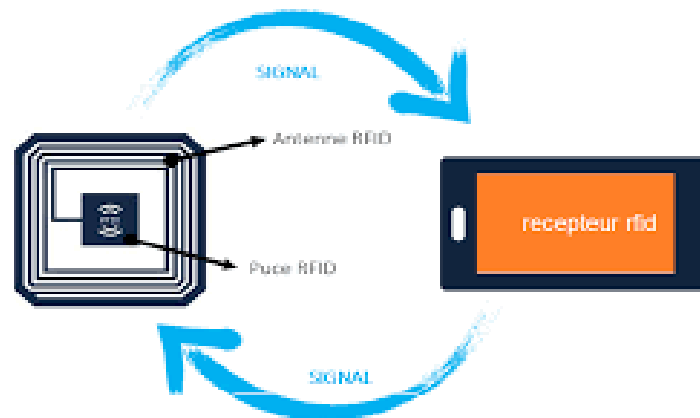


FIGURE 1.3 – Principe de fonctionnement de la RFID. [5]

- **Bluetooth [Haa98]** : Le Bluetooth est un protocole de communication sans fil, visant à connecter des appareils mobiles entre eux. Il utilise une faible bande passante, ce qui ne lui permet de transférer que peu de données à de courtes distances, mais est également très peu énergivore. Les usages les plus fréquents est la communication entre deux téléphones, la connexion du téléphone à une voiture, à une enceinte sans fil, ou à un casque audio. Le Bluetooth a une portée très courte, contrairement au Wi-Fi.
- **Bluetooth Low Energy (BLE)[Bel16]** : Cette technologie est un protocole de réseau personnel sans fil et c'est une forme écologique de Blue-

tooth à très basse consommation qui a été développée spécifiquement pour faciliter l'internet des objets. Comme la technologie Bluetooth originelle, le BLE ne permet de transférer qu'une quantité limitée de données à une distance moyenne de 60 mètres. La différence entre les dispositifs Bluetooth et BLE se situe au niveau de la consommation électrique nécessaire à la communication, qui est dix fois moindre pour BLE.

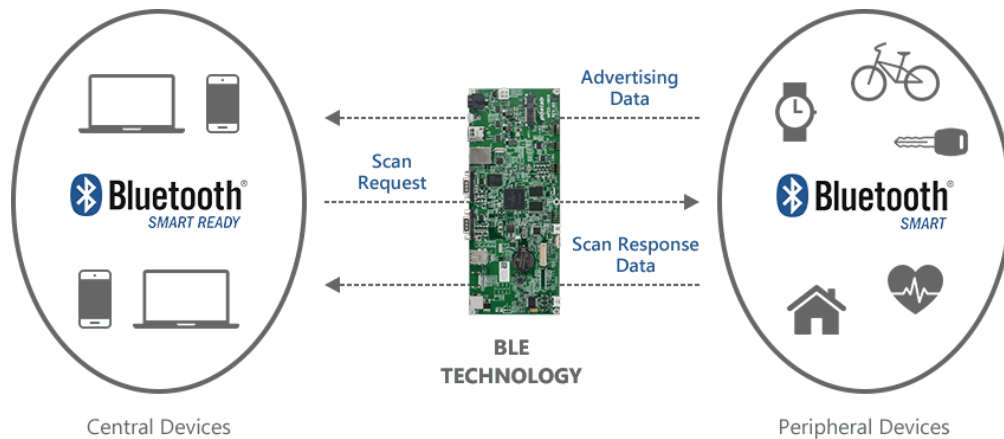


FIGURE 1.4 – Fonctionnement de la technologie Bluetooth Low Energy. [6]

- **Zigbee [Kin03]** : C'est une technologie sans fil normalisée développée pour permettre la communication des réseaux machine-a-machine (M2M) et Internet des objets à faible coût et à faible consommation d'énergie, cette technologie est mieux adaptée aux appareils alimentés par une pile ou une batterie, et en particulier aux capteurs. Elle utilise un protocole de réseau maillé pour éviter les périphériques concentrateurs et créer une architecture d'auto-réparation maillée : chaque nœud reçoit, envoie et relaie des données. Il est par exemple utilisé par certains détecteurs de fumée.
- **Z-Wave [MBY16]** : C'est un protocole de communication sans fil qui permet de transmettre des données sur des distances allant de 30 mètres en intérieur, à 100 mètres en plein air et il est utilisé principalement dans les réseaux domestiques intelligents, permettant aux appareils intelligents de se connecter et d'échanger des commandes de contrôles et des données entre eux. Avec une communication bidirectionnelle via un réseau maillé et un accusé de réception de message, le protocole Z-Wave aide à atténuer les problèmes d'alimentation et apporte une connectivité sans fil à faible coût à la domotique. Il est conçu pour être facilement intégré dans les produits électroniques de consommation, y compris les

appareils à piles tels que les télécommandes, les détecteurs de fumée et capteurs de sécurité.

- **WI-FI [CC10]** : Le Wifi est un réseau local sans fil à haut débit qui utilise des ondes radioélectriques. Il est destiné aux liaisons d'équipements informatiques dans un cadre domestique ou professionnel, dans le but de faciliter la transmission de données. On le retrouve en particulier dans le domaine d'Internet avec des appareils nomades connectés au réseau Wifi plutôt que par un câble Ethernet. Il permet des connexions à haut débit sur des distances de 20 à 100 mètres. Son objectif était de fournir une connectivité sans fil à courte portée, il permet de transférer rapidement beaucoup de données. Il existe différentes normes Wi-Fi correspondant à une portée et un débit variables.
2. **Réseaux de longue portée** : Ce sont des technologies utilisées dans l'industrie pour échanger de l'information avec des objets éloignés de l'utilisateur, et sont généralement dispersés dans de larges zones comme des sites industriels ou une ville. On distingue pour cet usage trois types de réseaux :
- **Réseaux cellulaires mobiles** : Fournis par les opérateurs de télécommunication, les réseaux cellulaires mobiles, basés sur la technologie GSM, permettent de transférer une quantité importante de données à une longue portée. Ils nécessitent l'installation d'une carte SIM dans l'appareil à connecter, afin d'identifier celui-ci sur le réseau de communication. Succédant aux premières générations des standards pour la téléphonie mobile, qui ont progressivement permis d'accroître le débit de communication, la quatrième génération (4G) permet une communication mobile à très haut débit.
 - **Réseaux LPWAN (Low Power Wide Area Network)[Mey18]** : Ce sont des réseaux radio bas-débit distingués par leur faible débit et la capacité à ne transmettre que de petites quantités de données et servent à obtenir des informations de géolocalisation ou relevés de compteur d'énergie.
 - **Sigfox** : c'est un réseau de communication radio sans fil à bas débit et à basse fréquence, d'une portée moyenne de 10 kilomètres en milieu urbain et de 30 à 50 kilomètres en milieu rural. Il est également une technologie créée par l'entreprise du même nom. Ce réseau convient à des appareils à basse consommation, dotés ainsi d'une

grande autonomie, qui transfèrent une faible quantité de données.

- **LoRa** : c'est un protocole de communication radio à très basse consommation, qui permet de transmettre des données en petite quantité, à des distances de 2 à 5 kilomètres en ville et jusqu'à 45 kilomètres en milieu urbain. Tout comme Sigfox, il s'agit d'un dispositif qui convient particulièrement aux équipements peu énergivores n'émettant que périodiquement, notamment les capteurs.

- **Réseaux propriétaires** : Certains grands groupes industriels, dotés de moyens financiers conséquents, préfèrent installer leur propre réseau de communication. Le déploiement de ces réseaux dits privés ou propriétaires est particulièrement intéressant en cas de déploiement à très grande échelle d'appareils communicants. C'est ainsi que m2ocity, filiale de Veolia Eau et d'Orange, a choisi d'installer son propre réseau de communication pour connecter les compteurs d'eau intelligents et réaliser des opérations de télé relevé, de même que Suez.

1.2.4 Domaines d'applications de L'IoT

L'Internet des Objets, est utilisé, partout, dans tous les domaines possibles, et tout secteur d'activité, en passant par le frigo d'une ménagère, à de grands secteurs industriels, mais également, les villes intelligentes, l'agriculture intelligente, et bien d'autres. On peut donc citer quelques exemples[LA10] :

- **Environnement** : l'internet des objets contribue dans la réduction de l'impact sur l'environnement en proposant des solutions IoT telles que :
 - Les voitures intelligentes et autonomes peuvent mener à une conduite écologique en permettant aux voitures sur la route de communiquer et de prévoir le comportement des autres véhicules. Le trafic s'écoulera à une vitesse uniforme avec seulement quelques mètres entre les véhicules, ce qui réduira le gaspillage de carburant induit par la vitesse et les changements de rapports de boîte des véhicules conduits par des humains.
 - Les scientifiques et les experts des espèces sauvages ont pu contribuer au rétablissement durable de l'espèce. Le lynx ibérique a été réintroduit en Espagne grâce à l'utilisation des technologies IoT pour suivre et surveiller les quelques lynx sauvages encore en vie. Des colliers ont permis de les géo-localiser et de connaître leurs habitudes, et avec des drones

connectés beaucoup moins invasifs.

- Le déploiement des capteurs connectés dans les avaloirs. Ces capteurs vont permettre de connaître le niveau des déchets récoltés dans les avaloirs en temps réel, d'avoir des alertes quand ceux-ci sont remplis et de notifier les équipes qui pourront aller les vider avant que les déchets ne soient rejetés à la mer lors de fortes pluies.
- **Transport** : L'internet des objets a pu intégrer de nouvelles technologies de capteurs et de communication afin d'améliorer l'efficacité du réseau de transport, gagner du temps et accroître le confort des usagers.
- Des panneaux de signalisation routière dynamiques pour des systèmes de transport intelligents, qui, grâce aux informations relayées à partir des capteurs et des caméras, affichent en temps réel l'état des routes, le taux de péage, la fermeture de voies et les temps de trajets.
 - Des voitures connectées dotées d'un système intelligent permettant la localisation des stations-service et achat de carburant de l'intérieur du véhicule, repérage des restaurants correspondants aux goûts du conducteur à proximité, établissement des paiements via la monnaie électronique intégrée au tableau de bord, rappel d'achats ou rendez-vous prévus à proximité des enseignes concernées et aussi possibilité de faire des précommandes, pré-réservations directement du véhicule.
- **Villes intelligentes** : Le concept des villes intelligentes offre aux habitants une qualité de vie maximale en utilisant les nouvelles technologies pour accroître l'efficacité des services comme :
- Congestion du trafic et surveillance des véhicules pour optimiser les itinéraires de conduite et de marche ;
 - Disponibilité de capteurs de stationnement ;
 - Eclairage intelligent.
- **Contrôle industriel** : l'industrie fait appel à l'internet des objets et aux objets connectés, pour générer des milliards d'informations qui permettront

aux entreprises de créer de nouveaux services.

- Surveillance des machines à distance, faire de la maintenance prédictive des équipements, ou améliorer la traçabilité des produits ;
 - La collecte des données en temps réel pour être en mesure de prévenir les pannes et de diminuer les incidents techniques.
- **Cyber santé** : Suivi et analyse de la santé via des applications et des objets connectés et aussi amélioration des procédés médicaux complexes.
- Aide à la détection des chutes pour personnes âgées ou handicapées vivant indépendamment ;
 - Les médecins peuvent désormais suivre un patient à distance et réagir en temps réel s'il y a une urgence ;
 - Des objets connectés comme bracelets connectés et montres connectées qui transmettent et interprètent diverses données (nombre de pas effectués, vitesse de marche, mouvements, battement de cœur etc.)
- **Domotique (maison intelligente)** : Optimisation et surveillance de la consommation d'énergie et l'utilisation de l'eau, sécurité de la maison et la possibilité de déclencher les appareils de la maison à distance.
- Contrôle des appareils électroménagers à distance ;
 - Contrôle des portes et verrouillage à distance ;
 - La mise en place des interrupteurs intelligents pour contrôler l'éclairage, etc.
- **Agriculture intelligente** : La croissance rapide de la population mondiale, les changements d'habitudes alimentaires, les perturbations climatiques sont trois grands facteurs, parmi d'autres, qui font de l'agriculture moderne un défi au quotidien. La productivité agricole devra avoir augmenté encore plus pour pouvoir répondre à la demande mondiale. Plus qu'un défi technologique, il s'agit d'un enjeu humanitaire. L'internet des objets intervient pour proposer quelques solutions telles que :
- Surveillance à distance par des drones afin de récolter en temps réel des informations essentielles à la gestion de l'exploitation (humidité de la terre, état des plantations, climat, etc.). Ces données sont transférées

aux tracteurs connectés (parfois autonomes), pour permettre de doser finement le niveau d'engrais et d'arrosage sur telle ou telle parcelle et de réduire les coûts, tant financiers qu'énergétiques.

- Des vaches dotées de colliers intelligents délivrent des informations sur leurs états et leurs comportements ; par exemple, recueillir leurs températures corporelles et déduire si elles sont malades. Toutes ces données permettent de prendre des décisions, comme celle de pratiquer un isolement pour éviter ou réduire la contamination du troupeau.

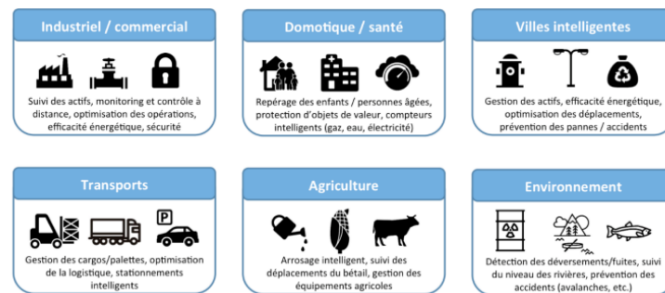


FIGURE 1.5 – Domaines d'application de l'IoT.

1.2.5 Exemples de travaux IoT pour les serres agricoles

Dans cette section, nous présentons quelques travaux d'IoT qui ont été réalisés dans l'optique de l'agriculture intelligente, particulièrement dans le cadre des systèmes de serres intelligentes.

GetSenso [7]

La surveillance des serres avec la technologie des capteurs sans fil et l'IoT offre un paramètre de surveillance à faible coût dans une serre. En plaçant différents capteurs comme : capteurs de lumière, capteurs de sol, capteurs d'humidité, etc., l'agriculteur peut facilement surveiller les conditions climatiques de la serre à distance. Si l'agriculteur ne peut pas visiter la serre, il peut lancer un processus d'automatisation comme l'arrosage des plantes lorsque le sol est sec ou fournir de l'ombre lorsqu'il y a trop de lumière dans la pièce.

Les dispositifs de surveillance GetSenso peuvent être utilisés pour surveiller les activités d'une serre comme la température, le PH, l'humidité, etc. Les données collectées par les capteurs sont transmises à l'aide d'un réseau maillé ZigBee. Le

réseau convertit ces données en données Wi-Fi afin qu'elles puissent être converties en signal Wi-Fi pour les stocker dans le cloud. Le fermier peut accéder aux données en cas de besoin via le cloud, et il peut surveiller les paramètres de la serre à partir de l'emplacement de son appareil via un ordinateur de bureau distant ou à l'aide d'un mobile. L'utilisation de la journalisation des applications cloud GetSenso et la surveillance des données des capteurs se font en temps réel. L'application fournit également une entrée pour définir les valeurs d'automatisation de la serre.

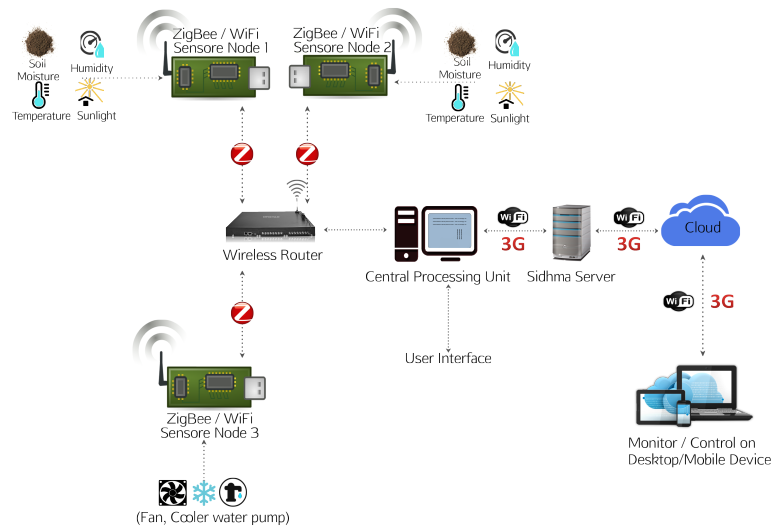


FIGURE 1.6 – schéma explicite pour le fonctionnement de GetSenso [11].

Bitponics [8]

C'est un projet de jardinage IoT open source destiné aux producteurs et aux agriculteurs qui planifient des rappels indiquant le moment où ils doivent prendre des mesures, des lectures de capteurs en temps réel, ainsi que la possibilité d'allumer et d'éteindre automatiquement les appareils connectés, et tout cela à partir de n'importe quel navigateur Web. Dans le passé, des initiatives similaires ont été présentées telles que Farmhopping[9] qui relie les agriculteurs du monde réel à des agriculteurs virtuels où les agriculteurs du monde réel aidaient leurs homologues virtuels à prendre des décisions sur leur ferme et à la gérer ensemble du mieux possible, combinant leurs deux connaissances et l'exploiter au maximum. Bitponics rend cependant toute cette agriculture à distance un peu plus réelle, car il n'y a pas de cultures ou de plantes virtuelles impliquées dans leur « achat agricole réel ».

Il y a toujours un risque de trouver le charmant petit jardin (ou simplement une sélection de plantes) tout flétri et mort, mais Bitponics essaye d'éliminer complè-

tement ce risque en permettant aux utilisateurs de suivre leurs plantes à distance. Vérifier qu'elles n'ont pas soif et avoir assez (ou peut-être trop) de soleil n'est qu'une sélection de choses que leur « Bitponics Base Station » peut faire. La station intelligente collecte les données des capteurs qui surveillent tout ce qui se passe dans le jardinage et les envoie directement dans le cloud, qui est à son tour accessible par téléphone portable, tablette ou ordinateur.

Plantlink [10]

Il existe sur le marché quelques capteurs de plantes qui mesurent les niveaux d'humidité des plantes afin que les producteurs puissent garder un œil à distance sur les critiques d'humidité de leurs plantes, PlantLink semble être le plus efficace. Il suffit de coller simplement les deux broches du capteur dans le sol du jardin, ou même dans le pot de la plante d'intérieur, et elles transmettent des données sur l'humidité du sol à une base centrale, qui fournit les informations en temps réels à un site Web PlantLink ou même à un téléphone.

Outre le fait de fournir aux producteurs les informations nécessaires à l'arrosage, la plateforme les aide dans l'arrosage de leur plante au cas par cas. Ainsi la plateforme dispose d'une base de données en ligne regroupant les plantes les plus connues et utilisées par les gens à environ 50 000 espèces différentes. Il est donc possible de définir la plante dans laquelle se trouve le capteur ce qui permettra de rendre l'arrosage plus efficace selon la plante.

Le système peut envoyer une alerte lorsqu'il est temps d'arroser la plante en envoyant un email ou un SMS. Il est possible de mettre plusieurs capteurs pour pouvoir ainsi piloter toutes les plantes du producteur.



FIGURE 1.7 – Un capteur d'humidité du sol connecté Plantlink.

FlowerPower [11]

Le projet Power Flower du français Parrot est le fruit d'un partenariat avec des universitaires et des botanistes spécialisés dans les plantes et l'agriculture. Ce projet propose une véritable solution complète pour suivre presque minute par minute l'état d'une plante en particulier. Là encore, il suffit de planter un capteur, de télécharger l'application gratuite sur un appareil intelligent, d'identifier la plante au sein d'une bibliothèque de 8 000 espèces, et d'indiquer l'environnement (pot ou sol, intérieur ou extérieur).



FIGURE 1.8 – Le capteur FlowerPower.

Une fois connecté, le Flower Power surveille les besoins de la plante en synchronisant les données avec le téléphone.

La synchronisation se déroule en plusieurs étapes :

- Envoi (via Bluetooth) des données de la plante récoltée par Flower Power vers un smartphone ;
- Envoi (via une connexion Internet) des données de la plante depuis un smartphone vers les serveurs de Parrot ;
- Analyse des données sur les serveurs de Parrot ;
- Envoi (via une connexion Internet) des données analysées depuis les serveurs Parrot vers le smartphone.



FIGURE 1.9 – Fonctionnement de FlowerPower[11]

En résumé, l'application alimente un tableau de bord qui renseigne sur le niveau d'humidité du sol, les éventuels besoins en engrais, l'ensoleillement reçu et la température de l'environnement. Les données sont mises à jour toutes les 15 minutes. Si la plante a chaud, froid ou soif, une notification est envoyée à l'utilisateur pour pouvoir agir sur les besoins de la plante.

HarvestGeek[12]

C'est un système d'IoT de surveillance et d'automatisation des serres et jardins open source et communique selon le mode sans fil. Ce système fonctionne conjointement avec un système de perception qui s'appelle HarvestBot. HarvestBot a quatre types de stations chacun avec une fonction spécialisée.

- Base Station est le centre de communication pour HarvestBot. La Base Station se branche directement sur votre routeur et transmet les données au HarvestGeek. Il dispose d'un écran LCD et communique avec les autres stations avec une portée approximative de 80 m à 100 m.
- Sensor Station est la pierre angulaire de HarvestBot, équipé pour surveiller la température, l'intensité lumineuse et l'humidité du sol.
- Hydro Station est une unité avancée conçue pour la surveillance des connecteurs standard (niveau de pH, conductivité).
- Automation Station contrôle les lumières, les ventilateurs, les pompes, les climatiseurs, les brumisateurs, etc. à partir de n'importe quel appareil mobile.

Une fois configuré, HarvestGeek vous informera automatiquement en fonction des informations reçues de HarvestBot. L'utilisateur peut choisir de recevoir des notifications par SMS, Facebook, Twitter ou e-mail si les plantes atteignent une

situation malsaine. Il est également possible de configurer la Station d'automatisation pour contrôler l'équipement.

Par exemple, il est possible de régler la plage de température souhaitée et allumer un ventilateur si les températures deviennent trop élevées, ou s'éteindre si elles deviennent trop basses. Aussi, il est possible de remplacer les minuteries traditionnelles pour contrôler les lumières et les pompes selon un calendrier.

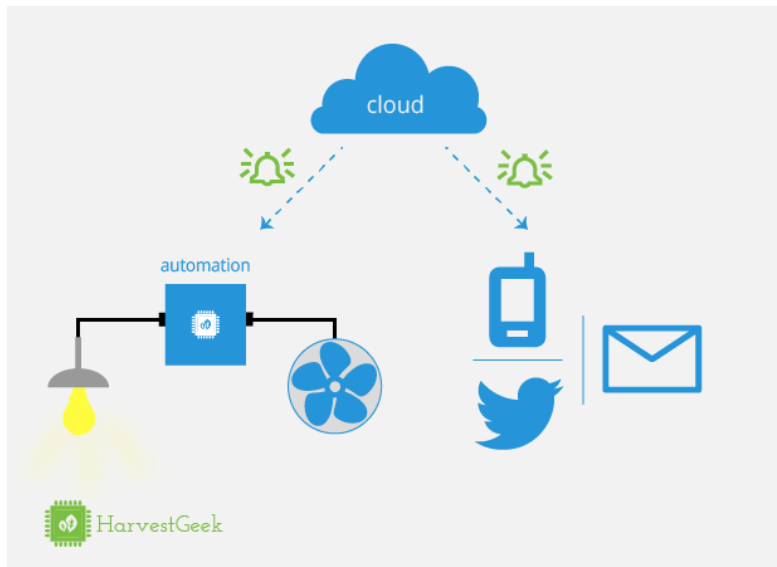


FIGURE 1.10 – Réception des notifications et automatisation de l'équipement. [12]

1.3 Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet d'une étude sur la technologie d'IoT. Nous avons introduit la définition d'un objet connecté et l'internet des objets connectés pour ensuite présenter les trois composants majeurs ainsi que les caractéristiques des systèmes d'IoT, leurs domaines d'applications et leurs travaux sur les serres intelligentes. À partir de ce qui est présenté dans ce chapitre, nous pouvons déduire que l'utilisation de l'IdO dans le cadre des serres implique que le traitement des problèmes se pose dans trois niveaux : perception des données climatologiques en utilisant les capteurs placés dans la serre, prétraitement, analyse et abstraction des données capturées et application des actions sur la serre en fonction des décisions prise par le système ou l'agriculteur. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter le contexte de notre projet sur l'agriculture intelligente et particulièrement les serres intelligentes.

Chapitre 2

Les serres intelligentes

2.1 Introduction

Les scientifiques cherchent des techniques et des moyens répondant aux besoins alimentaires suffisants pour la population mondiale qui ne cesse d'augmenter année en année et allant au-delà des menaces du changement climatique. L'agriculture intelligente utilise des technologies avancées telles que : Big Data, l'Internet des objets, etc. Elle facilite l'automatisation de l'agriculture, la collecte des données sur le terrain et l'analyse afin que les agriculteurs puissent prendre une décision précise en matière de production de cultures de haute qualité. Dans ce chapitre, nous présentons l'agriculture intelligente en générale et les serres intelligentes en particulier.

2.2 Agriculture intelligente

2.2.1 Définition de l'agriculture intelligente

L'agriculture intelligente[PPJ16] est une révolution de l'agriculture classique qui implique la réorientation des systèmes agricoles afin de soutenir efficacement le développement alimentaire. Le principal objectif de l'agriculture intelligente est d'accroître la productivité et les revenus agricoles.

L'agriculture intelligente implique l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC), et en particulier de l'Internet des objets (IoT) et de l'analyse de données volumineuses (Big data) associées pour faire face à ces défis via la surveillance électronique des cultures, ainsi que pour l'environnement, le sol, la fertilisation et les conditions d'irrigation. Ces données de surveillance peuvent ensuite être analysées pour identifier les cultures qui répondent le mieux aux objectifs de productivité de toute exploitation agricole dans le monde.

2.2.2 Domaines de l'agriculture intelligente

Agriculture de précision



FIGURE 2.1 – Agriculture de précision

L'agriculture de précision [13] est l'une des applications IoT les plus populaires dans le secteur agricole. De nombreuses organisations bénéficient de cette technologie dans le monde entier. Elle peut impliquer l'utilisation de divers types de capteurs qui remontent des informations riches de manière régulière, notamment :

- Des capteurs de sol alimentés par des piles recueillent des données sur la teneur des sols en azote ;
- Des capteurs d'irrigation mesurent le niveau d'eau et informent automatiquement le système d'irrigation et d'arrosage ;
- Des capteurs d'inondation surveillent également les niveaux d'eau et peuvent être réglés pour fermer automatiquement les vannes responsables d'un arrosage excessif des plantes et envoyer simultanément une alerte vers une adresse e-mail spécifiée ;
- Les agriculteurs peuvent également recueillir des données sur les engrais et les pesticides nécessaires à leurs cultures ;
- Capteur de gel qui permet de détecter et d'alerter automatiquement les utilisateurs lorsque les conditions météorologiques laissent présager un gel susceptible d'endommager les plantes sensibles.

Contrôle du bétail

Dans les grandes exploitations agricoles, les éleveurs peuvent effectuer un suivi plus précis de la santé, de l'alimentation, de la sécurité et d'autres points de surveillance de leur bétail grâce à l'utilisation des colliers trackers. Ils peuvent aussi géo localiser leurs bétails en temps réel, un système de stockage des données enregistre ensuite les informations dans une base de données afin d'établir un modèle de référence pour les mouvements du cheptel sur une période donnée. L'application des algorithmes intelligents sur ces modèles aide à déterminer si les bétails se déplacent de manière régulière, ou si certains animaux s'isolent du troupeau, comme c'est souvent dans le cas des animaux malades ou blessés.



FIGURE 2.2 – Contrôle de bétail

Serres intelligentes

La serre intelligente est une serre qui intègre la technologie d'Internet des objets en vue d'améliorer la productivité agricole. En effet, l'Internet des objets permet de collecter et analyser en temps réel les indicateurs bioclimatiques de la serre et par conséquent appliquer d'une manière automatique, semi-automatique ou manuelle les mesures et actions requises pour maintenir les conditions environnementales nécessaires aux plantes.



FIGURE 2.3 – Serre intelligente

2.3 Serres Intelligentes

2.3.1 Caractéristiques d'une serre intelligente

Pour qu'une serre intelligente détienne son titre « intelligente », elle doit nécessairement répondre aux caractéristiques suivantes [14] :

- Le réglage de la température à l'intérieur de la serre doit s'effectuer automatiquement à l'aide d'un capteur ;
- Présence obligatoire d'un système d'irrigation automatique ;
- Le sol dans la serre doit être restauré sans assistance humaine ;etc.

2.3.2 Avantages de l'automatisation des serres

L'automatisation des serres permet d'assurer au moins les avantages suivants [Daf19] :

- Eliminer la nécessité d'une surveillance statique des conditions climatiques dans les serres et assurer une surveillance à distance à ces conditions en fournissant les moyens permettant ainsi d'agir rapidement et en temps réel.
- Protéger les plantes contre les conditions climatiques extrêmes et maintenir les conditions environnementales nécessaires aux plantes afin d'éviter de les endommager ou-bien les tuer.

- Faciliter la gestion des serres sur de grandes exploitations en se capitalisant sur l'historique des données (météo, développement de culture, etc.), afin d'anticiper les actions de gestion pour une meilleure qualité de production.

2.3.3 Les principaux composants d'une serre intelligente

En plus des éléments qui constituent une serre ordinaire, la serre intelligente est équipée d'autres composants. Dans ce qui suit, nous présentons d'une manière générale ces composants. [FA19]

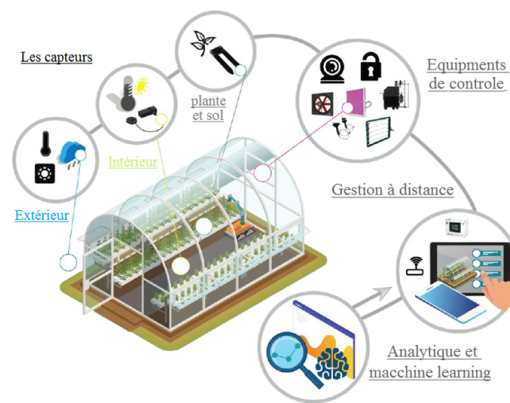


FIGURE 2.4 – Les éléments principaux qui composent un système de serre intelligente[FA19]

Les capteurs

On peut classer les capteurs selon leur endroit d'emplacement dans la serre en trois catégories :

- **Les capteurs extérieurs** : Tels que les capteurs de température, capteur de pluie, etc. Leurs rôles consistent à surveiller les conditions environnementales en dehors de la serre.
- **Les capteurs intérieurs** : La surveillance des conditions climatiques à l'intérieur de la serre se fait grâce à l'utilisation des capteurs tels que les capteurs de luminosité, les capteurs de gaz carbonique, les capteurs d'humidité d'air etc.
- **Les capteurs des plantes et du sol** : Il s'agit des capteurs placés près des plantes afin de surveiller la qualité du sol, la croissance et la bonne santé des plantes.

Équipement de contrôle

Les serres intelligentes sont dotées d'un ensemble d'équipements de contrôle, tels que les équipements de récolte, équipements de pulvérisation, les chauffages, auvents d'ombrage, les serrures de porte, les caméras de surveillance, etc. Le rôle de ces équipements est de maintenir les paramètres essentiels à la croissance des plantes et assurer la sécurité de la serre.

Gestion à distance

Pour offrir une meilleure production agricole et rentabilité d'exploitation, une gestion à distance est adaptée avec la mise en place des équipements, telles que des applications mobiles, applications web ou Android pour contrôler et gérer les paramètres climatiques.

Analytique et machine learning

Les nouvelles technologies reposant sur l'intelligence artificielle, l'IoT, le big data, la robotique et l'analyse avancée, permettent d'évoluer encore davantage les outils et tâches des professionnels et leur permet de répondre aux nouveaux enjeux du secteur et donc développement d'une serre intelligente.

Le machine learning et le deeplearning apportent de nouveaux outils de contrôle des exploitations, notamment en matière d'analyse d'échantillons de sol, afin de détecter plus facilement une possible contamination, la prolifération de microbes ou encore des mutations génétiques nuisibles. Algorithmes, reconnaissance d'images et vision par ordinateur permettent d'identifier l'état et les besoins des serres en temps réel à l'aide d'un simple smartphone par exemple.

2.3.4 Conditions environnementales dans les serres

La croissance des plantes dans les serres exige certaines conditions climatiques spéciales. Dans ce qui suit, nous présentons d'une manière générale ces conditions.

Température

La température est l'un des facteurs les plus importants responsables de la croissance des plantes. La température requise pour une croissance appropriée diffère d'une plante à une autre. Certaines plantes ont besoin de températures élevées pour pousser correctement, tandis que d'autres ont besoin de basses. Par conséquent, il est important de maintenir la température requise pour chaque type d'installation.

Humidité

L'humidité est un autre facteur essentiel pour maintenir la croissance des plantes. Ces dernières expulsent l'oxygène chaud et humide à mesure qu'elles grandissent et traitent le CO₂, ce qui rend l'environnement de la serre naturellement plus chaud et humide avec le temps. La présence d'une humidité élevée peut entraîner la croissance de moisissures et de maladies désagréables qui peuvent être extrêmement nocives pour les cultures.

Lumière du soleil

Les plantes utilisent la lumière du soleil pour la photosynthèse, ce qui est essentiel pour elles afin de créer de l'énergie à partir du CO₂ et d'eau. Certaines plantes préfèrent un fort ensoleillement, d'autres l'aiment avec moins d'intensité. Il est donc important de maintenir le niveau de luminosité requise pour chaque plante.

Humidité du sol

L'humidité du sol est un facteur primordial de la productivité agricole. Il est très important de fournir la bonne quantité d'eau aux plantes car une faible humidité entraîne un mauvais rendement et ruine la plante tandis qu'une humidité très élevée peut causer des maladies des racines et entraîner un gaspillage d'eau.

Dioxyde de carbone (CO₂)

Quelque soit le type des plantes, le CO₂ est un élément déterminant de la croissance. En stimulant la photosynthèse, il accroît les rendements et augmente de façon significative la qualité de la production. C'est pourquoi les producteurs cherchent à obtenir une teneur dans la serre en CO₂ supérieure à la normale pour maximiser l'activité de la photosynthèse.

2.3.5 Contrôle des conditions environnementales

Contrôle de la lumière

Le contrôle de la lumière peut concerner les actions suivantes :

- **Renforcement de l'éclairage** : Le renforcement de l'éclairage est requis dans le cas où la lumière qui pénètre à l'intérieur de la serre est insuffisante. De coup, l'installation d'un système d'éclairage supplémentaire basé sur des lampes électriques ou des LED est primordiale.



FIGURE 2.5 – Renforcement de l'éclairage avec des lampes.

- **Réduction de l'éclairage** : Lorsqu'il y a trop de lumière dans la serre, on peut utiliser des rideaux énergétiques, des couvertures d'ombrage, les auvents d'ombrage et des revêtements en plastique pour réduire la lumière dans la serre.



FIGURE 2.6 – les auvents d'ombrage pour réduction de l'éclairage.

Gaz carbonique

Le contrôle de CO₂ peut exiger l'augmentation de ce dernier dans la serre. Le CO₂ peut être obtenu par la combustion du carburant tels que le gaz naturel, le propane, le kérosène ou encore directement à partir de réservoirs contenant du CO₂ à l'état pur. Le contrôle de ce facteur environnemental peut aussi exiger la diminution de taux de CO₂ dans la serre par l'aération de la serre



FIGURE 2.7 – l'aération de la serre.

Humidité de l'air

Le contrôle de la lumière peut déclencher les actions suivantes

- **Diminuer l'humidité élevée** : Ceci peut être réalisé par l'aération de l'air humide vers l'extérieur. À chaque fois que la température extérieure est suffisamment chaude, la ventilation vers l'extérieur peut diminuer l'humidité.
- **Augmenter l'humidité** : Il est possible d'augmenter l'humidité en arrosant simplement le sol et en utilisant des climatiseurs de type refroidisseur de marais. Une autre méthode consiste à utiliser un système de brumisation pour pulvériser le brouillard dans l'air. Cela aidera à refroidir la serre tout en ajoutant de l'humidité à l'air.

Température

Le contrôle de la lumière peut concerner les actions suivantes :

- **Refroidissement** : Le refroidissement peut être réalisé par plusieurs méthodes : par évaporation d'eau, par toile d'ombrage et par le mouvement de l'air.



FIGURE 2.8 – Toile d’ombrage pour les serres.

- **Chauffage** : Si la température baisse à un niveau inférieur à celui accepté par les cultures, on utilise un moyen de chauffage tel que les chaudières à gaz pour élever la température.



FIGURE 2.9 – Chauffage dans les serres.

2.3.6 Systèmes de contrôle automatique

Le système de contrôle automatique permet de surveiller en temps réel tous les changements environnementaux et les statuts ou défaillances d’équipement. Il permet également de surveiller les conditions telles que les fluctuations de l’humidité, les failles de sécurité, le chauffage, le ventilateur, l’équipement et les pannes de courant.

Plusieurs techniques sont utilisées pour contrôler l'environnement des serres. Dans ce qui suit, nous présentons les techniques les plus utilisées pour contrôler les facteurs environnementaux [Daf19].

Systèmes d'irrigation

L'arrosage est évidemment primordial dans la réussite des cultures. Le système d'irrigation idéal pour une culture en serre est influencé par divers facteurs, notamment le type de serre, le type de culture en question, le type de sol et le climat. C'est pourquoi plusieurs techniques d'irrigation sont mises en œuvre :

- **L'irrigation goutte à goutte** : Utilisée pour fournir à la plante la quantité exacte d'eau et de nutriments dont elle a besoin.
- **L'irrigation souterraine** : Les tuyaux sont spécialement conçus pour fonctionner sous terre, ce qui permet de délivrer une proportion d'eau et de nutriments exactement à la racine de la plante.
- **L'irrigation par micro-aspersion** : Il s'agit d'un système d'irrigation moins précis car son alimentation en eau est aérienne et ne garantit pas l'alimentation exacte de la plante.

Système d'ouverture des serres :

Le système d'ouverture des serres permet d'aérer la serre afin de maintenir la température, de l'humidité, de CO₂, etc., aux valeurs requises pour les plantes. Par exemple, un système de contrôle automatique de température peut être réalisé en utilisant un capteur de température, qui transmet les valeurs captées à un circuit électronique. Ce dernier décide à partir de quelle et jusqu'à quelle température il faut maintenir le système ouvert (grâce à un petit moteur et un mécanisme de transformation du mouvement).

Surveillance de l'environnement :

Dans les serres intelligentes automatisées, la surveillance de l'environnement et le climat est très importante. Cette opération est basée sur l'utilisation des divers capteurs déployés à l'intérieur et à l'extérieur de la serre. Ces derniers collectent en temps réel et d'une manière permanente des informations sur les normes environnementales.

Les informations fournies sont utilisées par la suite pour le contrôle automatique des déclencheurs.

2.4 Travaux connexes

Dans cette section, nous allons présenter quelques systèmes qui sont déjà réalisés dans le contexte d'automatisation d'une serre agricole.

2.4.1 Automatisation d'une serre en utilisant l'IoT

L'idée de ce projet[DJSR19] est de surveiller une serre à distance à l'aide des technologies IoT, pour augmenter le taux de production et de minimiser l'inconfort causé aux agriculteurs. Le système est réalisé à base d'une carte de développement Wifi Netduino3 et des capteurs cités ci-dessous :

- Capteur DHT11 qui mesure la température et l'humidité d'air ;
- Capteur de lumière GL5528 ;
- Circuit intégré de pilote de moteur L293D ;
- Des refroidisseurs et des fenêtres coulissantes ;
- Relais ;
- Capteur d'humidité du sol YL69.

Les différents capteurs sont connectés aux broches d'entrées de la carte Netduino3 par contre le pont H L293D et le relais (pour réguler les actionneurs) sont reliés aux broches de sortie de la carte.

Le L293D pilote deux moteurs ; un pour commander les fenêtre coulissante et l'autre pour commander les refroidisseurs.

A base des seuils de température, l'humidité et la lumière prédéfinis auparavant, la carte Netduino3 actionne le L293D afin de maintenir la température et de réguler la qualité d'air dans la maison verte. La carte Netduino3 établie une connexion wifi avec le cloud pour transmettre les informations récoltées par les capteurs qui seront stockées dans une base de données cloud, ensuite les transférer vers un appareil mobile afin que l'agriculteur puisse surveiller sa serre à distance.

Ce système permet :

- D'échapper à l'interaction de l'homme à la machine et fournit une interaction machine à machine.
- Utilisation des plateforme IoT et des services cloud qui offrent une automatisation de la serre en établissant des connexions entre l'utilisateur et les objets connectés.
- Collecte d'informations en temps réel.

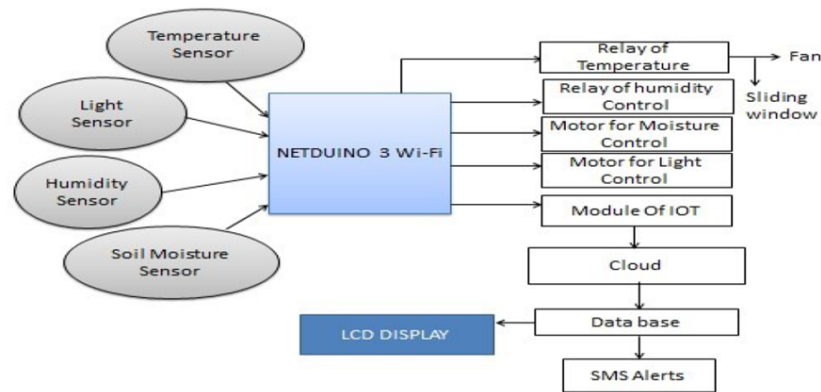


FIGURE 2.10 – Schéma de raccordement avec la carte Netduino3.

2.4.2 Conception d'un système intelligent de contrôle des serres sans fil basé sur la technologie embarquée

L'idée de ce projet [JQ17] est d'introduire un système intelligent qui mesure et contrôle des serres basées sur la technologie embarquée et la technologie de communication sans fil, en utilisant une conception avec un ordinateur hôte (niveau supérieur) et un ordinateur de niveau inférieur.

Le système est réalisé à base de trois parties : partie d'un ordinateur hôte, partie d'un ordinateur inférieur (STM32) et une partie client distant. Dans la partie inférieure, il se trouve : Un microcontrôleur STM32 relié à une partie capteurs (capteur d'humidité du sol, capteur de température et d'humidité d'air (DHT11), capteur de lumière, détecteur de CO₂) et une partie actionneurs régulée par un module relais (pompe à eau, machine automatique à rouler pour les fenêtres roulantes, circuit d'éclairage PWM, chauffage, un refroidisseur et une commande de générateur de CO₂).

- Clavier pour définir des seuils aux données captées afin que STM32 traite ces données et déclenche ensuite des actions dans le but de réguler les conditions climatiques.
- Ecran LCD TFT pour afficher les paramètres environnementaux captés et l'état du matériel.

Cette partie inférieure est reliée à l'ordinateur hôte via une connexion sans fil (Zigbee).

Dans la partie supérieure, il se trouve un ordinateur équipé d'une configuration logicielle (définition des seuils, surveillance et stockage des données reçues par STM32 et accès d'utilisateur à l'historique des données en cas de besoin).

La partie client distant est ajoutée afin d'assurer un contrôle à distance, si

l'utilisateur ne se trouve pas sur place il peut contrôler et configurer son système via internet en accédant à l'ordinateur hôte à l'aide d'une adresse IP.

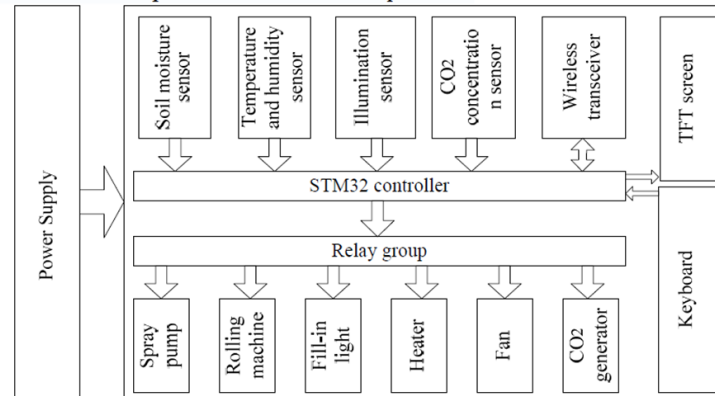


FIGURE 2.11 – Schéma de conception globale du système .

Ce système permet de :

- Télécommander une serre par un utilisateur qui est présent dans sa serre et évolution du système pour un contrôle à distance dans le cas d'absence d'utilisateur ;
- Offrir une automatisation de la serre basée sur la technologie embarquée, la technologie de communication sans fil et la technologie Internet ;
- Une bonne adaptabilité aux différentes tailles et différentes exigences de contrôle ;
- Un faible coût.

2.4.3 Conception d'une serre intelligente et un système de surveillance basé sur le réseau de capteurs sans fil et le réseau neuronal

L'idée de ce projet[LFj16] est de réaliser une serre intelligente surveillée à distance à base d'un réseau de capteurs sans fil et d'un réseau neuronal, qui répondent à des phénomènes tels que la consommation d'énergie, la durée de vie de système, le retard et le couplage.

Ce système se compose de trois structures de couches, qui sont : couche de détection, couche réseau et couche d'application.

La couche de détection se compose d'un nœud de communication sans fil qui contient :

- Un nœud d'acquisition pour recueillir les informations récoltées par les capteurs (température, l'humidité, la concentration de CO2, l'intensité lumi-

- neuse, etc.) et les envoyer vers le nœud de contrôle.
- Un nœud de contrôle reçoit les informations envoyées par le nœud d'acquisition. Il assure l'agrégation de ces données, les envoie vers le nœud passerelle et aussi envoie des commandes vers le nœud d'exécution.
- Le nœud d'exécution reçoit les commandes et ouvre ou ferme le dispositif correspondant.

Les communications entre les nœuds de la couche de détection sont réalisées avec une communication sans fil Zigbee.

La couche réseau utilise le réseau GPRS (2.5G), tel que le nœud maître utilise cette couche comme intermédiaire pour envoyer les données collectées par le nœud d'acquisition et les messages d'alarme au mobile de l'utilisateur.

La couche application permet à l'utilisateur de télécommander et surveiller la serre en temps réel grâce à des logiciels installés sur cette couche.

Et enfin, puisque la serre a des paramètres de température et d'humidité avec une répartition inégale et un fort couplage, le système utilise un réseau neuronal flou qui a un bon contrôle et une efficacité dans un système de serres complexe et modifiable.

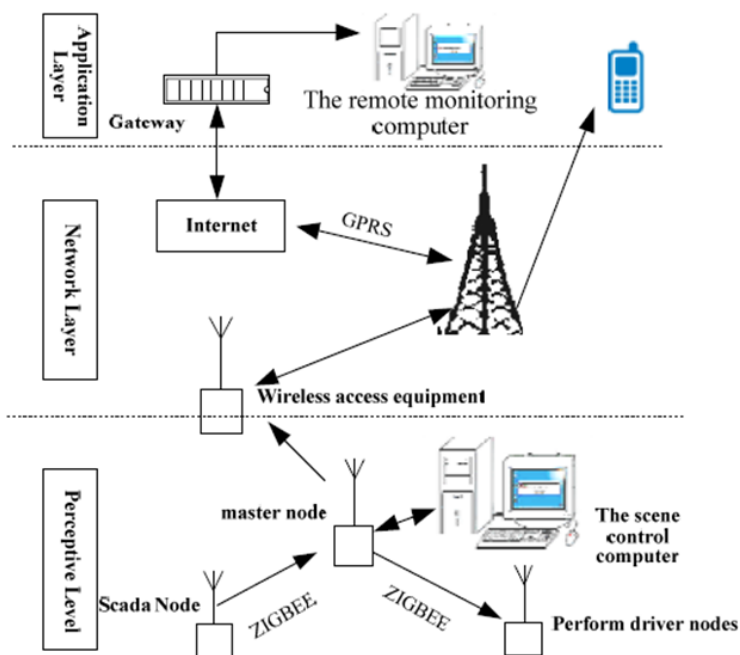


FIGURE 2.12 – L'architecture des couches de ce système.

Ce système permet :

- La résolution des problèmes de serre liés aux couplage et la difficulté de contrôle, avec le réseau neuronal flou et le réseau de capteur sans fil.
- La résolution des problèmes comme le grand nombre de câblage et le coût élevé.
- Un faible coût, structure simple, flexibilité du réseau et une extension facile, qui s'adapte aux exigences de contrôle complexe des serres.

2.4.4 Un système intelligent de surveillance et de contrôle des serres basé sur un microcontrôleur Arduino UNO

L'idée de ce projet[HSR17] est de réaliser un système intelligent de surveillance et de contrôle des serres à petite échelle et de le simuler dans le logiciel Proteus. Ce système se compose de trois systèmes principaux de blocs fonctionnels qui sont :

- Un système de bloc de surveillance configuré par un réseau de capteurs sans fil à sauts multiples pour couvrir une grande zone tout en détectant plusieurs paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité, l'humidité du sol, la lumière, etc.
- Un système de bloc de contrôle qui contient Arduino UNO avec diverses interfaces pour fournir une connexion avec le système via une communication mobile (GSM), un serveur Internet pour faire fonctionner le microcontrôleur Arduino UNO, un écran LCD pour afficher les conditions instantanées de l'environnement sur le terrain et divers moteurs, actionneurs pour réagir aux instructions Arduino.
- Un système de bloc utilisateur, grâce à une interface Web ou une application mobile, le cultivateur ou l'utilisateur du système peut surveiller et agir sur divers actionneurs moteurs en fonction des données de terrain collectées pour améliorer les conditions de croissance des cultures.

Le système développé est mis en œuvre et testé dans des conditions de laboratoire à l'aide de la boîte à outils Proteus. L'outil IDE (Integrated Développement Environnement) d'Arduino est utilisé pour développer les logiciels nécessaires.

Les résultats montrent que le système proposé peut surveiller et évaluer de près les conditions des champs agricoles en serre avec précision. Enfin, l'utilisateur peut envoyer instantanément des décisions de contrôle pour simuler les conditions de croissance du rendement et ainsi augmenter considérablement la production des cultures.

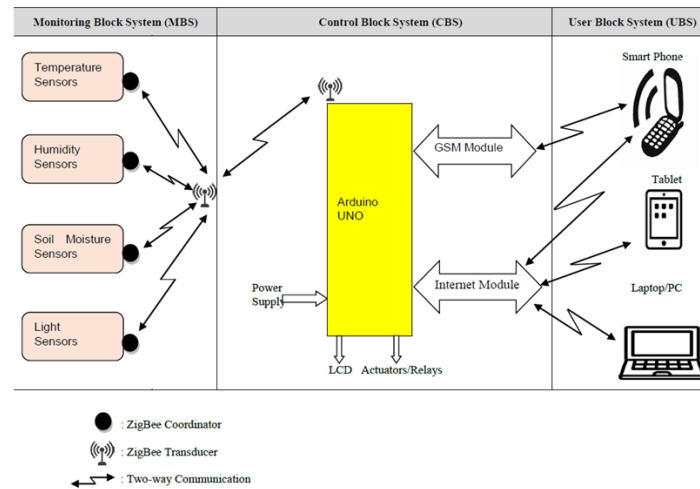


FIGURE 2.13 – les communications des différents bloc avec Arduino UNO.

Pour conclure, nous pourrions résumer quelques inconvénients tirés de l'ensemble de ces projets présentés ci-dessus. Parmi eux :

- L'utilisation du cloud provoque des temps de latences très élevés qui ralentissent les opérations interne du système et aussi, se fier à internet pour accéder au cloud engendre un certain nombre de risques en terme de performances tels que l'exposition aux différentes attaques.
- L'arduino UNO dispose de la configuration minimale prévue pour les débutants et convient donc à de petits projets. En effet, elle n'est pas compatible pour un contrôle complexe des serres.

2.5 Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour détailler les conditions et indicateurs climatiques et les techniques globales qu'il faut prendre en compte pour réaliser un contrôle intelligent d'une serre. Ensuite, nous avons présenté quelques travaux déjà réalisés dans ce contexte.

Dans le chapitre suivant, nous allons passer à la phase de conception et réalisation où nous allons présenter et détailler la démarche suivie pour réaliser notre système qui consiste en l'automatisation d'une serre agricole.

Chapitre 3

Conception et Réalisation

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter en premier lieu l'objectif de notre travail, le principe de la solution proposée et l'architecture globale du système. Par la suite, nous présenterons les outils matériels, les environnements logiciels utilisés pour développer notre système, ainsi que les différentes plateformes d'exécution de ces différentes parties.

3.2 Objectif et description du système à réaliser

L'objectif de notre travail est de réaliser un système d'automatisation autonome d'une serre agricole. Pour se faire, il est primordial, de prendre en compte certains paramètres à savoir : la température, l'humidité du sol, la lumière, l'arrosage (la quantité d'eau requise aux plantes) et la qualité de l'air (le taux de CO₂).

Notre système contrôlera tous ces paramètres automatiquement, et pourra prendre une décision de déclencher les actions nécessaires. La catégorie des espèces cultivées à l'intérieur de la serre, les conditions climatiques requises et les seuils des différents paramètres, à ne pas dépasser, seront donnés par l'utilisateur, via une application android et le système développé les prendra en compte lors du contrôle de la serre. De plus, l'utilisateur pourra visualiser l'évolution de ces paramètres au cours du temps, grâce à des graphes établis par l'application android. Dans le cadre de ce projet, les paramètres qui seront mesurés et étudiés sont :

- La qualité de l'air
- La température de l'air
- L'humidité du sol
- L'arrosage

- La luminosité

Suite à ces paramètres, note système peut fournir les services suivants :

- Arrosage des plantes et gestion de l'irrigation
- Gestion de ventilation
- Gestion de réservoir
- Gestion de l'éclairage

3.3 Les outils utilisés

3.3.1 Les cartes




La carte	L'image
ESP-wroom-32	
Raspberry pi 3 modèle B+	
SIM808	

TABLE 3.1 – Les cartes utilisées

3.3.2 Les capteurs


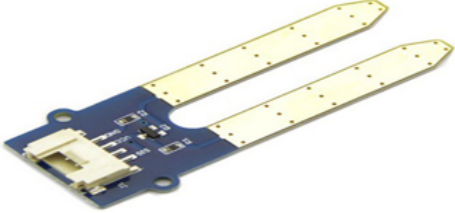


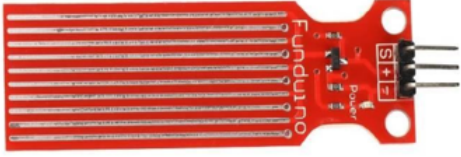
Le capteur	L'image
Capteur de température V1.2	
Capteur d'humidité du sol V1.4	
Capteur de luminosité	
Capteur de gaz (MQ 135)	
Capteur de niveau d'eau	

TABLE 3.2 – Les capteurs utilisés

3.3.3 Les actionneurs

Nous avons utilisé les actionneurs qui sont résumés dans le tableau ci-dessous.



L'actionneur	L'image
Electrovanne	
Pompe à eau	
Ventilateur	
Moteur pas à pas (28 byj 48) + Un driver ULN2003	
Lampe	

TABLE 3.3 – Les actionneurs utilisés

3.3.4 Les autres composants



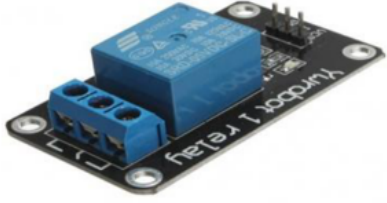
Les composants	Image
Les résistances	
Brochage du L293D	
Un relais	

TABLE 3.4 – Les autres composants utilisés

3.3.5 Outils de développement utilisés

- Influxdb

3.3.6 Protocole utilisé

- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).

3.3.7 L'environnement de programmation

- PlatformIO IDE.

3.4 Démarche suivie

3.4.1 Architecture proposée

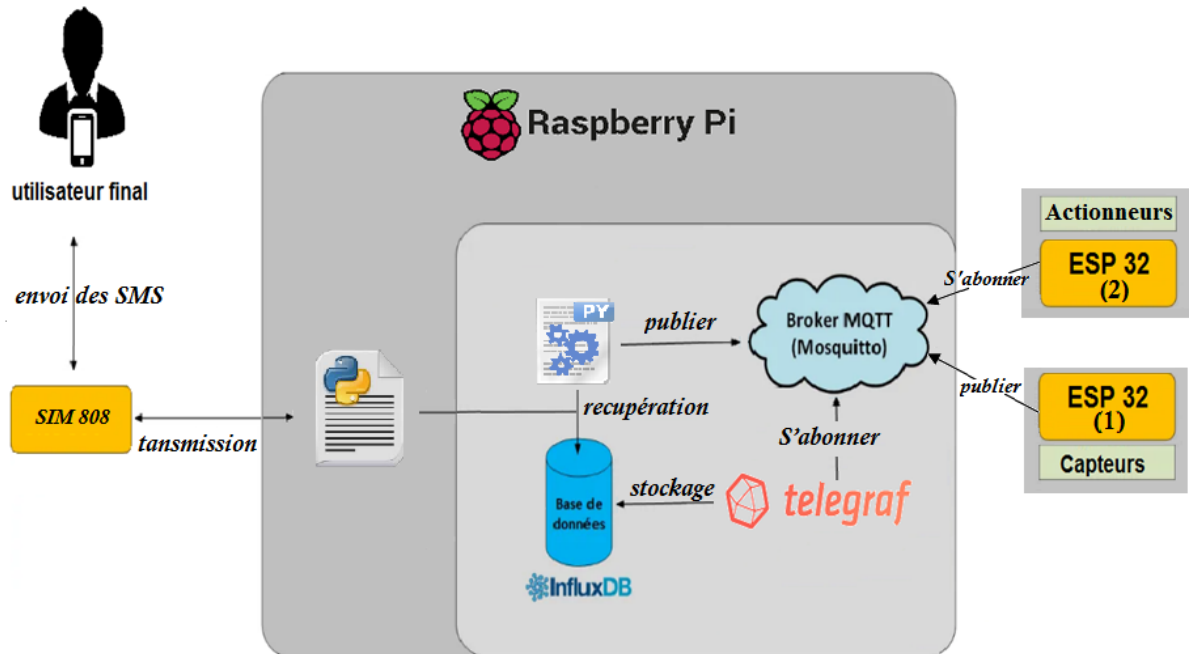


FIGURE 3.1 – Architecture proposée

- **Interprétation du schéma**

L'ESP32 gère les capteurs et envoie les données récoltées dans la serre vers le Raspberry pi qui agit comme un serveur central. L'échange des données entre ces deux cartes se fait comme suit : L'ESP32 agit en tant qu'éditeur. Elle publie des données provenant des capteurs dans un brocker MQTT (mosquitto) qui accepte ces données. Telegraf s'abonne à ce dernier et stocke les informations publiées dans une base de données chronologiques (influxdb). Tous ces composants (Mosquitto, telegraf et InfluxDB) s'exécutent dans le raspberry pi. Les données stockées seront communiquées à une application android à l'aide d'un module SIM808 via GSM pour qu'elles soient toujours visualisées par l'utilisateur sous forme de tableau de bord et des graphes.

Au niveau de l'application android, l'utilisateur a à définir l'espèce (légumière ou florale) cultivée sous serre, les différents seuils des paramètres climatiques à prendre en compte, comme par exemple, la température, qui ne doit pas dépasser un certain degré.

Grâce à ces informations que le système peut prendre décision au niveau du Raspberry Pi de réaliser une telle ou telle action. En effet, les données collectées par les différents capteurs seront traitées au niveau du Raspberry Pi en tenant compte des informations fournies par l'utilisateur. En conséquence, les actions appropriées qui doivent se déclencher à l'intérieur de la serre seront extraites. Donc, c'est à ce niveau que l'état des actionneurs est contrôlé. La décision prise par le raspberry pi sera communiquée par la suite à une ESP32 afin de réaliser l'action.

3.4.2 Description de tous les outils utilisés

Les cartes

1. ESP32 [15] :

ESP32-WROOM-32 est un module puissant fabriqué par Espressif qui cible une grande variété d'applications, allant des réseaux de capteurs à faible puissance aux tâches les plus exigeantes, telles que l'encodage vocal, la diffusion de musique et le décodage MP3. Au cœur de ce module se trouve la puce ESP32-D0WDQ6 * qui est conçue pour être évolutive et adaptative. Il existe deux cœurs de processeur qui peuvent être contrôlés individuellement. L'ESP32 intègre un riche ensemble de périphériques, allant des capteurs tactiles capacitifs, interface de carte SD, Ethernet, SPI haute vitesse, UART, I2S et I2C.

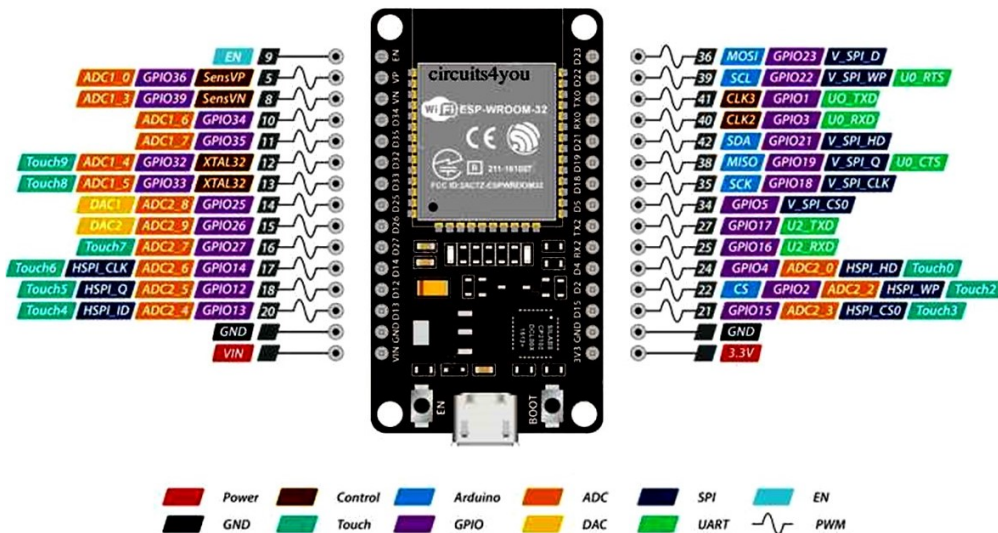


FIGURE 3.2 – La carte ESP32

Caractéristiques

- Dimensions :18 mm x 25.5 mm x 3.1 mm.
- Catégorie du produit modules Wi-Fi (802.11).
- Protocole pris en charge pour le wifi 802.11 b/g/n.
- Fréquence de 2.4 GHz à 2.5 GHz.
- Débit de données de150 Mb/s.
- Tension d'alimentation de fonctionnement entre 2.7 V et3.6 V.
- Température de fonctionnement entre - 40 C et + 85 C.
- Sécurité : WPA, WPA2, WPA2-Enterprise, WPS.
- Sensibles à l'humidité.
- Fréquence d'horloge réglable de 80 MHz à 240 MHz.

2. Raspberry pi 3 modèle b+ [16] :

Raspberry pi est un nano-ordinateur à processeur ARM qui peut être branché à plusieurs périphériques tels que : la souris, le clavier, l'écran, etc. Il est capable d'exécuter plusieurs variantes du système d'exploitation libre (GNU/Linux, Raspbian, Debian, etc.) et d'autres logiciels compatibles. Le but original était de redonner un souffle à l'apprentissage de l'informatique aux enfants avec l'IDE Scratch et Python. Mais actuellement, il est utilisé dans divers domaines tels que l'électronique et la robotique grâce aux GPIO, il peut aussi être utilisé comme un serveur ou un hébergeur web.

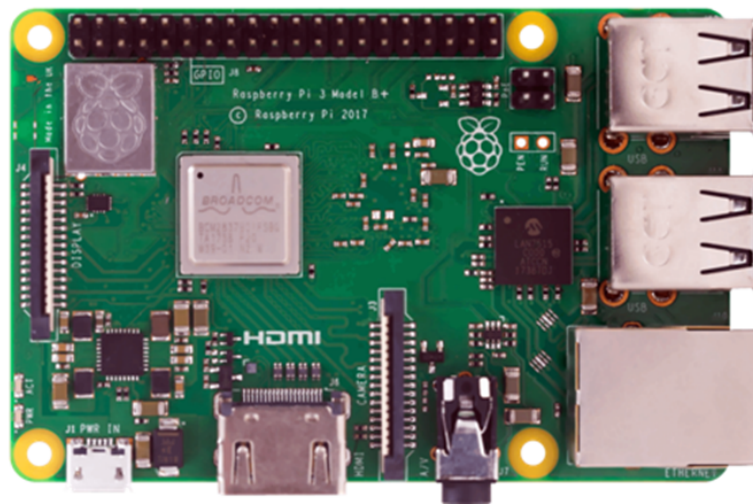


FIGURE 3.3 – le raspberry pi 3 modèle b+.

3. Le module SIM808 [17] :

Le module SIM808 est un module GSM/GPRS quadri-bande complet qui combine la technologie GPS pour la navigation par satellite. La conception

CHAPITRE 3. CONCEPTION ET RÉALISATION

compacte qui a intégré le GPRS et le GPS dans un package SMT permettra aux clients d'économiser beaucoup de temps et d'argent pour développer des applications compatibles GPS. Doté d'une interface standard et d'une fonction GPS, il permet de suivre de manière transparente les données sans fil à n'importe quel endroit et à tout moment avec une couverture de signal.

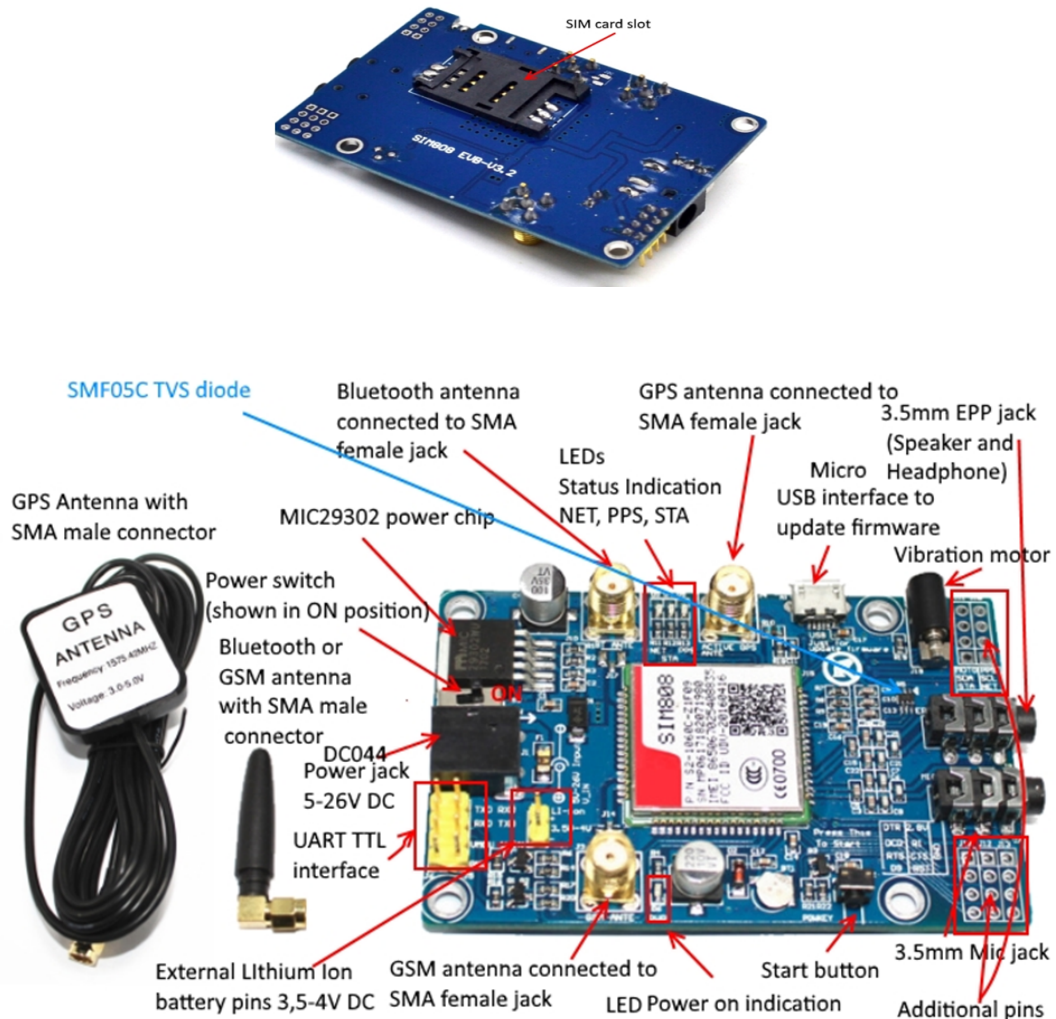


FIGURE 3.4 – Le module SIM808.

Les fonctions :

- Envoyer et recevoir des données GPRS (TCP/IP, HTTP, etc.) ;
- Recevoir des données GPS et des données A-GPS ;
- Envoyer et recevoir des SMS ;
- Passer et recevoir des appels. téléphoniques

Caractéristiques

Voici quelques-unes des caractéristiques les plus importantes :

- Il permet d'envoyer des SMS, MMS, GPRS et Audio via UART en utilisant les commandes AT ;
- Haute sensibilité de réception GPS avec 22 canaux de suivi et 66 canaux de récepteur d'acquisition ;
- devrait donc fonctionner dans tous les pays de monde en entier avec des réseaux GSM (2G 3G 4G) ;
- Intégration de la pile TCP / UDP ce qui nous permet de télécharger des données vers un serveur Web ;
- Prend en charge RTC (horloge en temps réel) ;
- Doté d'un port série sélectionnable ;
- Faible consommation énergétique, 1mA (mode veille) ;
- Pise en charge niveau logique de 3.0 V à 5.0 V ;
- Doté d'une interface USB qui est utilisée pour mettre à jour le Firemware du module SIM808 ;
- A des prises microphone et casque pour les appels téléphoniques ;
- Plage de température -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$.

Les capteurs

1. Capteur d'humidité du sol V1.4[18] :

Le capteur d'humidité du sol est utilisé pour détecter l'humidité du sol ou juger s'il y a de l'eau autour du capteur. Le principe de son fonctionnement est assez simple. En fait, les deux grands plots exposés fonctionnent comme des sondes pour le capteur, agissant ensemble comme une résistance variable. Plus il y a d'eau dans le sol, meilleure sera la conductivité entre les coussinets et entraînera une résistance plus faible.

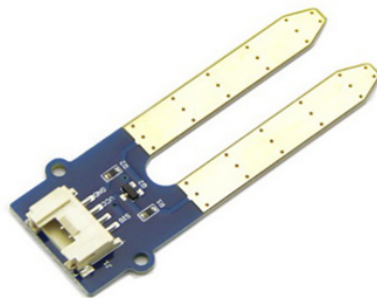


FIGURE 3.5 – Capteur d'humidité du sol V1.4

Spécification :

Article	Condition	Min	Max	Unité
Tension	-	3,3	5	V
Courant	-	0	35	mA
Valeur de sortie	Capteur dans un sol sec	0	300	-
	Capteur dans un sol humide	300	700	-
	Capteur dans l'eau	700	950	-

TABLE 3.5 – Les spécifications du capteur d’humidité du sol V1.4 [5]

2. Capteur de température V1.2 : [19]

Ce capteur utilise une thermistance pour détecter la température ambiante. La résistance d’une thermistance augmentera lorsque la température ambiante diminue. C’est cette caractéristique que nous utilisons pour calculer la température ambiante. La plage détectable de ce capteur est de -40 °C à 125 °C et la précision est de $\pm 1,5$ °C.

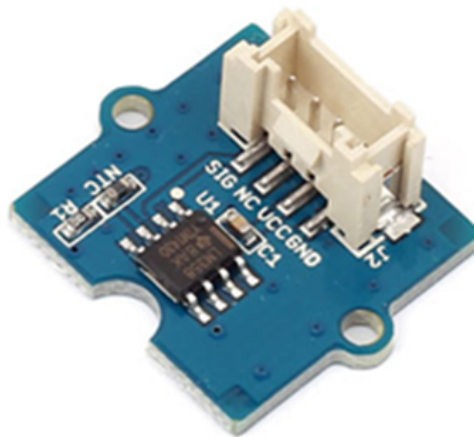


FIGURE 3.6 – Capteur de température V1.2

Caractéristiques :

- Tension : 3,3 – 5 V.
- Résistance de puissance nulle : 100 Komega.
- Tolérance de résistance : ± 1
- Plage de température de fonctionnement : -40 – +125 °C.
- Constante B nominale : 4250 – 4299K.

3. Capteur de luminosité (photorésistance) :

Une photorésistance[20] ou résistance photo-dépendante (LDR : light Dependent Resistor) est un composant électronique dont la résistivité varie en fonction de la quantité de lumière à laquelle il est exposé. La principale utilisation de la photorésistance est la mesure de l'intensité lumineuse.

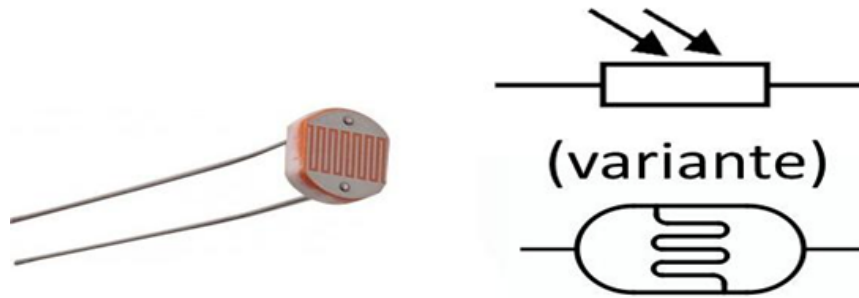


FIGURE 3.7 – la photorésistance.

Principe de fonctionnement de la photorésistance : [20]

Un cristal de semi-conducteur à température basse contient peu d'électrons libres. La conductivité du cristal est très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal augmente, de plus en plus d'électrons qui étaient immobiles dans les liaisons covalentes s'échappent et peuvent participer à la conduction.

A température constante, si le même cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut suffire à libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre atomes du cristal. Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons disponibles pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue. La sensibilité dépend de la fréquence de la radiation lumineuse.

• **Interprétation des valeurs données par une photorésistance**

Activité ou lieu concerné	Eclairage moyen
Nuit de pleine lune	0,5 lux
Rue de nuit bien éclairée	20 à 70 lux
Local de vie	100 à 200 lux
Appartement bien éclairé	200 à 400 lux
Local de travail	200 à 3 000 lux
Stade de nuit	150 à 1500 lux
Extérieur par ciel couvert	500 à 25 000 lux
Extérieur en plein soleil	50 000 à 100 000 lux

TABLE 3.6 – Interprétation des valeurs données par une photorésistance [8]

4. **Capteur de gaz (MQ-135)[21] :**

Le MQ135 est un capteur qui permet de mesurer la qualité de l'air. En fait, ce capteur est sensible aux principaux gaz polluants présents dans l'atmosphère. Il détecte une large gamme de gaz, dont le CO₂, l'alcool, le benzène, l'oxyde d'azote (NO_x) et l'ammoniac (NH₃).

Caractéristiques du capteur : [21]

- Large champ de détection
- Réponse rapide et haute sensibilité
- Stable et longue durée de vie
- La tension de fonctionnement est de + 5 V
- Détecter / mesurer NH₃, NO_x, alcool, benzène, fumée, CO₂, etc.
- Tension de sortie analogique : 0V à 5V
- Tension de sortie numérique : 0V ou 5V (TTL)
- Durée de préchauffage 20 secondes
- Peut être utilisé comme capteur numérique ou analogique
- La sensibilité de la broche numérique peut être modifiée à l'aide du potentiomètre.

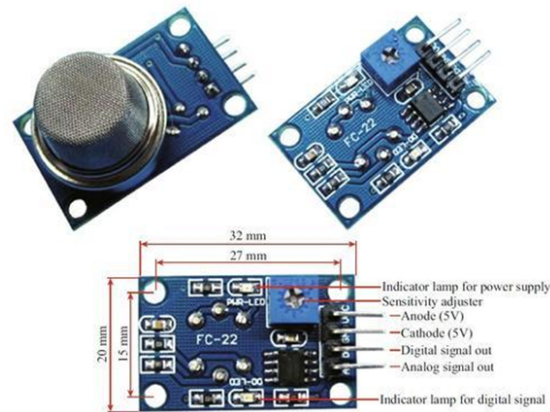


FIGURE 3.8 – Le capteur MQ135.

5. Capteur de niveau d'eau [22] :

Le capteur a une série de dix traces de cuivre exposées, dont cinq sont des traces de puissance et cinq sont des traces de détection. Ces traces sont entrelacées de manière à ce qu'il y ait une trace de sens entre toutes les deux traces de puissance.

Habituellement, ces traces ne sont pas connectées mais sont pontées par l'eau lorsqu'elles sont submergées. Lorsque le capteur est sous tension, un voyant d'alimentation s'allume.

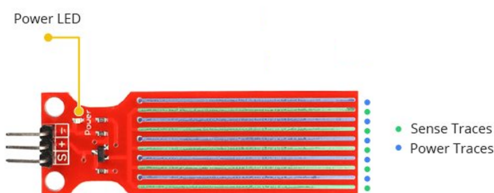


FIGURE 3.9 – Capteur de niveau d'eau

Le fonctionnement du capteur de niveau d'eau [22] :

Le fonctionnement de ce capteur est assez simple. La série de conducteurs parallèles agit comme une résistance variable (tout comme un potentiomètre) dont la résistance varie en fonction du niveau d'eau. Cette résistance est inversement proportionnelle à la hauteur de l'eau :

Plus le capteur n'est immergé d'eau, il en résulte une meilleure conductivité et une résistance plus faible. Moins le capteur est immergé dans l'eau, entraîne une mauvaise conductivité et une résistance plus élevée. En fonction

de cette résistance, Le capteur produit une tension de sortie qu'on mesure pour déterminer le niveau d'eau.

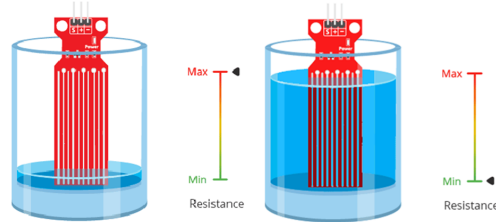


FIGURE 3.10 – Le fonctionnement du capteur de niveau d'eau

Les actionneurs

1. Moteur pas à pas (28 byj 48 5V) + Un driver ULN2003 [23] :

Spécifications techniques du moteur

- Tension nominale : 5V DC ;
- Nombre de phases : 4 ;
- Angle de foulée : $5,625^\circ / 64$;
- Tirez le couple : 300 gf.cm ;
- Puissance isolée : 600VAC / 1mA / 1s ;
- Bobine : bobine unipolaire à 5 fils.

Configuration des broches

Nom de la broche	Couleur de fil	Description
Bobine 1	Orange	Ce moteur a un total de quatre bobines. Une extrémité de toutes les bobines est connectée à un fil + 5V (rouge) et l'autre extrémité de chaque bobine est retirée en tant que couleurs de fil Orange, Rose, Jaune et Bleu respectivement
Bobine 2	Rose	
Bobine 3	Jaune	
Bobine 4	Bleu	
+ 5 V	Rouge	Nous devons fournir + 5V à ce fil, cette tension apparaîtra à travers la bobine qui est mise à la terre.

TABLE 3.7 – Configuration des broches

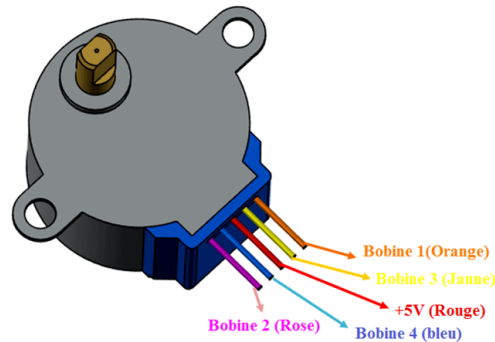


FIGURE 3.11 – Les broches du moteur pas à pas (28 byj 48) 5V

Le fonctionnement du moteur pas à pas 28-BYJ48

Ces moteurs pas à pas consomment un courant élevé et donc un circuit intégré de pilote comme l'ULN2003 est obligatoire. Pour savoir comment faire tourner ce moteur, nous devons regarder dans le diagramme de bobine ci-dessous.

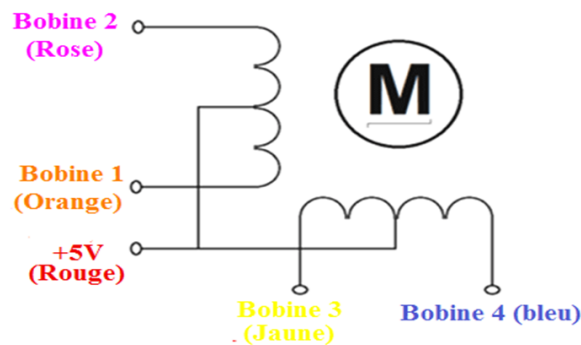


FIGURE 3.12 – Diagramme de bobine de moteur pas à pas

Comme nous pouvons le voir, il y a quatre bobines dans le moteur et une extrémité de toutes les bobines est liée à + 5V (rouge) et les autres extrémités (orange, rose, jaune et bleu) sont retirées sous forme de fils. Le fil rouge est toujours fourni avec une alimentation constante de + 5V et ce + 5V traversera (alimentera) la bobine uniquement si l'autre extrémité de la bobine est mise à la terre. Un moteur pas à pas ne peut tourner que si les bobines sont alimentées (mises à la terre) dans une séquence logique. Cette séquence logique peut être programmée à l'aide d'un microcontrôleur ou en concevant un circuit numérique. La séquence dans laquelle chaque bobine doit être déclenchée est indiquée dans le tableau ci-dessous.

Ici, «1» représente la bobine est maintenue à + 5V, puisque les deux extrémités de la bobine sont à + 5V (rouge et autre extrémité), la bobine ne sera pas alimentée. De même, «0» représente la bobine maintenue à la masse, maintenant une extrémité sera + 5V et l'autre sera mise à la terre pour que la bobine soit alimentée.

Couleur du fil du moteur	Séquence de rotation dans le sens horaire							
	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4	Étape 5	Étape 6	Étape 7	Étape 8
Orange	0	0	1	1	1	1	1	0
Jaune	1	0	0	0	1	1	1	1
Rose	1	1	1	0	0	0	1	1
Bleu	1	1	1	1	1	0	0	0
Rouge	1	1	1	1	1	1	1	1

TABLE 3.8 – La séquence dans laquelle chaque bobine doit être déclenchée.

2. Pompe d'arrosage :

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide, il existe une panoplie de pompes adaptées à chaque besoin, le choix d'une pompe s'effectue toujours selon son usage et la détermination des paramètres de performances. Pour notre système d'irrigation, nous avons besoin d'une pompe d'arrosage, c'est l'organe qui fournit au sol l'eau dont les plantes ont besoin pour garder l'humidité du sol au niveau de la consigne. Pour notre prototype, nous avons fabriqué une pompe avec une seringue 60ml, un moteur DC 5v et contrôlée par un circuit de puissance L293D.

3. Electrovanne[24]

Une électrovanne est un robinet électrique à deux positions servant uniquement à ouvrir et fermer l'arrivée d'eau. Son rôle dans notre système est de gérer la distribution de l'eau afin de remplir le réservoir quand le niveau d'eau est insuffisant. L'électrovanne est contrôlée par un relais.

Spécification :

- Modèle : FPD-270A
- Type : NC / normalement fermé
- Fil : G1 / 2
- Tension nominale : DC12V
- Courant nominal : 12v-300mA
- Classe d'isolation : Classe d'isolation E
- Température du fluide applicable : 0-55 ° C

- Pression d'eau applicable : 0.02-0.8Mpa
- Taille : 6.5 * 3.3 * 5.5cm / 2.6 * 1.3 * 2.2in
- Poids : environ 100 g
- Caractéristiques d'écoulement :
 - environ 0.02Mpa > 2L / min ;
 - environ 0,10 MPa > 10 L / min ;
 - environ 0,30 MPa > 16 L / min ;
 - environ 0.80Mpa > 28L / min



FIGURE 3.13 – Taille d'une électrovanne.

4. Ventilateur

Les ventilateurs permettent de forcer l'aération dans la serre afin de garder les paramètres climatiques (température, humidité et taux de CO₂ dans l'air) au voisinage des consignes choisies. Dans la réalisation de notre prototype, nous avons utilisé un ventilateur d'alimentation de PC et contrôlé par un circuit de puissance L293D.



FIGURE 3.14 – Ventilateur 12V.

5. Lampe

Nous avons utilisé une simple lampe néon de 220V contrôlée par un relais pour éclairer la serre.

Les autres composants

1. L293D[25] :

Le composant L293D est un pont de puissance composé de plusieurs transistors et relais qui permet d'activer la rotation d'un moteur.

Le L293D est un double pont-H, ce qui signifie qu'il est possible de l'utiliser pour commander quatre moteurs distincts (dans un seul sens) grâce à ses 4 canaux. Il est également possible de constituer deux pont-h afin de piloter deux moteurs distincts, dans les deux sens et indépendamment l'un de l'autre.

Il est important de noter que le L293D peut délivrer au maximum 600mA, il faudra donc choisir ses moteurs en conséquence.

- **Brochage du L293D**

- a. **Source de courant :**

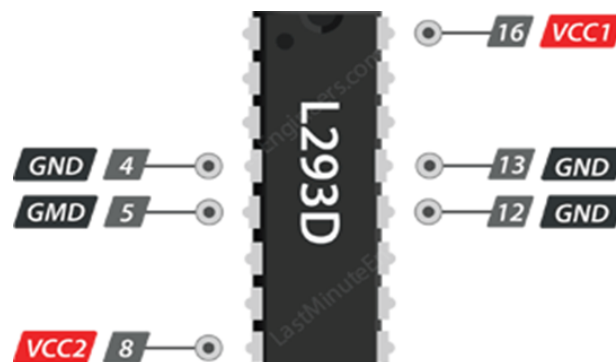


FIGURE 3.15 – source de courant de L293D.

Le L293D a deux broches d'entrée d'alimentation, à savoir « Vcc1 » et « Vcc2 ». Vcc1 est utilisé pour piloter le circuit logique interne qui doit être de 5V. De la broche Vcc2, le pont en H obtient sa puissance pour piloter les moteurs, qui peut être de 4,5 V à 36 V. Et ils coulent tous les deux sur un terrain commun nommé GND qui doit être raccordé à la masse de la source d'alimentation de puissance Vcc2 et à la masse de la source d'alimentation de la logique "Vcc1" (dans notre cas c'est le GND du l'ESP32).

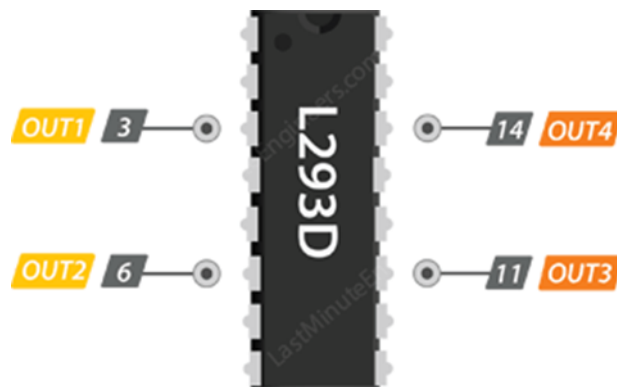


FIGURE 3.16 – Les broches de sortie de L293D.

b. **Broche de sortie :**

Output1 avec Output 2, seront branchées directement sur le moteur.

Output3 avec Output 4, seront branchées directement sur le moteur.

c. **Broches de contrôle :**

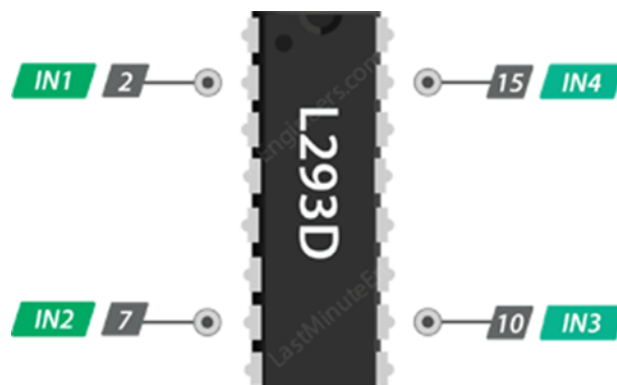


FIGURE 3.17– Les broches de contrôle de L293D

Input4 avec Input 3, sont les broches de commande du Pont-H Output3/Output4. Il sera directement branché à notre ESP32 pour commander le sens du courant entre Output 3 et Output 4.

Input1 avec Input 2, sont les broches de commande du Pont-H Output1/Output2. Il sera directement branché à notre ESP32 pour commander le sens du courant entre Output 1 et Output 2.

(a) Broches de contrôle de vitesse :

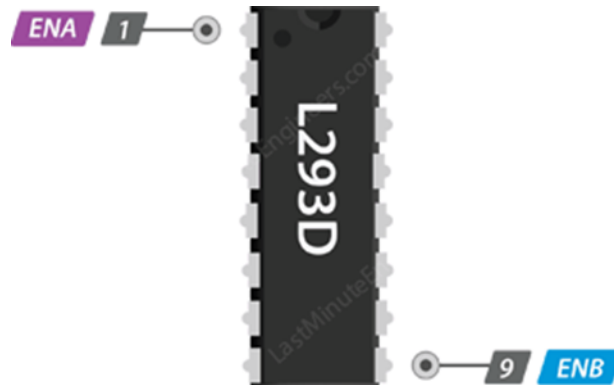


FIGURE 3.18 – Les broches de contrôle de vitesse de L293D.

Enable1 : permet d’envoyer (ou pas) la tension sur les sorties du moteur via OUTPUT1 et OUTPUT2 et commande l’activation/désactivation du premier Pont-H. Si ENABLE1 = GND, le pont-H est déconnecté et le moteur ne fonctionne pas. Si ENABLE1 = VSS, le pont-H est connecté aux sorties et le moteur fonctionne dans un sens ou l’autre ou pas en fonction des tensions appliquées sur INPUT1 et INPUT2.

Enable2 : commande l’activation du second pont-H constitué d’Output3/Output4

2. Le relais

Le relais joue le rôle d’un interrupteur qui se commande avec une tension continue ou alternative de faible puissance. En effet, le relais est doté d’un bobinage en guise d’organe de commande. La tension appliquée à ce bobinage va créer un courant, ce courant produisant un champ électromagnétique à l’extrémité de la bobine (électro-aimant). Ce champ magnétique va être capable de faire déplacer un élément mécanique métallique monté sur un axe mobile, qui déplacera alors des contacts électriques.

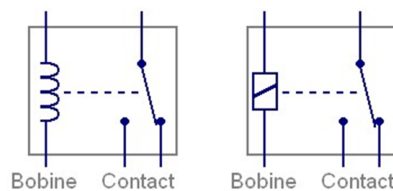


FIGURE 3.19 – Relais

Les caractéristiques techniques du relais utilisé dans notre projet sont :

- Signal de commande 5V ;
- Maximum AC courant et voltage : 10A 250VAC ;
- Maximum DC courant et voltage : 10A 30VDC ;
- Il existe un contact normalement ouvert et un contact normalement fermé ;

Dans la réalisation de notre prototype, nous avons utilisé des relais pour contrôler le ventilateur et l'électrovanne

3.4.3 Outils de développement utilisés

InfluxDB

- **Définition[26] :**

InfluxDB est un système de gestion de base de données orientée séries chronologiques hautes performances (TSDB : Time Series Database), écrit avec le langage de programmation Go et distribué sous licence MIT. Il est disponible en open source. Il permet de compresser un large volume de données venant de multiples sources. Cet outil se fait progressivement indispensable, en raison de l'essor de l'internet des objets. InfluxDB offre également un langage de requête de type SQL pour interagir avec les données.

L'installation d'un agent serveur Telegraf est nécessaire pour faire la collecte des métriques des appareils IoT reçu avec le protocole Message Queue Telemetry Transport(MQTT), il utilise des plugins d'entrée pour obtenir ces métriques et des plugins de sortie pour les insérer dans InfluxDB.



FIGURE 3.20 – InfluxDB

- **Avantages d’InfluxDB pour les projets d’objets connectés : [26]**
Les bases de données traditionnelles (MariaDB, MySQL, par exemple) sont conçues pour stocker et mettre en relation les données en elles. Elles sont très bien adaptées pour gérer les comptes client et enregistrer les commandes d’un site marchand. Rien n’interdit l’enregistrement de données qui dépendent du temps mais dans ce cas il faudra effacer manuellement les données périmées. D’autres architectures de bases de données ont été imaginées. InfluxDB répond à trois objectifs :
 - Simplifier la configuration et la gestion.
 - Moteur d’enregistrement et d’accès aux données qui dépendent du temps (horodatage).
 - Créer des règles de rétention et de suppression automatique de données périmées.

Les protocoles utilisés

— MQTT[27]

MQTT est l’abréviation de l’expression anglaise Message Queuing Telemetry Transport. Il s’agit d’un protocole de messagerie léger basé sur le protocole TCP /IP. Il est utilisé en principe pour la communication de machine à machine (M2M) ou les connexions Internet des objets.

— Le fonctionnement du protocole : [27]

Le protocole MQTT s’exécute au-dessus de TCP / IP en utilisant le principe de la publication/souscription. En effet, Un client, appelé publisher, établi dans un premier temps une connexion de type ‘publish’ avec le serveur MQTT unique qui s’appelle broker. Puis, le publisher transmet les messages au broker sur un canal spécifique, appelé topic. Par la suite, ces messages peuvent être lus par des clients abonnés, appelés subscribers, comme Telegraf qui au préalable ont établi une connexion de type ‘subscribe’ avec le broker. Ainsi, la transmission et la consommation des messages se font de manière asynchrone. Le fonctionnement que nous venons de détailler est illustré dans le schéma ci-dessous. Client-A, Client-B et Client-F sont des publishers alors que Client-C, Client-D et Client-E sont des subscribers.

Au niveau du système créé, c’est l’ESP32, qui joue le rôle d’un Publisher et telegraf joue le rôle d’un client subscriber qui s’abonne au broker mosquitto installé sur le Raspberry PI.

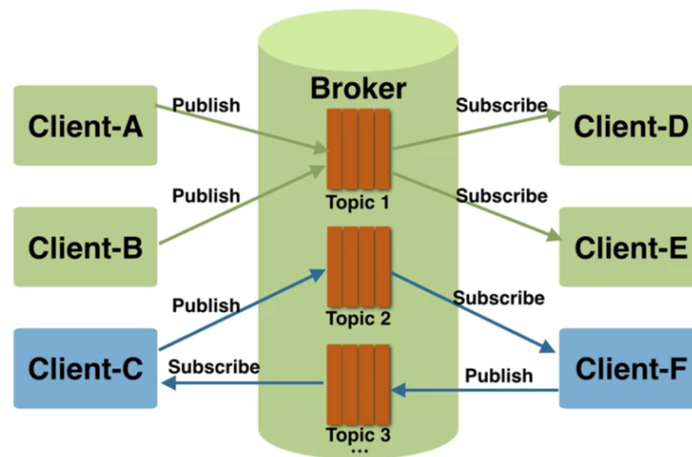


FIGURE 3.21 – Le fonctionnement du protocole MQTT

L'environnement de programmation

- **PlatformIO IDE[28]**

PlatformIO IDE est un environnement de développement spécialisé dans l'Internet des objets, et qui permet de programmer des applications étendues au monde physique. Il prend en charge plus de 400 cartes de développement des principaux microcontrôleurs (Atmel AVR, Espressif ESP8266 et ESP32, STMicro STM32, Teensy, etc.).

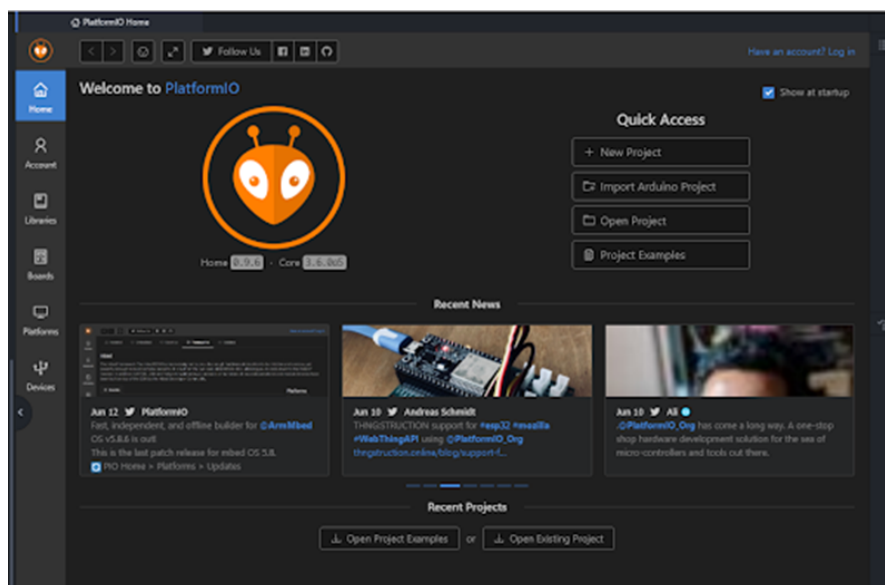


FIGURE 3.22 – PlatformIO.

3.5 Montage et programmation de matériel

3.5.1 Schéma de raccordement des capteurs

La figure ci-dessous représente le montage des différents capteurs avec l'ESP32.

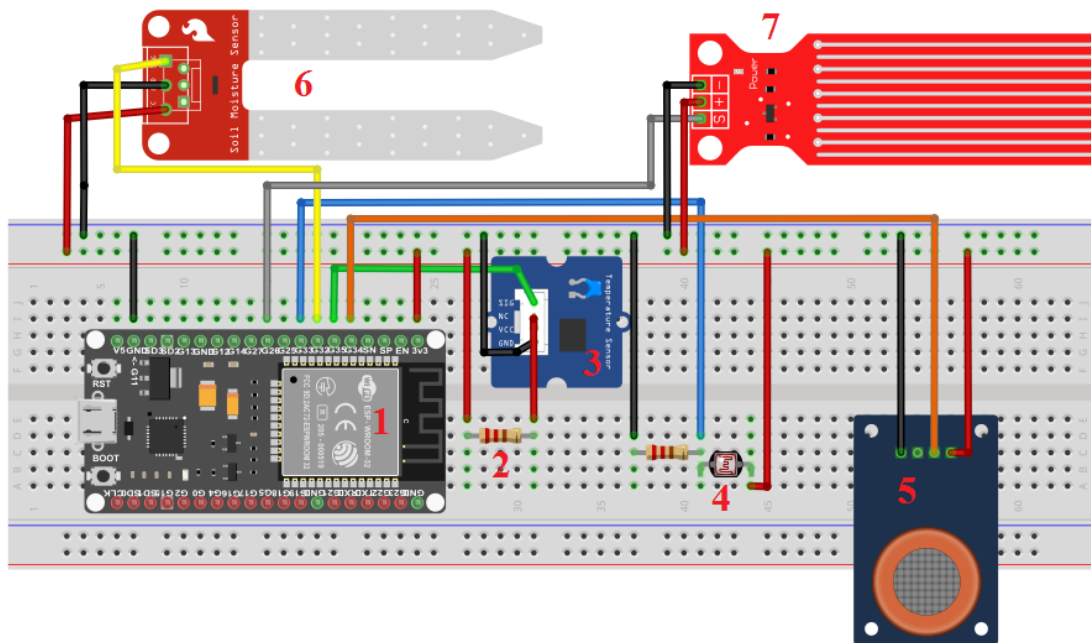


FIGURE 3.23 – Schéma de raccordement de l'interface de capture.

1	Catre ESP32	4	Photorésistance
2	Résistance	5	Capteur MQ135.
3	Capteur de température V1.2	6	Capteur d'humidité du sol V1.4
7	Capteur de niveau d'eau		

TABLE 3.9 – les composants illustrés dans le schéma.

3.5.2 Schéma de raccordement des actionneurs

Schéma de la lampe avec l'ESP32 :

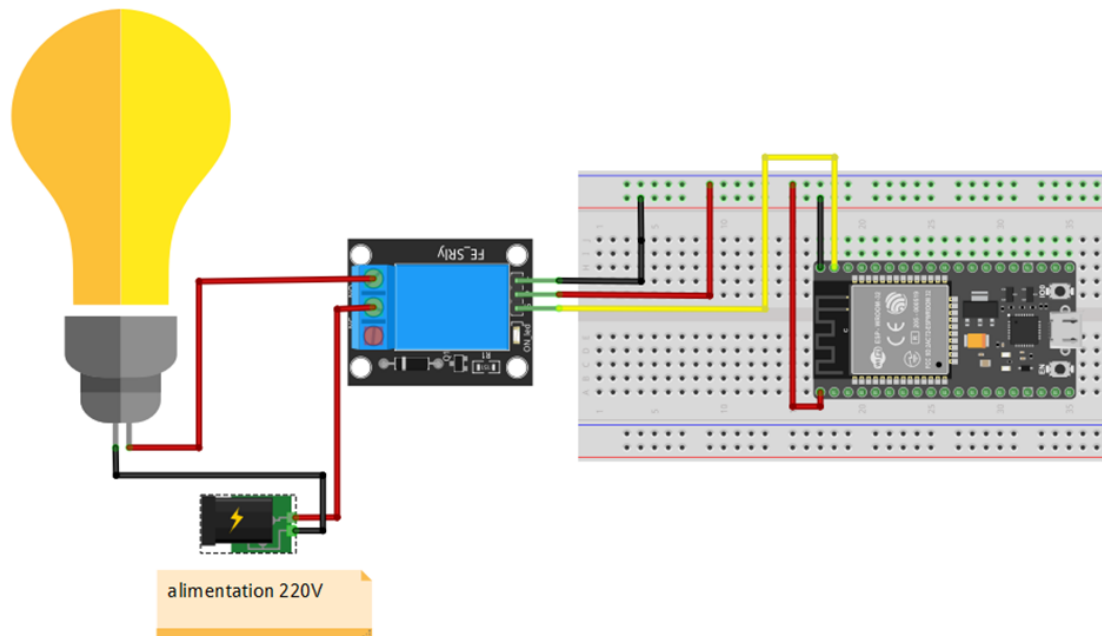


FIGURE 3.24 – Schéma de raccordement de la lampe avec l'esp32

Schéma de raccordement de l'électrovanne avec l'EPS32

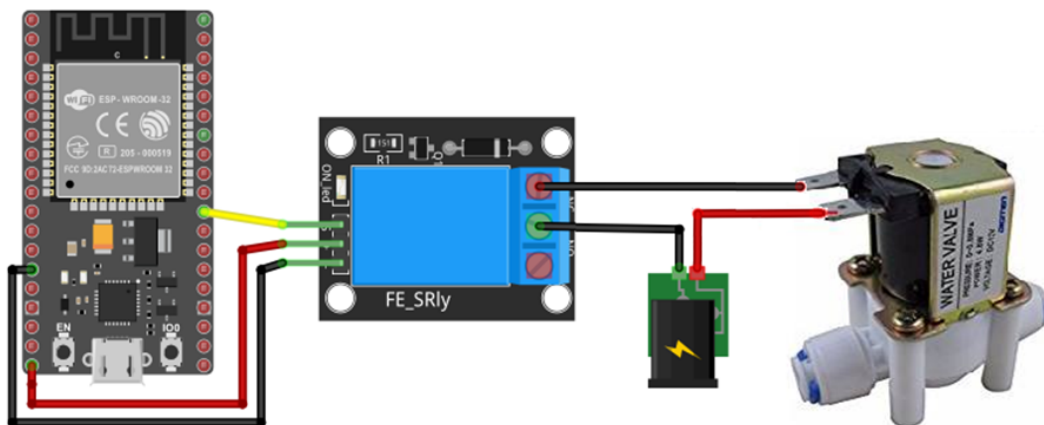


FIGURE 3.25 – Schéma de raccordement l'électrovanne avec l'ESP32

Schéma de raccordement de la pompe avec l'ESP32

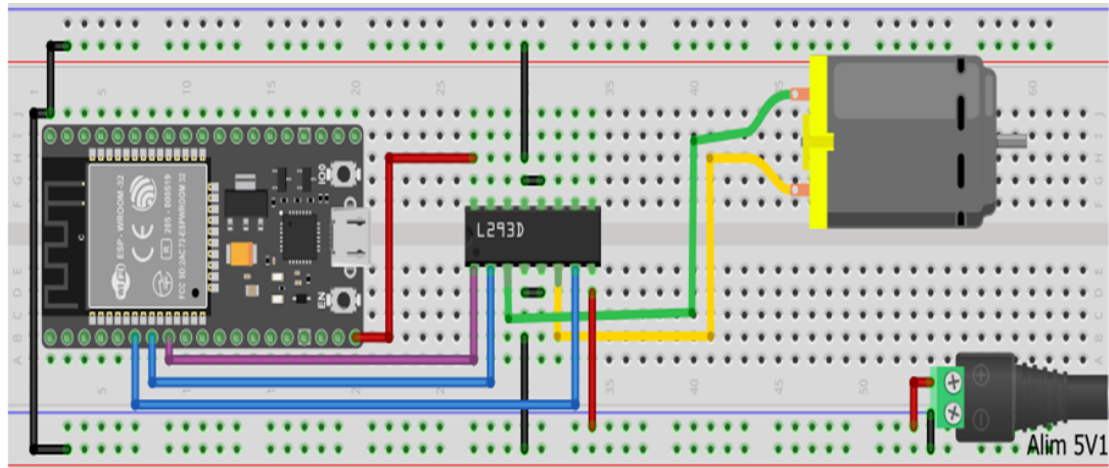


FIGURE 3.26 – Schéma de raccordement de la pompe avec l'esp32

Schéma de raccordement de moteur pas à pas avec l'ESP32

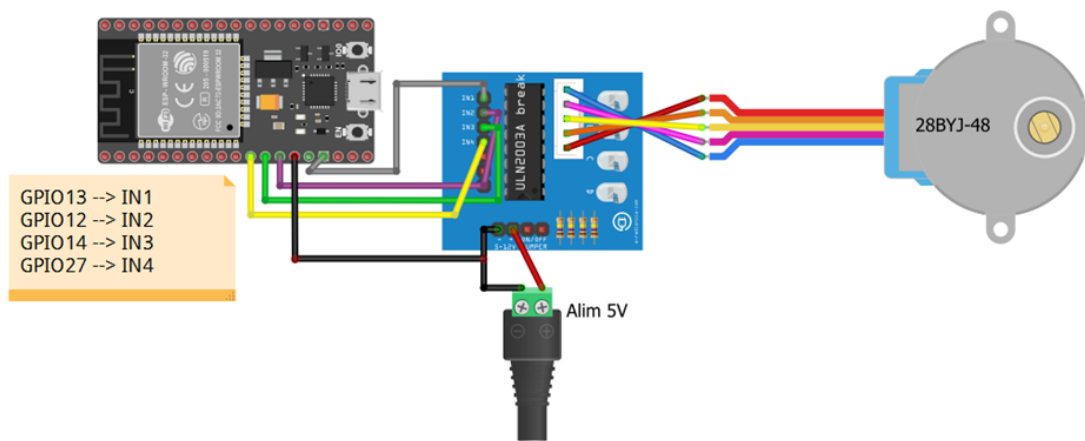


FIGURE 3.27 – Schéma de raccordement du moteur pas à pas

Schéma de raccordement de ventilateur avec l'ESP32

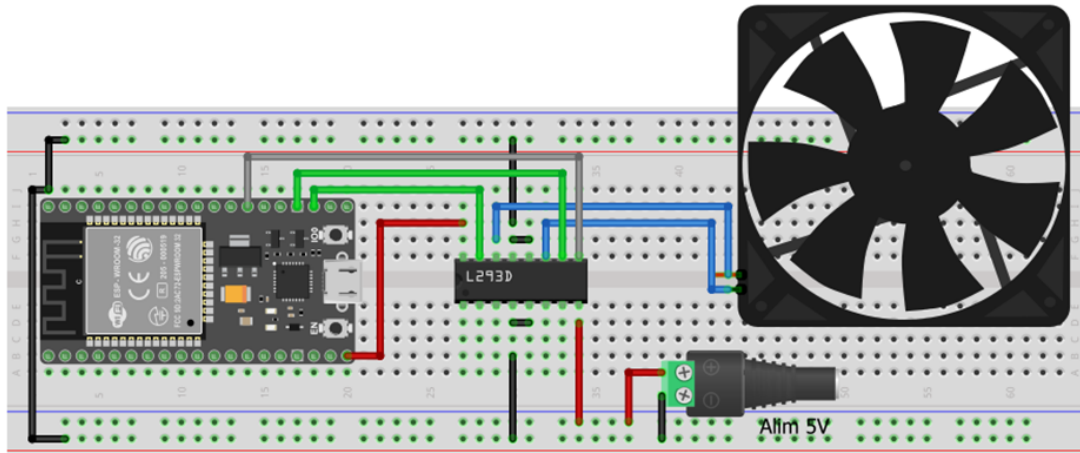


FIGURE 3.28 – Schéma de raccordement de ventilateur

Schéma de raccordement de raspberry PI3 avec le sim808

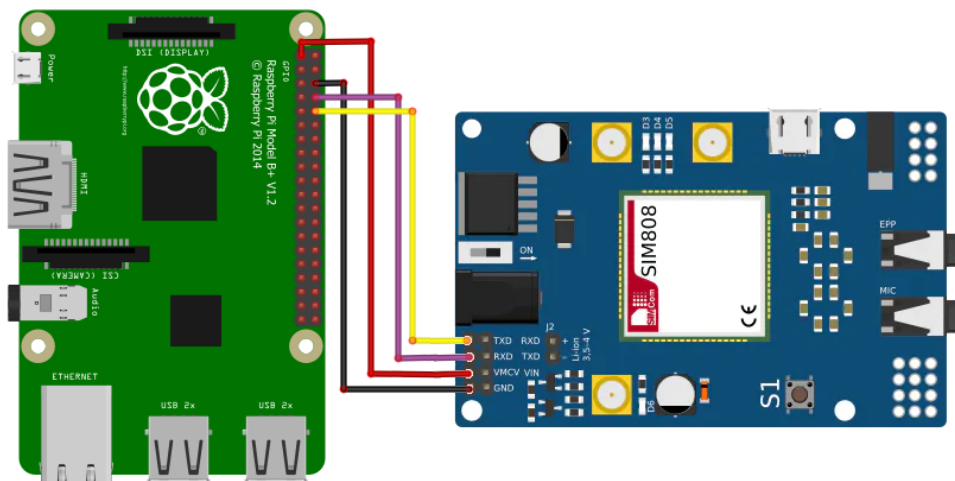


FIGURE 3.29 – Schéma de raccordement de raspberry PI3 avec le sim808

Notre système a à gérer et manipuler un grand nombre d'informations collectées et reçues des capteurs à chaque intervalle de temps, afin de déduire les conditions climatique dans la serre et prendre les décisions nécessaires. Dans ce qui suit, nous présentons l'outil utilisé pour atteindre cet objectif.

3.6 Fusion de données et prise de la décision

3.6.1 Définition de la fusion des données

Nombreuses sont les définitions attribuées à la fusion de données[M.A05], chaque groupe de travail de recherche en a une. Le premier groupe de travail le Joint Directors of Laboratories (JDL) du département de la défense américaine définit la fusion de donnée comme étant un processus multi-niveaux et à facettes multiples ayant pour objet la détection automatique, l'association, la corrélation, l'estimation et la combinaison d'informations de sources singulières et plurielles. A la différence de ce groupe, L.Wald définit la fusion de données dans un cadre formel où s'expriment les moyens et les techniques permettant l'alliance des données provenant de sources diverses. Elle vise l'obtention d'information de plus grande qualité. Une autre définition apportée par le groupe de travail européen FUSION (du 1996 à 1999) indique que la fusion de donnée consiste à regrouper des informations issues de plusieurs sources et à exploiter l'information regroupée.

3.6.2 Difficultés liées à la fusion de données

Le processus de fusion de donnée rencontre souvent quelques problèmes dû principalement aux imperfections des données, conflits entre les données et la nature du système étudié.

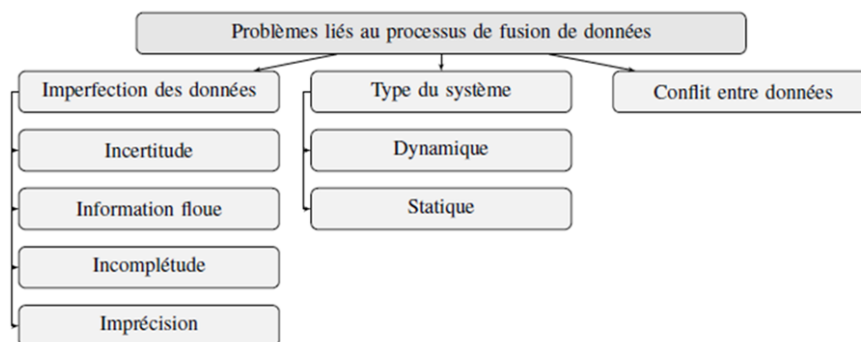


FIGURE 3.30 – Problèmes liés à la fusion de données

Dans ce qui suit, on s'intéresse au problème d'imperfection des données.

Imperfection des données

Souvent les données fournies par les capteurs sont soumises à un certain degré d'imprécision et d'incertitude. C'est pourquoi il est nécessaire de prendre en compte ces imperfections, imprécisions et incertitudes par un outil de fusion de données lors de la modélisation afin de réduire leur effet sur le processus de décision. L'imperfection de données peut être sous deux formes[A.S14] :

- L'incertitude : l'information fournie est imprécise
- Le conflit : les croyances fournies par deux sources d'information à propos d'un même phénomène peuvent être contradictoires.

3.6.3 Théorie des fonctions de croyance

La théorie des croyances [M.A05]est issue des travaux de Dempster en 1967, repris par Shafer sous le nom de théorie de l'évidence, elle porte également le nom de théorie de Dempster-Shafer. Cette méthode repose sur la modélisation de la croyance en un évènement. Cette modélisation se réalise à partir des fonctions de masse permettant une bonne représentation des connaissances.

Théorie des fonctions de croyance et l'imperfection des données

L'imperfection des données peut être manipulée et traitée par la théorie des fonctions de croyance afin d'extraire une information fiable. En effet, cette théorie permet de représenter l'incertitude et de la gérer pour produire une information avec un degré minimal d'incertitude ou du moins de la mesurer.

Les étapes de la mise en œuvre[A.S14] :

La mise en œuvre de la théorie des fonctions de croyance passe par trois étapes illustrées dans la figure ci-dessous.

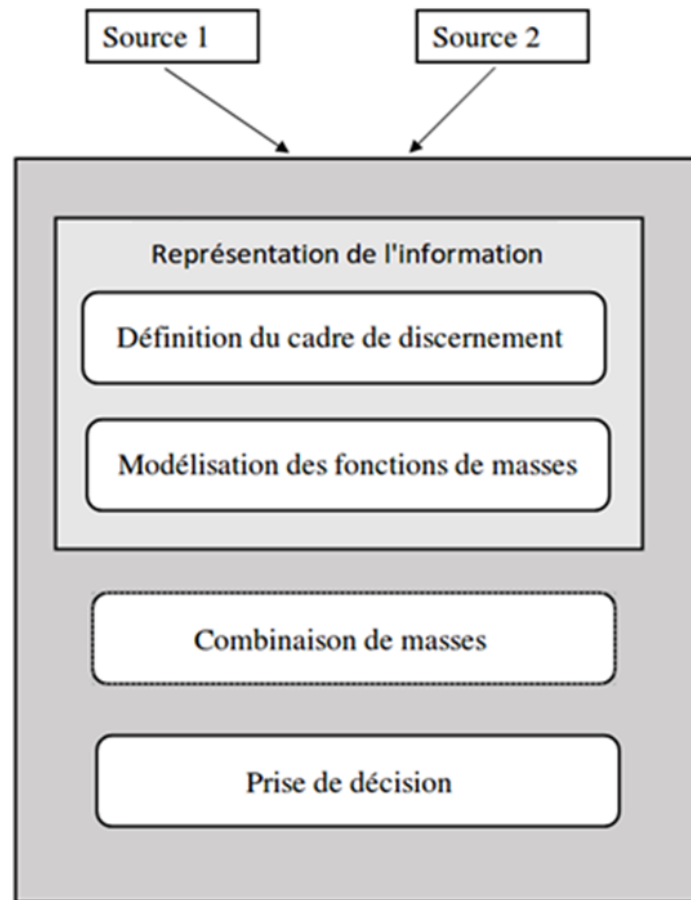


FIGURE 3.31 – Les étapes de la mise en œuvre de la théorie des fonctions de croyance

- **L'étape de modélisation :**

Plusieurs étapes de modélisation sont requises en traitement de l'information dans le mise en œuvre de la théorie des fonctions de croyance pour une application spécifique :

- définition du cadre de discernement :** Le cadre de discernement ou cadre d'intérêt noté Ω décrit l'ensemble des réponses possibles à un problème donné tel que :

$$\Omega = \{H_1, H_2, \dots, H_N\}$$

A partir du cadre de discernement Ω , on déduit l'ensemble puissance noté 2^Ω , comprenant l'ensemble des 2^N sous-ensembles A de Ω :

$$2^\Omega = \{A, A \subseteq \Omega\} = \{\emptyset, \{H_1\}, \{H_2\}, \dots, \{H_N\}, \{H_1 \cup H_2\}, \dots, \Omega\}$$

Cet ensemble comprend les hypothèses singletons de Ω mais aussi toutes les disjonctions possibles de ces hypothèses. Cet ensemble sert de référentiel de définition pour l'ensemble des grandeurs utilisées par la théorie des fonctions de croyance pour évaluer la véracité d'une proposition.

b. La modélisation des fonctions de masse [A.S14] :

Le principe de la théorie des croyances repose sur la manipulation de fonctions définies sur des sous-ensembles et non sur des singletons comme dans la théorie des probabilités appelées fonctions de masse ou encore masses élémentaires ou masses de croyance. Une fonction de masse m associée à une source d'information (qui peut être issue d'un capteur, d'un agent, etc.) est définie par :

$$m : 2^\Omega \longrightarrow [0, 1]$$

telle que :

$$\begin{cases} \sum_{A \subseteq \Omega} m(A) = 1 \\ m(\emptyset) \geq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Cette fonction m traduit l'opinion d'un système sur la pertinence des différentes propositions. En effet, la quantité $m(A)$ est interprétée comme la part de croyance placée strictement sur A . Cette représentation est celle qui modélise le mieux l'incertitude car elle attribue un degré de croyance non seulement aux hypothèses singletons (comme les probabilités) mais aussi aux hypothèses composites (A peut-être l'union de deux décisions).

Parmi les modèles des masses utilisés dans la théorie des fonctions de croyance, le modèle non-antagoniste qu'on utilisera dans le cadre de notre travail. Ce modèle exprime une croyance sur toutes les propositions du cadre de discernement tout en évitant l'auto-conflit vu que ce modèle ne permet pas de soutenir une hypothèse et son complément simultanément.

En utilisant ce modèle, la représentation de la fonction de masse d'une hypothèse est illustrée par le graphe dans la figure 3.32. Tandis que la représentation de la fonction de masse de l'hypothèse complémentaire est décrite dans le graphe de la figure 3.33. La représentation de la fonction de masse de l'ignorance est illustrée dans le graphe de la figure 3.34.

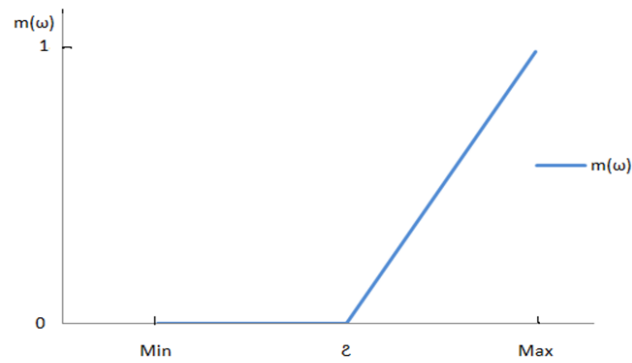


FIGURE 3.32 – fonction de masse de l’hypothèse ω .

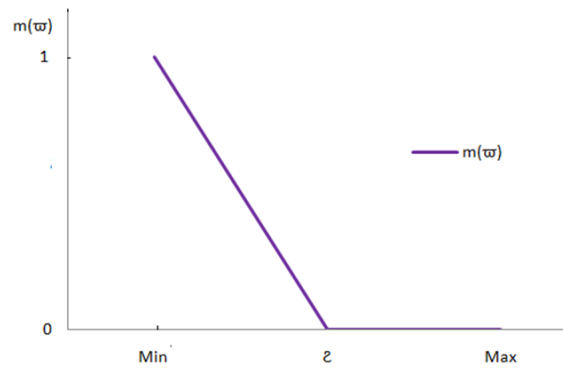


FIGURE 3.33 – fonction de masse de l’hypothèse complémentaire $\bar{\omega}$.

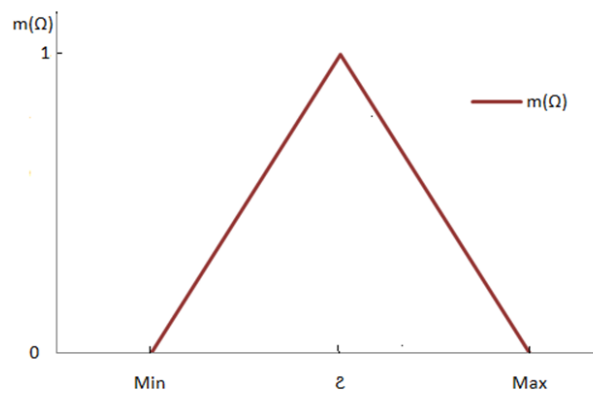


FIGURE 3.34 – fonction de masse de l’ignorance Ω .

Les fonctions de masse respectant ce modèle sont exprimées par les équations suivantes :

$$m(\omega) = \begin{cases} 0 & val_capt \in [min, \tau] \\ \Phi_1(val_capt) & val_capt \in [\tau, max] \end{cases} \quad (3.2)$$

$$m(\bar{\omega}) = \begin{cases} \Phi_2(val_capt) & val_capt \in [min, \tau] \\ 0 & val_capt \in [\tau, max] \end{cases} \quad (3.3)$$

$$m(\Omega) = \begin{cases} 1 - \Phi_2(val_capt) & val_capt \in [min, \tau] \\ 1 - \Phi_1(val_capt) & val_capt \in [\tau, max] \end{cases} \quad (3.4)$$

Tels que :

Val_capt : valeur captée par le capteur.

Φ_1, Φ_2 : sont des fonctions sélectionnées qui varient entre $[min, \tau]$ et $[\tau, max]$.

τ : le point de transition qui permet à une source de basculer ces croyances d'une hypothèse à son complément.

min, max : sont les deux valeurs minimales et maximales qui caractérisent la culture.

- **L'étape de combinaison**

Dans le contexte de la théorie des croyances, le processus de combinaison est une étape fondamentale représentant le cœur du processus de raisonnement. Ainsi, la théorie de croyance est fondée en grande partie sur les règles de combinaison.

Chaque élément de preuve est représenté par une fonction de masse. Des règles de combinaison sont donc utilisées pour fusionner toutes les fonctions de masse afin d'obtenir une fonction de masse significative faisant la synthèse de toutes les preuves disponibles.

Règle de combinaison de Dempster

La règle de combinaison de Dempster est définie comme suit :

$$\begin{cases} m_{\oplus}(A) = m_{1\oplus 2}(A) = \frac{1}{1-k} \sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(C), \forall A \subseteq \Omega \text{ et } A \neq \emptyset \\ m_{\oplus}(\emptyset) = 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

Représentation de la masse conflictuelle

$$k = \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C), k \in [0, 1] \quad (3.6)$$

Illustration de la combinaison de Dempster :

*	$m_1(\{\omega\})$	$m_1(\{\bar{\omega}\})$	$m_1(\Omega)$
$m_2(\{\omega\})$	$m_1(\{\omega\}) * m_2(\{\omega\})$	$m_2(\{\omega\}) * m_1(\{\bar{\omega}\})$	$m_1(\Omega) * m_2(\{\omega\})$
$m_2(\{\bar{\omega}\})$	$m_1(\{\omega\}) * m_2(\{\bar{\omega}\})$	$m_1(\{\bar{\omega}\}) * m_2(\{\bar{\omega}\})$	$m_1(\Omega) * m_2(\{\bar{\omega}\})$
$m_2(\Omega)$	$m_1(\{\omega\}) * m_2(\Omega)$	$m_1(\{\bar{\omega}\}) * m_2(\Omega)$	$m_1(\Omega) * m_2(\Omega)$

• $m(\{\omega\}) = m_1(\{\omega\}) * m_2(\{\omega\}) + m_1(\Omega) * m_2(\{\omega\}) + m_1(\{\omega\}) * m_2(\Omega).$

• $m(\{\bar{\omega}\}) = m_1(\{\bar{\omega}\}) * m_2(\{\bar{\omega}\}) + m_1(\Omega) * m_2(\{\bar{\omega}\}) + m_1(\{\bar{\omega}\}) * m_2(\Omega).$

• $m(\Omega) = m_1(\Omega) * m_2(\Omega).$

• $k = m_2(\{\omega\}) * m_1(\{\bar{\omega}\}) + m_1(\{\omega\}) * m_2(\{\bar{\omega}\}).$

• $m(\{\omega\})_{normalise} = \frac{m(\{\omega\})}{1-k}.$

• $m(\{\bar{\omega}\})_{normalise} = \frac{m(\{\bar{\omega}\})}{1-k}.$

• $m(\Omega)_{normalise} = \frac{m(\Omega)}{1-k}.$

• L'étape de décision

La dernière étape concerne la prise de décision, c'est-à-dire le choix de la décision ou d'une disjonction. Souvent les critères les plus utilisés pour le choix sont les critères qui maximisent la probabilité. Selon la modélisation des fonctions de masse établie, il se peut qu'une règle soit plus adéquate qu'une autre. Dans la mise en œuvre de cette théorie dans notre travail, nous allons utiliser la règle de maximum pignistique.

La théorie des fonctions des croyances dans notre projet

Dans notre système, les valeurs captées par un capteur désignent l'action à déclencher par l'actionneur associé, donc le traitement des valeurs captées qui va décider l'action à déclencher. Pour cela, nous devons d'abord designer les relations entre les capteurs et les actionneurs qui sont illustrées comme suit :

- Capteur de gaz est associé au moteur pas à pas pour l'ouverture de la fenêtre.
- Capteur de niveau d'eau est associé à l'électrovanne.
- Capteur de l'humidité de sol est associé à la pompe à eau pour l'irrigation.
- Capteur de température est associé au ventilateur.
- Capteur de luminosité est associé à la lampe.

a. Le cadre de discernement pour chaque actionneur :

L'implémentation de la théorie des fonctions de croyance dans notre système nécessite les cadres de discernement suivant :

Cadre de discernement pour le moteur pas à pas : $\Omega_1 = \{open, close\}$.

Cadre de discernement pour l'électrovanne : $\Omega_2 = \{open, close\}$.

Cadre de discernement pour la pompe à eau : $\Omega_3 = \{ON, OFF\}$.

Cadre de discernement pour le ventilateur : $\Omega_4 = \{Actif, Non_actif\}$.

Cadre de discernement pour la lampe : $\Omega_5 = \{ON, OFF\}$.

Pour chaque cadre discernement on déduit l'ensemble noté 2^Ω :

$$2^{\Omega_1} = \{\emptyset, \{close\}, \{open\}, \Omega_1\};$$

$$2^{\Omega_2} = \{\emptyset, \{open\}, \{close\}, \Omega_2\};$$

$$2^{\Omega_3} = \{\emptyset, \{ON\}, \{OFF\}, \Omega_3\};$$

$$2^{\Omega_4} = \{\emptyset, \{Actif\}, \{Non_Actif\}, \Omega_4\};$$

$$2^{\Omega_5} = \{\emptyset, \{ON\}, \{OFF\}, \Omega_5\};$$

b. La fonction de masse :

Pour expliquer l'implémentation de cette fonction en utilisant le modèle non-antagoniste dans notre système, nous allons prendre un seul cas qui est $\Omega_4 = \{Actif, Non_actif\}$ relatif au ventilateur.

On suppose que l'hypothèse $\omega = Actif$ et son complément $\bar{\omega} = Non_actif$ d'où on aura les ensembles suivants :

$$\begin{aligned}\omega &= \{Actif\}; \\ \bar{\omega} &= \{Non_actif\}; \\ \Omega &= \{Actif, Non_actif\};\end{aligned}$$

Si la valeur envoyée par le capteur de température V appartient à l'intervalle $[min, \tau]$ on aura :

$$\begin{cases} m(\omega) = 0; \\ m(\bar{\omega}) = \frac{-1}{\tau-min}V + \frac{\tau}{\tau-min}; \\ m(\Omega) = 1 - m(\bar{\omega}); \end{cases} \quad (3.7)$$

Si la valeur envoyée par le capteur de température V appartient à l'intervalle $[\tau, max]$ on aura :

$$\begin{cases} m(\omega) = \frac{1}{max-\tau}V + \frac{-\tau}{max-\tau}; \\ m(\bar{\omega}) = 0; \\ m(\Omega) = 1 - m(\omega); \end{cases} \quad (3.8)$$

La figure ci-dessous illustre les équations obtenues.

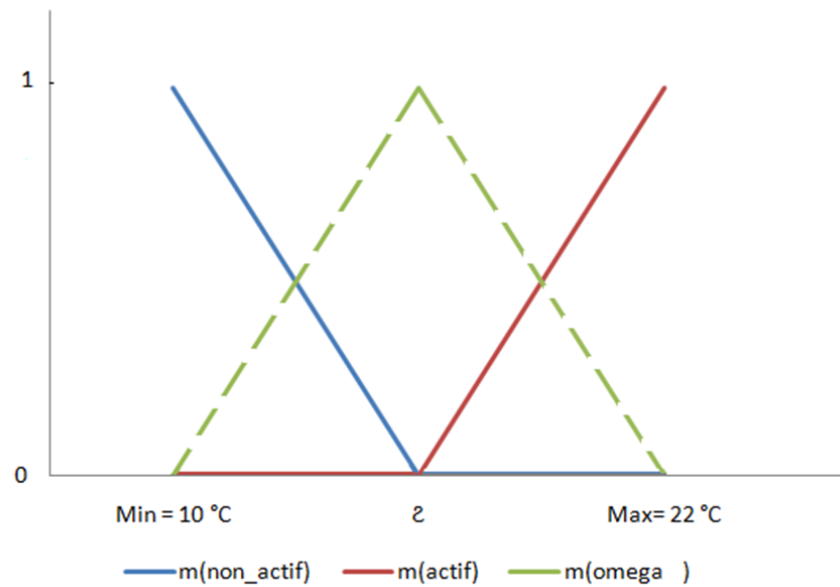


FIGURE 3.35 – Représentation des fonctions de masse pour la température

- c. **L'affaiblissement** : Après le calcul de la masse pour chaque élément de 2^Ω des différents cards de discernement de notre système, nous avons à appliquer une fonction d'affaiblissement définie par :

$$m_\alpha(A) = \begin{cases} (1 - \alpha) * m(A), & A \subset \Omega \\ (1 - \alpha) * m(A) + \alpha, & A = \Omega \end{cases} \quad (3.9)$$

Où :

$\alpha \in [0, 1]$: définit le taux d'affaiblissement.

$(1 - \alpha)$: définit le degré de fiabilité.

La valeur de α peut être fixée selon le degré de précision du capteur.

- d. **Les combinaisons de Dempster** :

Après le calcul des masses avec l'affaiblissement pour les valeurs récupérées de la base de données relatives à un sous ensemble de 2^Ω , nous appliquons les combinaisons de Dempster pour avoir une seule valeur de masse qui sera utilisée pour la prise de décision. La figure 3.36 illustre le calcul des combinaisons de Dempster pour l'hypothèse ω .

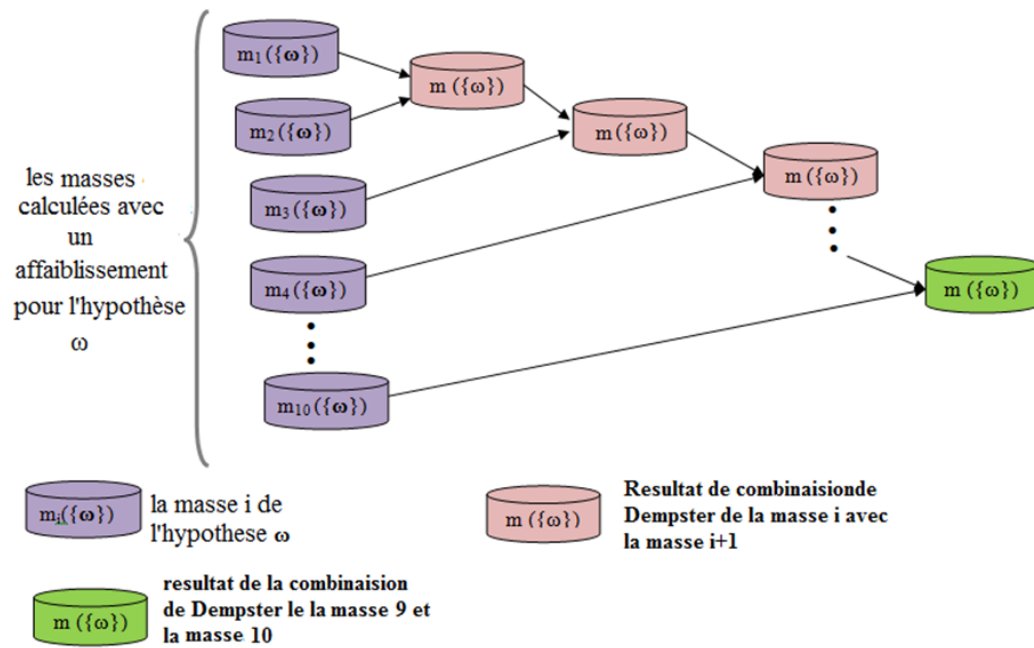


FIGURE 3.36 – Calcul des combinaisons de Dempster pour l'hypothèse ω

e. La décision

Pour toute décision ω_k , la probabilité pignistique est représentée par :

$$\begin{cases} BetP : \Omega \rightarrow [0, 1] \\ \omega_k \rightarrow BetP(\omega_k) \end{cases}$$

Où :

$$BetP(\omega_k) = \frac{1}{1 - m(\emptyset)} \sum_{A \subseteq \Omega, \omega_k \in A} \frac{m(A)}{|A|}, \forall \omega_k \in \Omega \quad (3.10)$$

$|A|$ représente la cardinalité de A .

La décision est généralement prise en choisissant l'élément ω_k possédant la plus grande probabilité pignistique :

$$\omega_k = \operatorname{argmax}_{\omega_k \in \Omega} BetP\{\omega^\Omega\}(\omega_k)$$

3.7 L'application android

3.7.1 Environnement du travail

Pour la mise en œuvre de notre application nous avons utilisé les moyens matériels et logiciels suivant :

Environnement matériel

- **Micro-ordinateur(Développement) :**
 - Marque : LENOVO.
 - PROCESSEUR : Intel(R) Core(TM) i5-2520M CPU@ 2.50GHz 0.49GHz.
 - Disque dur :320Go.
 - RAM : 4.00Go.
 - Système : Windows 7.
- **Smartphone(Exécution) :**
 - Marque : HUAWEI Y7 Prime 2019.
 - Processeur : Qualcomm Snapdragon 450.
 - Disque dur :32 Go (Mémoire de stockage interne).
 - RAM : 3.00Go.
 - Système : Android 8.1.0.

Environnement logiciel

Android Studio :

Android Studio est un nouvel environnement pour développement et programmation entièrement intégré qui a été lancé par Google pour les systèmes Android. Il a été conçu pour fournir un environnement de développement et une alternative à Eclipse qui est l'IDE le plus utilisé.

Android Studio permet de voir chacun des changements visuels qu'on effectue sur notre application et en temps réel. On pourra voir aussi son effet sur différents appareils Android.

Android Studio offre aussi d'autres avantages :

- un environnement de développement robuste.
- une manière simple pour tester les performances sur d'autres types d'appareils.
- des assistants et des modèles pour les éléments communs trouvés sur tous les programmeurs Android.
- un éditeur complet avec une panoplie d'outils pour accélérer le développement de notre application.

afin de développer notre application android, nous avons utilisé android studio 3.6.0.0 avec une licence gratuite.

SDK [29] :

L'outil le plus important est le SDK Android. Il permet de télécharger tous les outils indispensables au développement d'applications. Ce petit logiciel permet d'abord de télécharger les différentes versions du SDK (une version du SDK par version d'Android : 1.4, 1.5, 1.6, 2.0 etc.). Il permet également de télécharger les différentes versions des Google APIs (APIs pour intégrer des fonctionnalités liées aux services Google tels que Maps etc.).

L'émulateur :

Le SDK propose un émulateur Android. Il permet de lancer sur la machine du développeur un terminal virtuel représentant à l'écran un téléphone embarquant Android. C'est bien évidemment un outil indispensable pour le développement mobile.

A chaque version d'Android est associée une version de l'émulateur, permettant au développeur de voir exactement à quoi ressemblera son application sur un matériel réel. Rappelons cependant que l'émulateur ne propose pas toutes les fonctionnalités d'un vrai téléphone. Par exemple il ne permet pas d'émuler la gestion du Bluetooth.



FIGURE 3.37 – L'émulateur android

3.7.2 Les langages de programmation utilisés

JAVA[30] :

Est un langage de programmation moderne qui permet une programmation orientée-objet. Ce langage a l'avantage d'être modulaire, rigoureux (la plupart des erreurs se produisent à la compilation et non à l'exécution) et portable (un même programme compilé peut s'exécuter sur différents environnements).

Android est un système d'exploitation conçu pour téléphone mobile développé par Google, qui a mis à disposition un kit de développement logiciel (SDK) basé sur le langage Java.

XML (Extensible Markup Language ou Langage Extensible de Balisage)

Pour la réalisation des interfaces graphiques de l'application nous avons utilisé le langage XML.

Le XML est un langage informatique qui sert essentiellement à stocker/transférer des données de type texte structurées en champs arborescents. Ce langage est qualifié d'extensible car il permet à l'utilisateur de définir des marqueurs (balises) qui facilitent le parcours au sein du fichier et donc la lecture de l'information. Ce langage est couramment utilisé et son apprentissage est aisé.

Présentation des interfaces graphiques de l'application :

Lors du lancement de notre application, l'interface principale (page d'accueil) s'affiche. Elle contient un menu qui dirige l'utilisateur vers les 3 parties de notre application : Configuration, Tableau de bord et Notification.

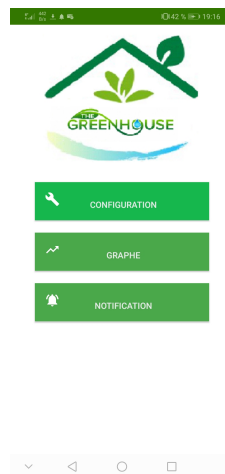


FIGURE 3.38 – L'interface d'accueil de l'application android.

- **Partie Configuration :**

Cette page nous permet de configurer tous les paramètres de notre serre agricole : le type de plantation et les consignes de régulation,

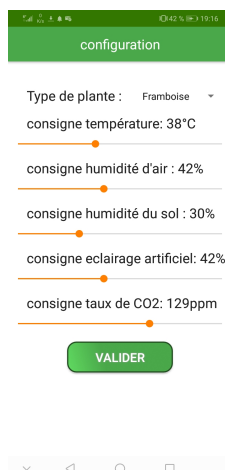


FIGURE 3.39 – L’interface de configuration de l’application android.

- **Partie graphique :**

Cette partie nous donne beaucoup d’informations sur l’évolution des paramètres de notre système. Elle contient deux interfaces :

1. **Tableau de bord :**

Cette interface contient 5 cercles de progression colorés qui nous donnent la valeur actuelle de chaque paramètre climatique.

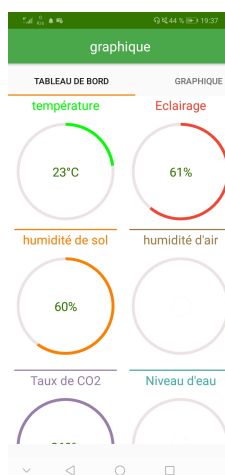


FIGURE 3.40 – L’interface du tableau de bord de l’application android.

1. **Graphe** : Cette interface nous montre l'évolution de notre système sur une plage horaire .

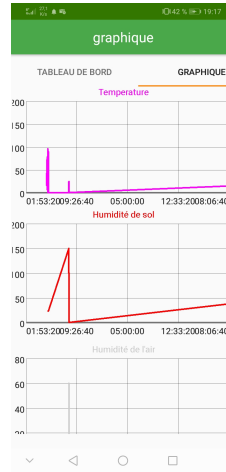


FIGURE 3.41 – L'interface des graphes de l'application android.

- **Partie notification** : Dans le cas où l'insertion d'une nouvelle donnée d'un capteur dans la base de données n'a pas eu lieu dû à une panne ou une faille, le raspberry pi envoie à l'application android un message de notification qui informe l'utilisateur de cette absence d'insertion et donner la dernière valeur reçue ainsi que la date et l'heure de réception. Ce message sera affiché dans l'interface notification illustrée par la figure 3.39

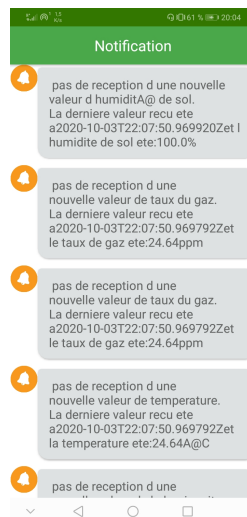


FIGURE 3.42 – L'interface des notifications de l'application android.

3.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les détails de la conception de notre système de serres intelligentes tels que les outils et l'environnement de programmation utilisés.

En effet, nous avons mis l'accent sur la démarche suivie pour réaliser notre système en expliquant la partie physique de perception et actionnement avec le schéma de raccordement pour tous les composants ainsi que l'application android développée. Dans le chapitre suivant, nous présenterons la partie tests de notre système réalisé.

Chapitre 4

Partie tests

4.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons en premier lieu, les différentes étapes de la construction de la serre prototype, du montage de la structure jusqu'au placement des capteurs et actionneurs ainsi que les autres composants.

En second lieu, nous allons suivre le cheminement des données dans notre système durant le test dès le captage jusqu' à la réalisation des décisions.

En dernier lieu, nous allons présenter les différents états pris par les actionneurs pendant 17 heures de test.

4.1.1 Présentation de la maquette

Afin de pouvoir tester le bon fonctionnement de notre système, nous avons réalisé un prototype d'une serre avec du bois et du plastique. Puis, nous avons planté des fraises dans ce prototype. La figure 4.1 représente la maquette conçue.



FIGURE 4.1 – La maquette conçue pour le test.

Par la suite, nous avons installé les différents capteurs (LDR, MQ135, capteur d'humidité de sol, etc.) et les actionneurs (pompe, moteur pas à pas, ventilateurs, etc.). La figure 4.2 illustre le placement des capteurs dans le prototype. Tandis que, la figure 4.3 représente la mise en place des actionneurs.

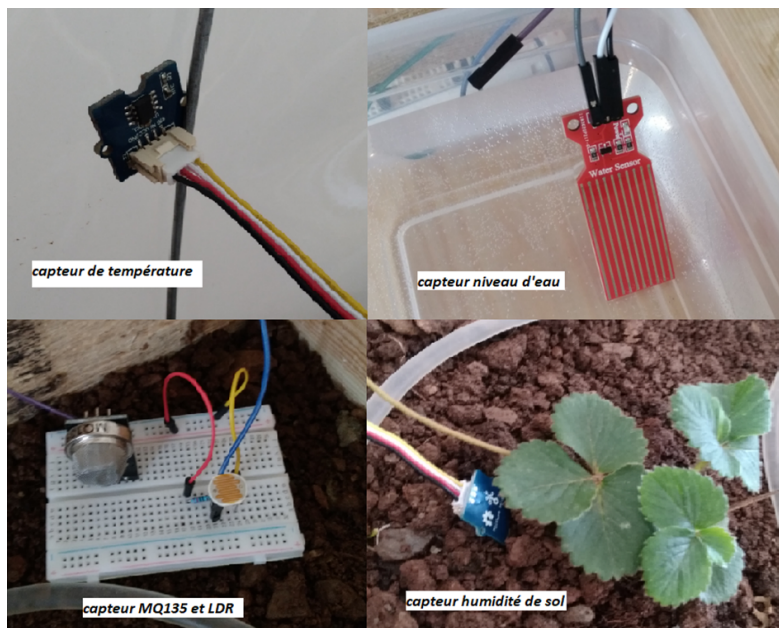


FIGURE 4.2 – les capteurs déployés dans la serre



FIGURE 4.3 – Les actionneurs installés dans la serre

4.1.2 L'acheminement des données dans le système

Lors de la mise sous tension des cartes (esp32, le raspberry pi3 b+ et la SIM 808), l'esp32(1) publie chaque une minute les données captées dans un topic du broker mosquitto appelé test_channel. La figure 4.4 montre les données publiées dans ce topic.

```
test_channel lumino,capteur=photoresistance value=3.00
test_channel temp,capteur=temperaturev1.2 value=25.66
test_channel humsol,capteur=humiditysolv1.4 value=56.64
test_channel gaz,capteur=MQ135 value=1637.00
test_channel lumino,capteur=photoresistance value=1.00
test_channel temp,capteur=temperaturev1.2 value=24.87
test_channel humsol,capteur=humiditysolv1.4 value=54.27
test_channel gaz,capteur=MQ135 value=1703.00
test_channel lumino,capteur=photoresistance value=40.00
test_channel temp,capteur=temperaturev1.2 value=25.14
test_channel humsol,capteur=humiditysolv1.4 value=52.08
test_channel gaz,capteur=MQ135 value=1709.00
test_channel lumino,capteur=photoresistance value=45.00
test_channel temp,capteur=temperaturev1.2 value=25.00
```

FIGURE 4.4 – Les données publiées dans le topic test-channel.

Les données provenant des capteurs seront stockées dans des tables d'une base de données influxdb nommée « sensordata » à l'aide de telegraf. Ce dernier utilise « userdata » comme nom d'utilisateur et « postingdata » comme mot de passe pour accéder à cette base de données. La figure 4.5 représente la table nommée « humsol », par exemple, où les valeurs provenant du capteur humidité de sol sont stockées.

```
> use sensordata
Using database sensordata
> select * from humsol
name: humsol
time                capteur          host            topic           value
-----
1601726349641476942 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.26
1601726365282822403 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.44
1601726425313183946 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.87
1601726486243292307 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.85
1601726546261451286 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.75
1601726607524685463 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.58
1601726668513926727 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.51
1601726729439842821 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.85
1601726790365263698 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.75
1601726851293763407 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.85
1601726911318825628 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.83
1601726972120146804 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    96.83
1601727033043329024 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    98.05
1601761785538517457 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    100
1601761846483046286 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    100
1601761906397726776 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    65.11
1601761967159757039 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    68.48
1601762002088029807 humiditysolv1.4 raspberrypi    test_channel    62.52
```

FIGURE 4.5 – La table humsol

La nouvelle valeur stockée dans chaque table sera transmise dans un SMS vers l'application android où elle sera affichée. La figure 4.6 représente la réception au niveau de l'application android de la dernière valeur insérée dans la table « humsol » illustrée dans la figure 4.5 ainsi que les valeurs des autres paramètres.

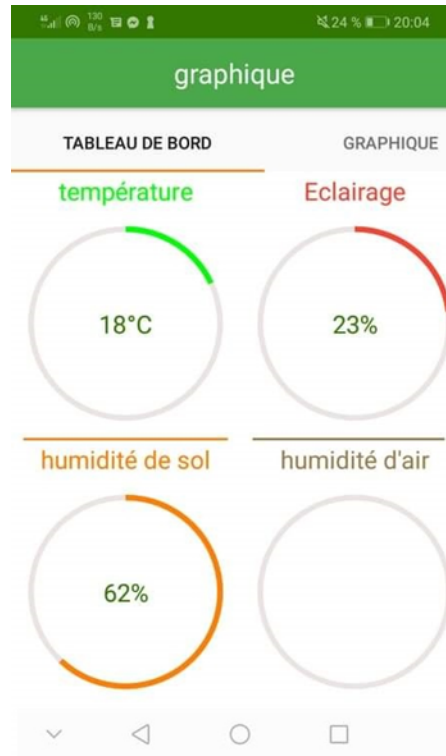


FIGURE 4.6 – Affichage des données reçues dans l'application android.

Selon les données stockées dans chaque table et la valeur du seuil définie par l'utilisateur dans l'application android, une décision sur l'état de l'actionneur correspondant est prise. En effet, les données récupérées de ces tables chaque 10 minutes correspondent aux valeurs des variables nommées « val_capt » dans la fonction de masse. Tandis que le seuil correspond à la valeur de τ .

Cet ensemble d'informations est utilisé pour le calcul des masses. Le résultat de ce calcul passe par la suite sur toutes les étapes du processus de la théorie des fonctions de croyance pour produire vers la fin une décision sur l'état de l'actionneur. Cette décision est publiée dans un topic auquel l'esp32 (2) est en écoute. Cette dernière récupère la décision publiée et déclenche l'action appropriée. La figure 4.7 représente la publication de l'état « ON » de l'actionneur pompe à eau dans le topic sol.

```
pi@raspberrypi:~ $ mosquitto_sub -h localhost -v -t sol
sol on
```

FIGURE 4.7 – La publication de l'état « ON » de l'actionneur pompe à eau dans le topic sol.

4.1.3 Les états des actionneurs pendant la phase des tests :

En laissant notre système en exécution pendant quelques heures, les actionneurs basculent d'un état à un autre en fonction des décisions prises selon les conditions environnementales dans la serre. Dans ce qui suit, nous présentons les différents états par lesquels chaque actionneur passe :

Le ventilateur

La figure 4.8 représente l'état actif du ventilateur. Tandis que la figure 4.9 représente l'état non-actif du ventilateur.)



FIGURE 4.8 – L'état actif de ventilateur



FIGURE 4.9 – L'état non_actif de ventilateur

La lampe

La lampe prend deux états ON et OFF illustrés respectivement par les figures 4.10 et 4.11



FIGURE 4.10 – L'état ON de la lampe.



FIGURE 4.11 – L'état OFF de la lampe

L'électrovanne

Lorsque l'électrovanne est à l'état « open », le réservoir se remplit d'eau. Cet état est représenté par la figure 4.12. Dès que le réservoir sera plein, cet actionneur bascule à l'état « close » qui engendre l'arrêt d'écoulement d'eau.



FIGURE 4.12 – L'état Open de l'électrovanne

La pompe à eau (l'irrigation)

La figure 4.13 présente l'état « On » de l'actionneur pompe à eau et la figure 4.14 présente l'état « OFF » de ce dernier.

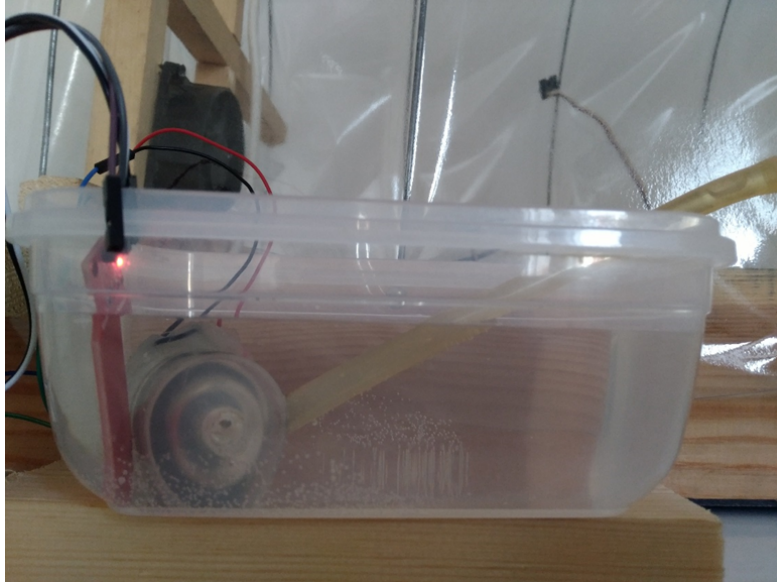


FIGURE 4.13 – L'état ON de la pompe à eau.

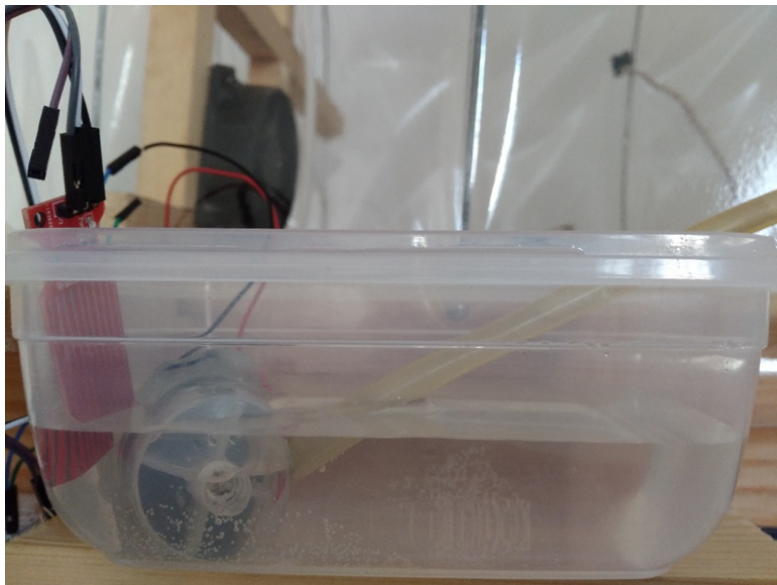


FIGURE 4.14 – L'état OFF de la pompe à eau.

Le moteur pas à pas :

Cet actionneur passe par deux états : l'état « open » illustré par la figure 4.15 et l'état « close » représenté par la figure 4.16



FIGURE 4.15 – L'état Open de la fenêtre.



FIGURE 4.16 – L'état Close de la fenêtre..

4.2 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté la structure et le montage de notre prototype conçu pour les tests ainsi que l'installation des différents capteurs et actionneurs à l'intérieur de ce prototype. Enfin, nous avons illustré les résultats des différents tests effectués sur notre système.

Conclusion générale

Afin d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles issus de la culture sous serres, il est nécessaire d'avoir un contrôle climatique optimal.

Pour cela, nous avons développé un système pour le contrôle d'une serre agricole capable de superviser et de percevoir les situations environnementales du sol et les situations climatiques dans une serre. Avec sa capacité d'actionnement, ce système peut fournir d'une manière automatique des services adéquats à savoir la gestion d'irrigation, d'éclairage, de ventilation et du réservoir.

Le problème que nous avons abordé dans le projet était la reconnaissance automatique des situations de la serre au moyen des données imparfaites fournies par les capteurs déployés dans la serre. Le problème majeur étant précisément la difficulté d'intégrer de nombreuses données des capteurs dans la conclusion des situations prévalant dans la serre. Un autre problème que nous avons traité dans le cadre de ce travail est celui qui concerne la décision automatique et l'exploitation des données issues des capteurs pour prendre une décision. Afin de fixer ces problèmes, nous avons suggéré d'utiliser la théorie des fonctions de croyance pour donner au système la possibilité de contrôler automatiquement la serre.

En ce qui concerne la partie physique de notre projet, nous avons réalisé une maquette d'une serre où le système peut être testé.

En perspective, nous proposons l'amélioration de notre projet par :

- L'adaptation de notre application android pour la gestion de plusieurs serres ;
- L'intégration de la possibilité de contrôler plusieurs types de plantes ;
- L'utilisation des actionneurs et des capteurs industriels ;
- La sécurisation des communications en utilisant un algorithme de chiffrement ;
- L'ajout d'autres actionneurs comme : le chauffage d'eau, l'enrichissement du CO₂, etc.
- Le contrôle de plusieurs autres paramètres comme : l'humidité d'air, la température du sol et le PH ;

CONCLUSION GÉNÉRALE

- Le contrôle des conditions météorologiques à l'extérieur de la serre et prendre en compte les valeurs issues des capteurs lors de la prise de décision.
- L'amélioration de l'utilisation de la théorie des fonctions de croyance de sorte à ce que la décision ne dépend pas d'un seul type de données reçues.

webographie

- [1] <https://aws.amazon.com/fr/what-is-aws>
- [2] <https://azure.microsoft.com/en-us>
- [3] <https://cloud.google.com>
- [4] <http://www.smartgrids-cre.fr>
- [5] <https://www.redsen-consulting.com>
- [6] <https://www.blemobileapps.com>
- [7] <http://www.getsenso.com/iot-solution/greenhouse-monitoring>
- [8] <https://cityfarmer.info/bitponics-where-urban-agriculture-meets-the-internet-of-things/>
- [9] <http://popupcity.net/how-to-become-a-remote-farmer>
- [10] <http://https://cursus.edu>
- [11] <https://www.lesnumeriques.com/objet-connecte/parrot-flower-power-p23905/test.html>
- [12] <https://www.kickstarter.com>
- [13] <https://www.globalsign.com>
- [14] <https://decorexpro.com>
- [15] <https://www.espressif.com>
- [16] <https://www.static.raspberri>
- [17] <https://www.simcom.ee>
- [18] Moisture Sensor datasheet <https://seedstudio.com/wiki/Grove-Moisture-Sensor>
- [19] Temperature Sensor V1.2 [https://seedstudio.com/wiki/Grove-Temperature-Sensor V1.2](https://seedstudio.com/wiki/Grove-Temperature-Sensor-V1.2)
- [20] <https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-la-luminosite-ambiante-avec-une-photoresistance>
- [21] MQ-135 datasheet <https://www.datasheetpdf.com>

- [22] <https://www.tc-fluidcontrol.com/about-us/blog-posts/how-liquid-level-sensors-work>.
- [23] 28BYJ-48-5V Stepper Motor datasheet <https://www.roboCraft.ru>
- [24] FPD-270A-102-XXX <https://www.mantech.co.zo>
- [25] L293d datasheet <https://www.alldatasheet.com>
- [26] <https://www.influxdata.com>
- [27] <https://iot.goffinet.org>
- [28] <https://www.platformio.org>
- [29] <https://Android-sdk.fr.softonic.com>
- [30] <https://www.lemagit.fr/definition>

Bibliographie

- [A.S14] A.SAMET. Théorie des fonctions de croyance :application des outils de data mining pour le traitement de données imparfaites. *Université d'ARTOIS*, 3 decembre 2014.
- [Bel16] Gaetano Patti ; Luca Leonardi ; Lucia Lo Bello. A bluetooth low energy real-time protocol for industrial wireless mesh networks. *IECON*, 2016.
- [CC10] Minyoung Park Carlos Cordeiro, Dmitry Akhmetov. Ieee 802.11ad : introduction and performance evaluation of the first multi-gbps wifi technology. *MOBICOM*, September 2010.
- [Daf19] Zahra Dafri. Réalisation d'un système basé sur internet des objets pour le contrôle des serres intelligentes. *université Université de 8 Mai 1945 - Guelma -*, Juillet 2019.
- [DJSR19] J. Vijitha Ananthi Dr. Jennifer S. Raj. Automation using iot in greenhouse environment. *Journal of Information Technology and Digital World*, September 2019.
- [FA19] Nuray Turker Fatma Ateş. Determination of variables that affect the satisfaction levels of visiting tourists by logistics regression analysis. *IDSES*, June 2019.
- [Haa98] Jaap Haartsen. Bluetooth—the universal radio interface for ad hoc, wireless connectivity. *Ericsson Review No. 3*, 1998.
- [HSR17] Musse Mohamud Ahmed Hikma Shabani, Norhuzaimin Julai and Ahmad Helmi Che Rose. Intelligent greenhouse monitoring and control system based arduino uno microcontroller. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 2017.
- [ITU12] ITU. Présentation générale de l'internet des objets. *Recommandation UIT TY2060*, page 5, june 2012.
- [JQ17] Xiaodong Duan Shuya Zhao Jianling Qi, Hang su. Design of wireless intelligent greenhouse control system based on embedded technology. *Atlantis Press*, 2017.

BIBLIOGRAPHIE

- [Kin03] Patrick Kinney. Zigbee technology : Wireless control that simply works. *Home Toys Article*, October 2003.
- [KKP16] Sunil M Patel Keyur K Patel. Internet of things-iot : Definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application and future challenges. *IJESC*, May 2016.
- [LA10] Giacomo Morabito Luigi Atzori, Antonio Iera. The internet of things : A survey. *EL SEVIER*, 2010.
- [LFj16] Zhao Xin-yuan Li Shi-hua Chen Zhong-fe Li Fu-juan, Wang Zhi-song. Design and research of intelligent greenhouse monitoring system based on internet of things. *ICSET*, 2016.
- [M.A05] M.Arnaud. La fusion d'informations. *Polycopié de cours ENSIETA-Réf :1484*, Janvier 2005.
- [MBY16] Ashwaq Khalil Muneer Bani Yassein, Wail Mardini. Smart homes automation using z-wave protocol. *ICEMIS*, September 2016.
- [Mey18] Kais Mekki ; Eddy Bajic ; Frederic Chaxel ; Fernand Meyer. Overview of cellular lpwan technologies for iot deployment : Sigfox, lorawan, and nb-iot. *PerCom Workshops*, 2018.
- [Nas17] Imad Saleh Nasredine. Internet des objets evolutions et innovations. *ISTE Editions Ltd*, page p55, 2017.
- [OM19] Ahmed Mouhssen Oumaima Mehdaoui, Abdelkader Youssefi. Conception d'un système de télépaiement à base de la technologie nfc. *HAL*, 25 Sep 2019.
- [PJB18] Françoise Massit-Folléa Pierre-Jean Benghozi, Sylvain Bureau. L'internet des objets. *OpenEditionsBooks*, publier le 19 janvier 2018.
- [PPJ16] Ahsan Morshed Prem Prakash Jayaraman, Dimitrios Georgakopoulos. nternet of things platform for smart farming : Experiences and lessons learnt. *Sensors*, 9 November 2016.

Résumé

Ce travail est réalisé dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude en master. Il consiste à concevoir et réaliser un système pour l'automatisation et le contrôle à distance des serres agricoles, afin de réduire les efforts des agriculteurs et d'améliorer la productivité en termes de quantité et de qualité.

Ce projet est constitué de trois parties :

La première partie consiste à concevoir et réaliser un système intelligent capable de reconnaître les conditions climatiques dans la serre à partir des données issues des capteurs et prendre la décision de déclencher un actionneur dans le but de maintenir les conditions climatiques idéales pour les plantes.

Dans la deuxième partie, nous avons développé une interface homme-machine qui permet de visualiser les paramètres climatiques en temps réel et de configurer les seuils des conditions climatiques à ne pas dépasser dans la serre.

Enfin nous avons réalisé une serre prototype qui nous a permis de tester les performances et le bon fonctionnement de notre système.

Mots clés : serres intelligentes, Internet des objets, contrôle automatique des paramètres climatiques, contrôle à distance.

Abstract

This work is carried out as part of a master's end-of-study dissertation. It consists of designing a system for the automation and remote control of agricultural greenhouses, in order to reduce the efforts of farmers and improve productivity in terms of quantity and quality. This project consists of three parts :

The first part consists in designing and making an intelligent system capable of recognizing the climatic conditions in the greenhouse from the data obtained from the sensors and making the decision to trigger an actuator in order to maintain the ideal climatic conditions for the plants.

In the second part, we have developed a human-machine interface that allows to visualize the climatic parameters in real time and to configure the thresholds for the climatic conditions not to be exceeded in the greenhouse. Finally, we made a prototypical greenhouse that allowed us to test the performance and efficiency of our system.

Key words : smart greenhouses , IoT, automatic control of climate parameters, remote control.