

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département informatique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

Kettab Messaouda

Sehtali Imane

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : MI

Option : ISIL

Thème :

**Conception et réalisation d'un système de gestion d'objet sous
internet(IoT) : Smart Irrigation**

Devant le jury composé de :

YAHYA OUI	Grade	UAMOB	Encadreur
BOUGLIMINA	Grade	UAMOB	Présidente
CHIHATI	Grade	UAMOB	Examineur
LEBOUKH	Grade	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

*Avant tout, le grand et le vrai merci à **Allah** qui nous a donné la volonté et le courage pour la réalisation de ce travail.*

En second lieu, nous tenons exprimer notre reconnaissance à Yahiaoui Kais pour avoir accepté de nous encadrer dans cette étude. Nous le remercions pour ses encouragements tout au long de ce travail.

*Nos remerciement à **Aid Aicha** et **Messaoudi Oussama** à d'avoir accepté d'évaluer mon travail au sein du jury de soutenance.*

*Nos Vifs remerciements à **L.yazid** et à **k.Alaa** pour ses précieux conseils méthodologiques et avoir eu la patience de répondre à nos innombrables questions Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique qui nous ont aidés accompagnés, aidés, soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

Dédicaces

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le Respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie cette thèse de Master à :

A MES CHERS PARENTS, Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement.

A mon chère "kheir eddine".

A ma chère binome "mesaouda".

A toute mes amies et mes camarades de ma promotion

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.

Sehtali Imane.

Dédicaces

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné La force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

À Mon père Allah Yarhmo «Elhadi», j'espère que tu sois fier et que tu trouves ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

À Ma mère « Khadija », tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé d'encourager.

À tous mes frères : Mohamed (mon 2ème père), hamoud et Achraf .

À mes sœurs : Tourkia, Kenza et Ahlam .

À toute ma famille.

À mes chères amies : Hafsa, Hajer, Rahma, Nadia , Amine ,Zaki, hamid.....

À ma chère binôme «Imane».

À toute la promotion M2.

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

MERCI A TOUS.

Kettab Messaouda.

Résumé

L'internet des objets connectés «IoT» «Internet of Things» font partie intégrante de ce beau monde connecté que nous découvrons ou connaissons déjà. Lié de près ou de loin à la sécurité électronique, elle devient peu à peu un véritable allié dans le domaine de l'agriculture, mais également pour l'arrosage intelligent, «**Smart irrigation**» qui devraient éclore d'ici quelques petites années.

L'irrigation intelligente est un élément clé de l'agriculture de précision. Il aide les agriculteurs à éviter les arrosages excessifs et les écoulements excessifs en programmant la quantité d'arrosage nécessaire en fonction du type de paysage et du climat. Les systèmes d'irrigation intelligents peuvent économiser jusqu'à 45% d'eau pendant la saison sèche et environ 80% d'eau pendant la saison des pluies par rapport aux systèmes d'arrosage à commande manuelle.

Ce projet vise à la mise en œuvre d'une application d'IoT .La dernière innovation en matière d'irrigation, qui vous permet de garder, contrôler et piloter votre jardin à tout moment à l'aide des contrôleurs et des dispositifs.

L'analyse de la solution porte particulièrement par prendre en compte les valeurs transmises par les différents dispositifs situés dans l'environnement cible pour l'irrigation (capteur d'humidité du sol, capteur de pluie, capteur de niveau d'eau) en utilisant l'arduino pour effectuer le traitement de ces données d'une façon intelligente afin de prendre la décision adéquate qui influencera le pilotage d'arrosage et empêcher un sur-arrosage.

Mots clés : Internet of Things, Smart Irrigation, Arduino . . .

Abstract

The internet of connected things "IoT" "Internet of Things" are an integral part of this beautiful connected world that we discover or already know. Linked to near or far electronic security, it is gradually becoming a real ally in the field of agriculture, but also for "Smart irrigation" which should hatch in a few short years. Smart irrigation is a key element of precision farming. It helps farmers avoid excessive watering and excessive runoff by scheduling the amount of watering required depending on the type of landscape and climate. Intelligent irrigation systems can save up to 45% of water during the dry season and about 80% of water during the rainy season compared to manual irrigation

systems. This project aims to implement an IoT application. The latest innovation in irrigation, which allows you to watch over, control and pilot your garden at any time using controllers and devices. In particular, the analysis of the solution takes into account the values transmitted by the different devices located in the target environment for irrigation (soil moisture sensor, rain sensor, rain sensor, water level sensor). water) using the arduino to process the data in an intelligent way to make the right decision that will influence irrigation control and prevent over-watering.

Mots clés : Internet of Things, Smart Irrigation,Arduino ...

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	v
Liste des tableaux	vii
Liste des abréviations	viii
Introduction générale	1
1 Concepts généraux sur RCSFs	4
1.1 Introduction	4
1.2 Historique des RCSFs :	4
1.3 Les Capteurs :	5
1.3.1 Définition d'un capteur sans fil :	5
1.3.2 Architecture physique d'un capteur :	6
1.3.3 Caractéristiques d'un capteur :	6
1.4 Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) ou WSN (Wireless Sensor Network) :	7
1.4.1 Définition d'un RCSF :	7
1.4.2 Architecture des RCSF :	8
1.4.3 Caractéristique RCSF :	10
1.4.4 Applications des RCSF :	10
1.4.5 Systèmes embarqués pour les capteurs :	11
1.4.6 Topologie du réseau de capteurs sans fil :	12

1.5	Les différentes problématiques dans les RCSFs :	14
1.5.1	La consommation d'énergie :	14
1.5.2	Le routage :	14
1.5.3	La sécurité :	14
1.5.4	Qualité de service :	14
1.5.5	Topologie dynamique :	14
1.6	Conclusion :	15
2	Internet des objets 'IoT'	16
2.1	Introduction :	16
2.2	Définition de l'IoT :	17
2.3	Objet connecté :	17
2.3.1	définition :	17
2.3.2	Caractéristiques d'un objet connecté :	18
2.4	Domaines d'application des systèmes d'IoT :	20
2.4.1	Agriculture Intelligente :	20
2.4.2	Les maisons intelligentes :	21
2.4.3	Le transport :	22
2.4.4	La médecine intelligente :	23
2.4.5	Les villes intelligentes :	24
2.5	Vulnérabilités et menaces dans l' IoT :	24
2.5.1	Menaces sur les données et les réseaux :	24
2.5.2	Menaces sur la privacy :	25
2.5.3	Menaces sur les systèmes et l'environnement physique des objets :	25
2.6	Modèle d'architecture pour l'IoT :	26
2.7	Fonctionnement de L'IoT :	27
2.8	Paradigmes de communication :	28
2.8.1	Les communications humain-à-objet :	28
2.8.2	Les communications objet-à-objet :	28
2.9	Protocole de communication :	29
2.10	Composants d'un système 'IoT' :	30
2.11	Les Avantages et les inconvénients de l'IoT	32
2.11.1	Avantages :	32

2.11.2 Inconvénients :	32
2.12 Conclusion :	32
3 Smart Irrigation	33
3.1 Introduction :	33
3.2 l’agriculture de précision :	33
3.3 Système d’irrigation :	34
3.3.1 Système gravitaire (ou de surface) :	34
3.3.2 Système par aspersion :	36
3.3.3 Système goutte à goutte :	37
3.4 Irrigation intelligente :	37
3.4.1 Facteurs contribuant à la qualité d’arrosage intelligent :	38
3.4.2 Technologie intelligentes d’irrigation :	40
3.4.3 Architecture d’irrigation intelligente system de gestion :	42
3.5 L’irrigation intelligente : avantages, inconvénients, et obstacles :	42
3.5.1 Les Avantages de l’irrigation intelligente :	42
3.5.2 Les inconvénients :	43
3.5.3 les Obstacles :	44
3.6 Etude du projet :Smart Irrigation	44
3.6.1 Problématique :	44
3.6.2 Solution proposée :	45
3.7 Conclusion :	47
4 Réalisation et implémentation du projet	48
4.1 Introduction :	48
4.2 Objectifs visé :	48
4.3 Architecture Matérielle du système proposé :	49
4.4 Représentation du système proposé :	50
4.5 Arduino :	50
4.5.1 Définition :	50
4.5.2 Domaines d’applications d’Arduino :	51
4.5.3 Comment choisir sa carte Arduino?	52
4.6 La partie matérielle :	53

4.6.1	Arduino Uno :	53
4.6.2	Le module de communication (Module Bluetooth HC-05) :	53
4.6.3	Les modules de captage :	55
4.6.4	Les modules de contrôle (Les Relais) :	60
4.6.5	La pompe d'arrosage :	61
4.6.6	L'alimentation :	62
4.6.7	Les plaquettes d'essais sans soudures (La breadboard) :	63
4.6.8	Des câbles :	63
4.6.9	Câble d'alimentation USB :	64
4.7	Partie Logiciel :	64
4.7.1	IDE Arduino :	64
4.7.2	Fritzing :	65
4.7.3	Bluetooth Terminal HC-05 :	66
4.8	Branchement de modules :	67
4.8.1	Schéma finale de notre système :	68
4.8.2	Organigramme générale du système :	68
4.9	Résultats obtenus :	70
4.10	Conclusion :	70
 Conclusion générale		 71
 Bibliographie		 73

Table des figures

1.1	capteur sans fils	5
1.2	les composants d'un capteur	6
1.3	les composants d'un capteur	8
1.4	Modèle en couches du réseau de capteurs sans fil	9
1.5	Applications des réseaux de capteurs	11
1.6	Topologie en étoile	12
1.7	Topologie en toile	13
1.8	Topologie cluster-tree	13
2.1	Internet des Objets	16
2.2	Exemples d'objet connectés	18
2.3	Parrot Capteur Intelligent pour Plantes Intérieur/Extérieur	19
2.4	Les domaines d'Internet of Things	20
2.5	L'internet des objets dans le domaine d'agriculture Intelligente	21
2.6	L'Internet des objets et la domotique.	22
2.7	L'Internet des objets et le transport.	22
2.8	L'internet des objets dans le domaine médical	23
2.9	Une ville intelligente.	24
2.10	Les différentes facettes de protection de la privacy.	25
2.11	L'architecture d'IoT.	26
2.12	L'émergence de nouveaux paradigmes de communication dans l'Internet du futur.	28
3.1	Les différents systèmes d'irrigation.	34

3.2	Irrigation par bassins.	35
3.3	Seguia principales et siphon d'alimentation de raies.	36
3.4	Irrigation par aspersion	37
3.5	Irrigation en goutte à goutte	37
3.6	Irrigation intelligente	38
3.7	L'IoT dans l'agriculture.	41
4.1	Architecture Matérielle du système d'irrigation.	50
4.2	Description des entrées/sorties de la carte Arduino Uno.	53
4.3	Branchement de module Bluetooth HC-05.	54
4.4	Bluetooth Terminal HC-05.	55
4.5	Branchement de module capteur Humidité de sol.	57
4.6	Module capteur de détection de pluie.. . . .	57
4.7	Branchement de capteur de détection pluie.	58
4.8	Module capteur d'eau.	59
4.9	Branchement de module capteur d'eau.	59
4.10	Module relais.	61
4.11	Branchement de module Relais.	61
4.12	Pompe d'arrosage utilisée.	62
4.13	Alimentation de PC utilisée.	62
4.14	Une plaquette d'essai sans soudure.	63
4.15	Des câbles.	63
4.16	Câble USB.	64
4.17	Fritzing	66
4.18	L'interface de l'application "Bluetooth Terminal HC-05"	67
4.19	Schéma finale de notre système	68
4.20	l'organigramme global du programme de la carte de commande.	69
4.21	le résultat final	70

Liste des tableaux

1.1	Les trois générations des nœuds de capteurs	5
1.2	Comparaison entre les caractéristiques de quelques systèmes d'exploitation .	12

Liste des abréviations

RCSF :	Réseaux de Capteurs Sans Fil
WSN :	Wireless Sensor Network
ADC :	Analog to Digital Converter
IEEE :	Institute of Electrical and Electronics Engineers
WiFi :	Wireless Fidelity
IoT :	Internet of Things
RFID :	Radio Frequency Identification
GSM :	Global System for Mobile
UMTS :	Universal Mobile Telecommunications System
LTE :	Long Term Evolution
NFC :	Near Field Communication
GPS :	Global Positioning System
IdO :	Internet des objets
API :	application programming interface
M2M :	Machine to Machine
H2T :	Human to Thing
T2T :	Thing to Thing
T2H :	Thing to Human

Introduction générale

L'évolution de la technologie dans les domaines de l'informatique et l'électronique a permis l'émergence des réseaux de capteurs sans fil (RCSF), ou WSN (Wireless Sensor Networks). Un nouveau paradigme fondé sur les efforts collaboratifs d'un ensemble très large de capteurs s'auto organisant.

Ces derniers sont conçus pour répondre à des problématiques de communications où l'homme est souvent un acteur principal (accès à un réseau global comme Internet, téléphonie, télécommande. . .). Les RCSFs offrent des moyens de communication très souvent spontanés entre objets autonomes, généralement sans aucune intervention humaine.

Cette architecture est une collection de nœuds. Ses nœuds consistent en un grand nombre de capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome comme ,température, la luminosité, le mouvement et bien d'autres paramètres dispersés aléatoirement à travers une zone géographique (champ de captage) et mettant en œuvre un routage multi saut jusqu'au nœud considéré comme un « point de collecte d'une fonction spécifique, dans ce monde physique L'Internet des Objets (IdO) ,ou IoT(internet of things)commence elle contribue à la modification ou création de nouveaux usages dans le monde .

En particulier est un nouvel outil de connectivité et de mobilité, qui transforme les affaires et la vie quotidienne à des objets connectés. Les objets courants deviennent des actifs intelligents, s'intègrent de façon transparente à un réseau mondial et sont en mesure de produire et d'échanger des données utiles sans intervention humaine. Il s'agit d'un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et sans fil, d'identifier et de communiquer numériquement avec des objets physiques afin de pouvoir mesurer et échanger des données entre les mondes physiques et virtuels. A

travers un tel paradigme, aujourd'hui l'IoT couvrira un large éventail d'applications et touchera quasiment à tous les domaines que nous affrontons au quotidien, ceci permettra l'émergence d'espaces intelligents.

L'Internet des objets est un réseau de réseaux qui réconcilie le virtuel et le réel. Il permet d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter des données qui y sont rattachées sans discontinuité entre tous les points du réseau.

La communication entre les objets connectés se fait à travers des protocoles de communication (wifi, bluetooth, zigbee, sigfox ... etc.), ainsi qu'ils existent un grand nombre d'outils pour le développement et le prototypage de projets dans le domaine d'internet des objets (Arduino, nodeMCU, HC-05...etc.)

L'arrosage intelligent est considérées parmi les domaines d'application les plus importants dans l'IoT. C'est un système d'irrigation intelligente et automatique, qui prend en considération les éléments favorisant l'économie des ressources d'irrigation, via les informations fournis L'Introduction générale par les objets connectés en permanence, et qui forment une base selon un algorithme intelligent qui décide de lancer ou d'arrêter l'opération d'arrosage.

Notre projet s'inscrit dans le cadre des systèmes d'IoT, il s'intéresse particulièrement au domaine de l'irrigation intelligente (Smart Irrigation).

Dans le but de développant un système d'arrosage automatique pour différentes surfaces, ce mémoire est constitué de quatre chapitres incluant cette introduction générale et terminant avec une conclusion générale.

Dans le **premier chapitre**, nous présentons les concepts généraux sur les réseaux de capteurs sans fil. On commence d'abord par décrire un nœud capteur et ses caractéristiques, ensuite on expose les réseaux de capteurs sans fil et leurs architectures, leurs applications potentielles et aussi leurs spécificités.

Le **deuxième chapitre** nous donnons une vue générale sur Internet des Objets (Internet of Things), définition, composantes, importance, domaines d'applications, les objets connectés...etc.

Le **troisième chapitre**, est consacré à L'irrigation intelligente qui est basée sur les réseaux de capteurs sans fil, nous essayons d'aborder l'utilisation des réseaux de capteurs sans fil dans l'agriculture de précision, en s'intéressant sur l'utilité d'irrigation intelligente

qui est basée sur les RCSF pour économiser de l'eau.

Le quatrième chapitre illustre le matériel et les logiciels utilisés pour la réalisation de notre système, la dernière partie de ce chapitre est réservée à la conception et la réalisation du système, puis nous présentons le résultat obtenu.

Enfin nous allons terminer par une conclusion générale dans laquelle nous allons résumer les résultats de notre travail et citer quelques perspectives.

Concepts généraux sur RCSFs

1.1 Introduction

Au cours de ces dernières années l'évolution dans le domaine des communications sans fils et l'informatique mobile ont connu un succès croissant, qui a permis le développement d'un nouveau type de réseaux sans fils appelé réseaux de capteurs sans fil (RCSF),

Dans ce chapitre, nous allons présentons les réseaux de capteurs sans fil avec un plan méthodologique que nous avons adopté. Nous commençons par une définition d'un capteur, ses caractéristiques, ses types, son architecture et voir comment ces derniers sont déployés pour former un réseau de capteurs sans fil. Ensuite, l'architecture (Architecture matérielle et Architecture protocolaire) et les spécificités des RCSF seront étudiés, ainsi que les domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil et une petite conclusion.

1.2 Historique des RCSFs :

Les récents progrès des nouvelles techniques ont provoqué une énorme importance dans le domaine des réseaux sans fil. La technologie des réseaux de capteurs sans fil est devenue une des merveilleuses technologies dans le 21 ème siècle , les réseaux de capteurs ont montré leur impact sur notre vie quotidienne [1].

Le tableau 1.1 illustre les trois générations des nœuds de capteurs :

Génération	Période	Taille	Poids	Batterie
1ère	Les années 80 et 90	Grande boîte a chaussures	Kilogrammes	Grosse
2ère	Entre 2000 et 2003	Boite de cartes	Grammes	AA
3ère	2010	Particule de poussière	Négligeable	Solaire

TABLE 1.1 – Les trois générations des nœuds de capteurs

1.3 Les Capteurs :

1.3.1 Définition d'un capteur sans fil :

Un nœud capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique observée (ex : pression,..) en une grandeur utilisable et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base «sink ». Parmi les différents types de mesures enregistrées par les nœuds capteurs, on peut citer entre autres : la température, l'humidité, la luminosité, l'accélération, la distance, les mouvements, la position, la pression, la présence du gaz, la vision (capture d'image), le son ... etc.[2].

En générale, les capteurs sont des objets électroniques de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio à une autre entité (capteurs, unité de traitements...) sur une distance limitée à quelques mètres.[3]. La figure 1.1 montre quelques exemples des capteurs sans fil.



FIGURE 1.1 – capteur sans fils

1.3.2 Architecture physique d'un capteur :

Voici en détail la composition de base physique interne d'un élément capteur :

- **Unité de perception** : est composée de deux sous-unités, un capteur et un convertisseur Analogique/Numérique (ADC pour Analog to Digital Converter). Le capteur permet de relier le nœud avec son environnement extérieur, il est responsable de fournir des signaux analogiques, basé sur les phénomènes observés à l'ADC. Ce dernier transforme ces signaux en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement pour pouvoir l'analyser.
- **Unité de traitement** : c'est l'unité principale du capteur. Elle est généralement représentée par un processeur couplé à une mémoire vive. Son rôle est de contrôler le bon fonctionnement des autres unités.
- **Unité de traitement** : c'est l'unité principale du capteur. Elle est généralement représentée par un processeur couplé à une mémoire vive. Son rôle est de contrôler le bon fonctionnement des autres unités.
- **Unité d'énergie** : c'est la batterie qui est, généralement, ni rechargeable ni remplaçable.

Par ailleurs, un capteur peut être doté d'autres unités. Citons, entre autres, la possibilité d'ajouter une unité de localisation, tel qu'un GPS, une unité de mobilité...etc[4].

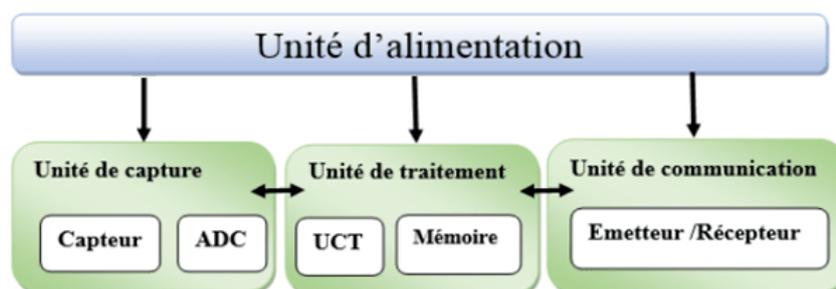


FIGURE 1.2 – les composants d'un capteur

1.3.3 Caractéristiques d'un capteur :

Les capteurs sont distingués par les caractéristiques suivantes :

- **Etendue de mesure (Plaine Echelle)** : L'étendue de mesure est la différence entre la limite supérieure et la limite inférieure de la grandeur mesurable par un

capteur. Lorsque le capteur fournit une valeur de la grandeur entre 0 et le maximum, ce maximum est appelé « Pleine Echelle ».

- **Résolution** : plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- **Rapidité** : temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.
- **Précision** : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la vraie.
- **Sensibilité** : représente la variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
- **Linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.
- **Finesse** : Elle permet d'estimer l'influence que peut avoir le capteur et de son support ou de ses liaisons sur la grandeur à mesurer. Par exemple, dans le cas d'un capteur de température, une capacité calorifique importante réduit sa finesse.
- **Fréquence de résonance** : Un capteur possède une réponse qui peut dépendre de la fréquence de la grandeur mesurée. Lorsqu'il existe une fréquence à laquelle la réponse est particulièrement élevée, celle-ci est appelée fréquence de résonance[3].

1.4 Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) ou WSN (Wireless Sensor Network) :

Les réseaux de capteurs sans fil sont l'une des technologies de la nouvelle génération de réseaux informatiques et télécommunications.

1.4.1 Définition d'un RCSF :

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) est un type particulier de réseaux mobiles ad hoc MANETs avec la plupart de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome [5]. Les nœuds capteurs sont des capteurs intelligents (smart sensor), capables d'accomplir trois tâches complémentaires :

- le prélèvement d'une grandeur physique,
- le traitement éventuel de cette information
- la communication avec d'autres capteurs

L'ensemble de ces capteurs déployés de manière aléatoire pour une application, forme un réseau de capteurs [6].

1.4.2 Architecture des RCSF :

- *Architecture matérielle* : Habituellement les réseaux de capteurs sans fils sont construits autour des quatre principales entités suivantes :
 - **Le capteur** : comme le dit bien son nom, il est en charge de mesurer une valeur relative à son environnement (température, pression, luminosité, présence, etc.).
 - **L'agrégateur** : il est en charge d'agréger les messages qu'il reçoit de plusieurs capteurs puis de les envoyer en un seul message au puits (sink). Cette opération a pour principal but de limiter le trafic sur le réseau et donc de prolonger la durée de vie globale du réseau de capteur. Il correspond généralement à la tête d'une grappe (cluster-head). L'utilisation de grappes offre de nombreux intérêts à tous les niveaux, notamment pour le routage.
 - **Le puits** : le puits est le nœud final du réseau. C'est à lui qu'est envoyé l'ensemble des valeurs mesurées par le réseau. Il peut arriver qu'il y'ait plusieurs puits sur un même réseau de capteurs.
 - **La passerelle** : la passerelle est un dispositif qui a la particularité d'avoir deux interfaces réseau. Il permet de relier le réseau de capteurs sans fils à un réseau plus traditionnel, typiquement l'internet. En effet, habituellement le réseau de capteurs ne sert qu'à faire remonter les mesures, les applications traitant ces informations étant exécutées sur la machine de l'utilisateur final [8].

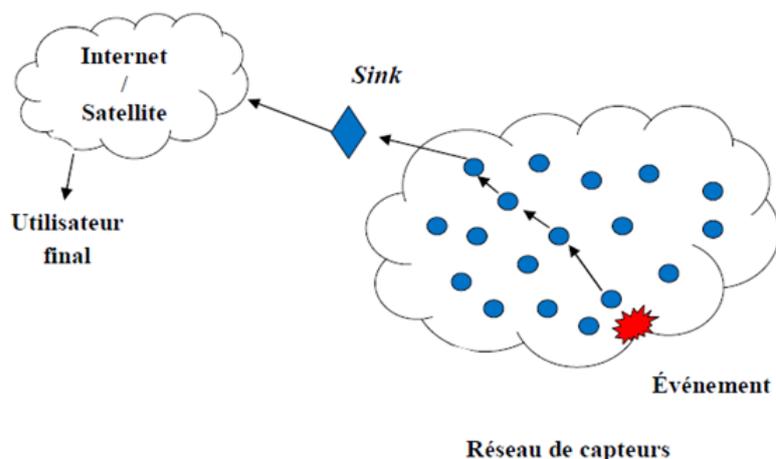


FIGURE 1.3 – les composants d'un capteur

- Architecture protocolaire : La pile de protocoles utilisée par les nœuds-capteurs est donnée dans la Figure 1.4. Elle combine le routage et la gestion d'énergie et intègre les données avec les protocoles réseau. Elle communique de manière efficace (en termes d'énergie) à travers le support sans fils et favorise les efforts de coopération entre les nœuds-capteurs. Selon les tâches de détection, différents types de logiciels d'application peuvent être construits utilisés dans la couche application [7].

- **Couche physique** : Matériels pour envoyer et recevoir les données,
- **Couche liaison de données** : Gestion des liaisons entre les nœuds et les stations de base, contrôle d'erreurs.
- **Couche réseau** : Routage et transmission des données.
- **Couche transport** : Transport des données, contrôle de flux.
- **Couche application** : Interface pour les applications au haut niveau.

En plus des quatre couches, il existe trois plans de gestion à savoir :

- **Plan de gestion d'énergie** : Contrôle l'utilisation d'énergie.
- **Plan de gestion de mobilité** : gère les mouvements des nœuds.
- **Plan de gestion de tâche** : Balance les tâches entre les nœuds afin d'économiser de l'énergie.

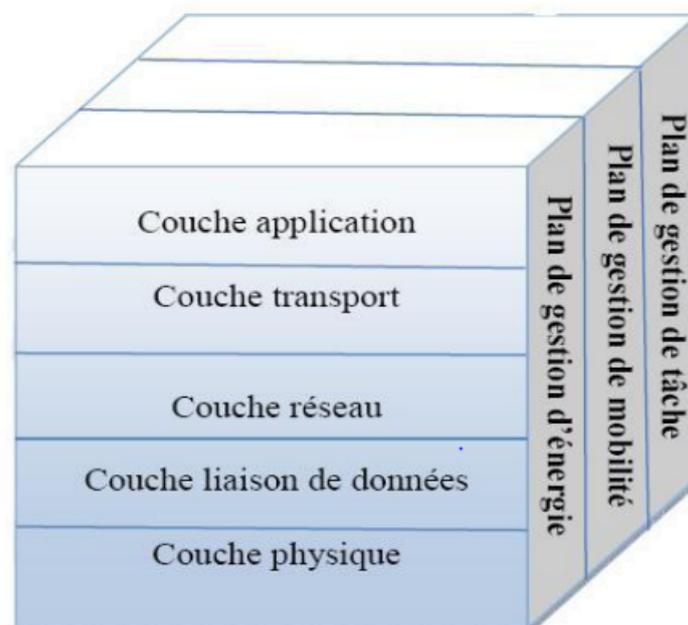


FIGURE 1.4 – Modèle en couches du réseau de capteurs sans fil

1.4.3 Caractéristique RCSF :

Les RCSF présentent des caractéristiques particulièrement comparativement aux réseaux sans fil. Parmi les principales caractéristiques, nous citons :

- Réseaux sans infrastructure
- le nombre de nœuds déployés pour une application peut atteindre des milliers
- La topologie dans les réseaux de capteurs est souvent dynamique .
- sécurité physique limitée
- bande passante assez faible
- Les nœuds capteurs ont des capacités limitées en énergie et mémoire.
- Dans un réseau de capteurs, la communication entre les nœuds se fait par diffusion et non pas point à point.
- Les capteurs peuvent ne pas avoir un identifiant global à cause du grand nombre de nœuds.
- Un grand nombre de nœuds dispersés aléatoirement

1.4.4 Applications des RCSF :

L'utilisation des capteurs est depuis longtemps une réalité au sein de multiples domaines tel que l'industrie automobile ou aéronautique, mais l'affranchissement de la connexion filaire de par les progrès dans les technologies du sans-fil permet d'étendre leur utilisation à une multitude d'autres applications, on en cite quelques-unes :

- **Applications militaires :** On peut penser à un réseau de capteurs déployé sur un endroit stratégique ou d'accès difficile, afin de surveiller toutes les activités des forces ennemies, ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations).
- **Applications domestiques :** En plaçant, sur le plafond ou dans le mur, des capteurs, on peut économiser l'énergie en gérant l'éclairage ou le chauffage en fonction de la localisation des personnes.
- **Applications environnementales :** Les réseaux de capteurs sont beaucoup appliqués dans ce domaine pour détecter des incendies, surveiller des catastrophes naturelles, détecter des pollutions et suivre des écosystèmes.
- **Applications agricoles :** Dans les champs agricoles, les capteurs peuvent être semés avec les graines. Ainsi, les zones sèches seront facilement identifiées et l'irri-

gation sera donc plus efficace.

- **Applications médicales** : Il existe déjà dans le monde médical, des gélules multi-capteurs pouvant être avalées qui permettent, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur du corps humain.
- **Applications transportés** : Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison.



FIGURE 1.5 – Applications des réseaux de capteurs .

1.4.5 Systèmes embarqués pour les capteurs :

Les avancées technologiques récentes ont permis de faire embarquer des systèmes d'exploitation (OS : Operating System) au sein des capteurs, mais leurs fonctionnalités restent toutefois limitées.

Les systèmes d'exploitation pour les réseaux de capteurs sans fil sont des interfaces informatiques spécifiques destinées au fonctionnement des capteurs dans les réseaux.

Le rôle du système d'exploitation pour un capteur en réseau est d'être l'interface entre les ressources matérielles et les applications distribuées. Il doit fournir une variété de services systèmes basiques comme la gestion de l'allocation des ressources sur les périphériques de matériels divers et la gestion et la planification des tâches. Le but du système d'exploitation est de faciliter la programmation des applications, mais aussi d'optimiser les utilisations des ressources. Il existe plusieurs systèmes d'exploitation pour les réseaux de capteurs sans fils comme : TinyOS, Contiki, MANTIS OS, LiteOS, RETOS, Nano-RK [20]. Le Tableau 1.2 fait une comparaison entre les caractéristiques de quelques systèmes d'exploitation.

Caractéristique/ OS	Architecture	Modèle de programmation	Gestion de la mémoire	Langage de programmation
TinyOS	Monolithique	Événementielle	Mémoire statique	NesC
Contiki	Modulaire	Événementielle et Multitâche	Mémoire dynamique	C
MANTIS	Sous forme des couches	Multitâche	Mémoire dynamique	C
Nano-RK	Monolithique	Multitâche	Mémoire statique	C
LiteOS	Modulaire	Événementielle et Multitâche	Mémoire dynamique	LiteC++

TABLE 1.2 – Comparaison entre les caractéristiques de quelques systèmes d’exploitation .

1.4.6 Topologie du réseau de capteurs sans fil :

Un réseau de capteurs sans fil est composé d’un ensemble de nœuds capteurs et des Gateway qui s’occupent de collecter les données des capteurs et de les transmettre à l’utilisateur via l’internet ou le satellite, Nous discutons ci-dessous des topologies applicables aux réseaux de capteurs :

- **Topologie en étoile :** La topologie en étoile est un système uni-saut. Tous les nœuds envoient et reçoivent seulement des données avec la station de base. Cette topologie est simple et elle demande une faible consommation d’énergie, mais la station de base est vulnérable et la distance entre les nœuds et la station est limitée [13].

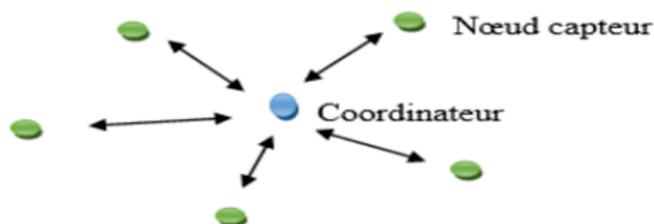


FIGURE 1.6 – Topologie en étoile

— *Avantage* : simplicité et faible consommation d’énergie des nœuds, moindre

latence de communication entre les nœuds et la station de base.

- *Inconvénient* : la station de base est vulnérable, car tout le réseau est géré par un seul nœud.
- **Topologie en toile (Mesh Network)** : La topologie en toile est un système multi-saut. La communication entre les nœuds et la station de base est possible. Chaque nœud a plusieurs chemins pour envoyer les données. Cette topologie a plus de possibilités de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes, mais elle demande une consommation d'énergie plus importante [13].

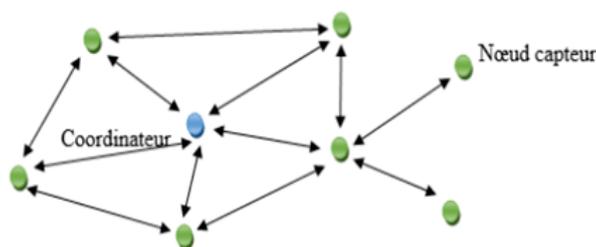


FIGURE 1.7 – Topologie en toile

- *Avantage* : Possibilité de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes.
- *Inconvénient* : Une consommation d'énergie plus importante est induite par la communication multi-sauts. Une latence est créée par le passage des messages des nœuds par plusieurs autres avant d'arriver à la station de base.
- **Topologie hybride** : La topologie hybride est un mélange des deux topologies ci-dessus. Les stations de base forment une topologie en toile et les nœuds autour d'elles sont en topologie étoile. Elle assure la minimisation d'énergie dans les réseaux de capteurs [13].

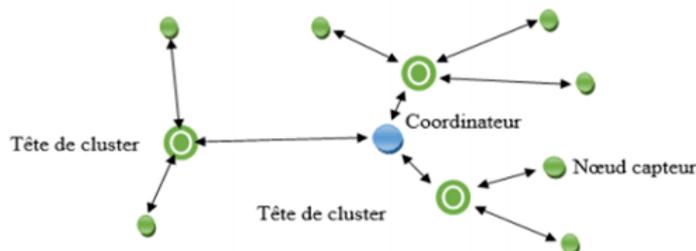


FIGURE 1.8 – Topologie cluster-tree

1.5 Les différentes problématiques dans les RCSFs :

Plusieurs soucis ont été rencontrés dans les travaux de recherche des réseaux de capteurs. Ces facteurs influencent sur l'architecture des réseaux de capteurs et le choix des protocoles à implémenter. Parmi ces problématiques, nous citerons :

1.5.1 La consommation d'énergie :

L'alimentation en énergie des réseaux de capteurs s'avère très couteuse, même impossible parfois ; donc, pour que ce dernier puisse fonctionner, il faudra économiser au maximum l'énergie [38].

1.5.2 Le routage :

Un protocole de routage efficace doit être conçu en minimisant la consommation d'énergie, en choisissant des chemins optimisés pour acheminer les données du capteur à la station de base et vice versa [39].

1.5.3 La sécurité :

En fonction de l'application, la sécurité peut être critique. Le réseau devrait permettre la détection des intrusions et la tolérance, ainsi qu'un fonctionnement robuste dans le cas de défaillance [39].

1.5.4 Qualité de service :

Les protocoles au niveau de la couche MAC doivent être capables de minimiser ou du moins restreindre l'impact des paquets dont la gestion est vitale [38].

1.5.5 Topologie dynamique :

Le dynamisme du réseau découle des défaillances des nœuds ou des cassures des liens entre ceux-ci. En outre, si la perte des nœuds est important, le réseau devient instable et ne peut pas survivre. Par conséquent, nous aurons des pertes de communication dues à la grande distance entre les nœuds qui restent [39].

1.6 Conclusion :

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Cette nouvelle technologie suscite un intérêt croissant vu la diversité de ces applications : santé, environnement, industrie et même dans le domaine domestique.

Dans ce chapitre nous avons présenté les concepts généraux liés aux réseaux de capteurs sans fil. Nous avons décrit le capteur, sa définition et ses Caractéristiques, ensuite nous avons défini ce qu'un réseau de capteurs, cité ses caractéristiques et ses systèmes embarqués . Nous avons vu à travers quelques exemples que les réseaux peuvent se révéler très utiles pour de nombreuses applications lorsqu'il s'agit de collecter et traiter des informations provenant de l'environnement.

Dans le chapitre suivant nous concentrerons à la présentation d'IoT (internat of thing).

Internet des objets 'IoT'

2.1 Introduction :

Actuellement en 2019 l'internet des objets est la tendance dans le monde de l'informatique, les medias parlent d'objets connectés, et les grands cabinets de consulting (Gartner et autres) avaient annoncés qu'il y aura plus d'objets connectés que d'êtres humains. Ces objets sont hétérogènes, et remplissent des fonctionnalités diverses que nous verrons plus tard dans les pages qui suivent.

L'internet des objets est en pleine croissance bénéficiant de la création du Cloud Computing et de son autonomie, de ce fait il peut être appliqué dans divers domaines. Dans la partie suivante, nous allons décrire le mode d'opération des IoTs.



FIGURE 2.1 – Internet des Objets

2.2 Définition de l'IoT :

L'Internet of Things (IoT) est « un réseau qui relie et combine les objets avec l'Internet, en suivant les protocoles qui assurent leurs communication et échange d'informations à travers une variété de dispositifs »[15].

L'IoT peut se définir aussi comme étant « 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 les données sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels. »[16].

Il existe plusieurs définitions sur le concept de l'IoT, mais la définition la plus pertinente à notre travail de recherche est celle proposée par Weill et Soussi qui ont défini l'IoT comme « une extension de l'Internet actuel envers tout objet « traditionnels » : ordinateurs, tablettes, smartphones, etc ou Nouveaux objets connectés : appareils électroménagers, instruments de mesure, robots, serrures, machines-outils, bennes à ordures, drones, jouets, montres, véhicules, etc pouvant communiquer de manière directe ou indirecte avec des équipements électroniques eux-mêmes connectés à l'Internet. Cette nouvelle dimension de l'Internet s'accompagne avec de forts enjeux technologiques, économiques et sociaux, notamment avec les économies majeures qui pourraient être réalisées par l'ajout de technologies qui favorisent la standardisation de ce nouveau domaine, surtout en matière de communication, tout en assurant la protection des droits et des libertés individuelles »[14].

2.3 Objet connecté :

2.3.1 définition :

Un objet est, avant toute chose, une entité physique, par exemple, une lampe, une voiture, une cigarette électrique ou un ordinateur...etc .

Il est difficile de définir c'est quoi un objet connecté, tant qu'il englobe d'innombrables choses et la définition la plus proche de ce terme est la suivante : un objet connecté est un matériel électronique qui peut communiquer des informations avec un Smartphone, une tablette tactile et/ou un ordinateur via une liaison sans fil, Bluetooth ou WiFi, etc., ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes



(La lampe DAL)

(un thermostat Qivivo)

FIGURE 2.2 – Exemples d'objet connectés .

physiques et virtuels. Ses caractéristiques pouvant évoluer au cours du temps (position, niveau de batterie, ... etc[17]).

Il est raisonnable de considérer que l'IoT est composé d'objets actifs, capables d'accomplir des calculs, d'effectuer des mesures sur l'environnement ou d'influer sur celui-ci, et d'objets passifs qui n'ont pas d'autres aptitudes que celles d'être suivis et détectés par des objets actifs :

- **Objet passif** : Par extension, l'identité d'un objet passif n'est pas directement stockée dans celui-ci, à l'exception de l'identifiant, et nécessite l'utilisation d'une infrastructure tierce capable de stocker ces informations.
- **Objet actif** : Au contraire, un objet actif peut stocker tout ou partie de son identité et échanger directement ces informations avec d'autres objets actifs[18].

2.3.2 Caractéristiques d'un objet connecté :

Généralement, un objet connecté est caractérisé par :

- **Identité** : pour que les objets soient gérables il est essentiel que chaque objet connecté possède une identité unique qu'il lui propre et qui le distingue des autres objets du système.
- **Interactivité** : Les progrès technologiques ont permis de connecter une grande variété d'objets et de dispositifs. Un objet n'a pas besoin d'être connecté à un réseau à tout moment. Pour des objets dits passifs tels que des livres ou des DVD, des étiquettes RFID doivent seulement être en mesure de signaler leur présence, de temps en temps, comme le moment de quitter le magasin.

- **Programmable** : L'objet connecté doit être programmé et piloté à distance via un ordinateur, une tablette ou un Smartphone.
- **Sensibilité** : Un objet a la capacité de percevoir son environnement et peut collecter ou transmettre des informations à celui-ci. Il peut ainsi avoir des capteurs signalant les niveaux de température, d'humidité, de vibrations, d'emplacement ou de bruit.
- **Autonomie** : Cette caractéristique est, peut-être, la caractéristique la plus importante pour l'objet connecté. On désigne par cette caractéristique la capacité de l'objet d'agir sans l'intervention d'un tiers. [19]

En d'autres termes, les objets doivent pouvoir être traités et surveillés individuellement, généralement depuis un point éloigné, et doivent fonctionner indépendamment d'une télécommande, c.-à-d. que chaque objet devient responsable de lui-même.

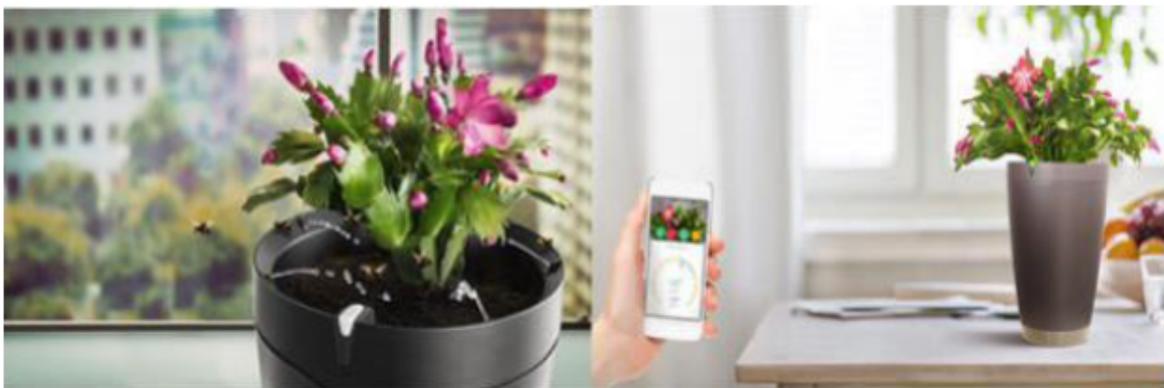


FIGURE 2.3 – Parrot Capteur Intelligent pour Plantes Intérieur/Extérieur

2.4 Domaines d'application des systèmes d'IoT :

Les applications potentielles de l'IoT sont nombreuses et variées, pénétrant dans pratiquement tous les domaines de la vie quotidienne des individus, des entreprises et de la société dans son ensemble. L'application d'IoT couvre des environnements/espaces «intelligents» dans des domaines tels que : Agriculture, maison, transport, médecine, villes...etc

Dans ce qui suit, nous présentons quelques domaines d'applications des systèmes d'IoT, pour chaque domaine, nous citons quelques exemples :

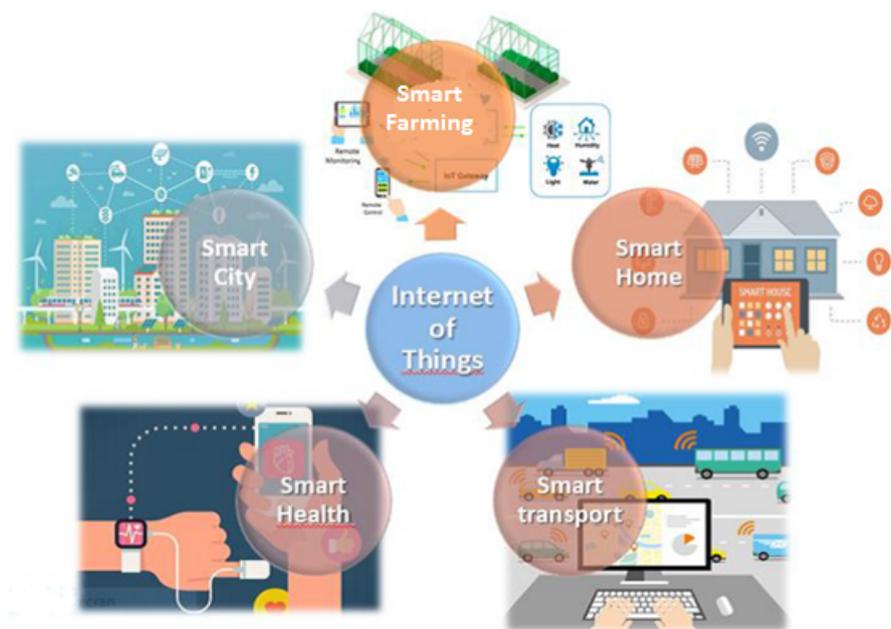


FIGURE 2.4 – Les domaines d'Internet of Things .

2.4.1 Agriculture Intelligente :

Dans ce domaine, des réseaux de capteurs interconnectés à l'IoT peuvent être utilisés pour la supervision de l'environnement des cultures. Ceci permettra une meilleure aide à la décision en agriculture, notamment pour optimiser l'eau d'irrigation, l'usage des intrants, et la planification de travaux agricoles. Ces réseaux peuvent être aussi utilisés pour récolter les informations utiles sur l'état du sol, taux d'humidité, taux des sels minéraux, etc. et envoyer ces informations au fermier pour prendre les mesures nécessaires garantissant la bonne production ainsi lutter contre la pollution de l'air, du sol et des eaux et améliorer

la qualité de l'environnement en général[18].

par exemple on a :



(Drone)



(Les agribots)



(Les tracteurs intelligents)



(Collie connecté pour vache)

FIGURE 2.5 – L'internet des objets dans le domaine d'agriculture Intelligente .

2.4.2 Les maisons intelligentes :

La maison du futur sera un objet connecté à Internet accessible à distance par ses propriétaires via des Smartphones, tablette ou ordinateurs connectés. La porte, la télévision, le thermostat, le réfrigérateur, les parapluies, les montres, etc.

De telle sorte qu'une porte connectée informe les parents par Internet de la rentrée de leurs enfants. La télévision qui était seulement un terminal récepteur. BConnectée à Internet, elle (la télévision) devient plutôt un dispositif émetteur/récepteur qui fournit à ses téléspectateurs la possibilité d'envoyer et recevoir des e-mails, faire des appels téléphoniques sur Internet, ou autre. Un thermostat intelligent connecté au réseau Wi-Fi de la maison permet de contrôler facilement la température de celle-ci à partir de n'importe où, pour une amélioration du confort et une optimisation des économies énergétiques. Le réfrigérateur intelligent connecté à Internet et muni d'un système RFID traque les produits élémentaires qui y sont stockés et enregistre des informations pertinentes leur concernant (comme la durée du stockage et la date d'expiration).

L'utilisateur peut l'interrogé à distance pour savoir ce qui reste et ramener les produits manquant avant de rentrer à la maison. Ou alternativement, le réfrigérateur peut être

programmé pour commander automatiquement les produits qui manquent[20]



FIGURE 2.6 – L'Internet des objets et la domotique.

2.4.3 Le transport :

Dans ce domaine l'IoT appuiera les efforts actuels autour des véhicules intelligents au service de la sécurité routière et l'aide à la conduite. Cela portera sur la communication inter véhicule et entre véhicules et infrastructure routière. L'IoT constituera ainsi un prolongement naturel des « systèmes de transport intelligents » et leurs apports en termes de sécurité routière, confort, efficacité de la gestion du trafic et économie du temps et de l'énergie [18].



FIGURE 2.7 – L'Internet des objets et le transport.

2.4.4 La médecine intelligente :

L'IoT aura de nombreuses applications dans le secteur de la santé où l'objectif est d'arriver à prévenir des situations graves et de suivre à distance des patients atteints des maladies chroniques et agir rapidement si cela s'est avéré nécessaire. Des capteurs corporels implantés dans le corps du patient récoltent des informations relatives aux paramètres médicaux, telles que la température, la glycémie, le rythme des battements du cœur ou encore même la tension artérielle. Ces informations seront stockées et traitées sur Internet (plus précisément sur un cloud) et mises à la disposition du médecin qui pourra les consulter n'importe quand et depuis n'importe quel dispositif connecté à Internet (ex : son Smartphone ou sa tablette). Le médecin est alerté en temps réel (en lui envoyant un mail ou un SMS) de tout changement brusque concernant l'état de son patient. Suivant le degré de gravité de la situation, le médecin réagit soit en se déplaçant chez le patient ou juste en le contactant et lui indiquant ce qu'il faut faire pour revenir à l'état normal. Imaginons par exemple un patient avec un rythme cardiaque irrégulier. Le capteur détectant tel évènement déclenche une alerte au cardiologue s'occupant du patient. Le médecin peut également consulter à tout moment les rapports médicaux de ses patients ou bien interroger les capteurs pour avoir les valeurs actuelles [20].

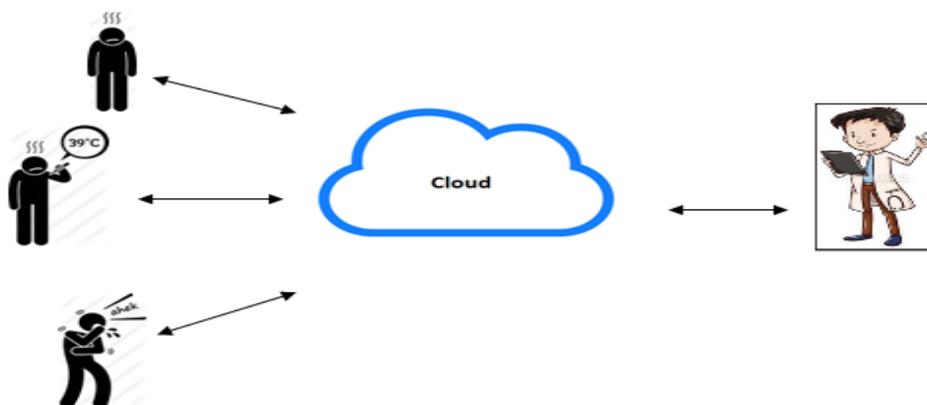


FIGURE 2.8 – L'internet des objets dans le domaine médical .

2.4.5 Les villes intelligentes :

L'IoT permettra une meilleure gestion des réseaux divers qui alimentent nos villes (eaux, électricité, gaz, etc.) en permettant un contrôle continu en temps réel et précis. Des capteurs peuvent être utilisés pour améliorer la gestion des parkings et du trafic urbain et diminuer les embouteillages et les émissions en CO2 [21].



FIGURE 2.9 – Une ville intelligente.

2.5 Vulnérabilités et menaces dans l' IoT :

A cause de la forte intégration de l'IOT, les objets du quotidien deviennent des risques potentiels d'attaque sur la sécurité, l'ubiquité de L'IoT amplifera les menaces classiques de la sécurité qui pèsent sur les données et les réseaux, de plus l'apparition de nouvelles menaces qui toucheront directement à l'intégrité des objets eux-mêmes, les infrastructures et processus et la privacy des personnes .

2.5.1 Menaces sur les données et les réseaux :

Le manque de surveillance et de protection physique des objets communicants peut engendrer des attaques potentielles portées sur le matérielle telles que le vole, la corruption ou la contre façon de ces derniers pour récupération des données qui sont stockées sur ces dispositifs ou pour interrompre le bon fonctionnement des réseaux ou des systèmes complexes les hébergeant. De plus, les transmissions sans l sont réputées par leur forte vulnérabilité aux attaques de l'écoute passive et de déni de service. Les solutions crypto-

graphiques existantes aujourd'hui ne sont pas adéquates pour tenir face à ces problèmes cités à cause de la limitation de ressources des objets communicants, de ce fait, l'adaptation de ces dernières ou la conception de nouveaux modèles est une nécessité afin d'assurer les services de sécurité [22].

2.5.2 Menaces sur la privacy :

De nombreux objets seront intégrés, portés ou même bien installés dans les lieux privés des personnes, ces objets présentent une potentielle menace pour la vie privée (privacy) de leurs utilisateurs. En effet, ces appareils électrique non seulement sont traçables, mais peuvent filmer, écouter ou même enregistrer leurs rythmes cardiaque ou respiratoire ainsi que la température du corps ou sa cinématique dans le but d'un malicieux [22].

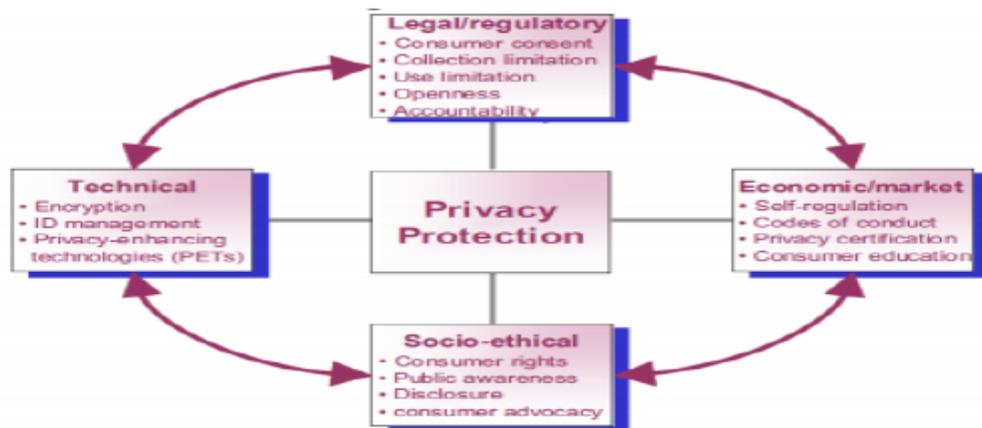


FIGURE 2.10 – Les différentes facettes de protection de la privacy.

2.5.3 Menaces sur les systèmes et l'environnement physique des objets :

Des objets malicieux connectés à un réseau ou intégrés dans un système complexe peuvent causer un dysfonctionnement quelconque, un déni de service ou autres types d'attaques à l'intégrité des données et les informations sensibles du système, ou pire encore prendre le contrôle du système en causant des dommages importants [22].

2.6 Modèle d'architecture pour l'IoT :

On a vu dans une section précédente la définition des concepts de l'internet des objets. Nous allons maintenant les qualifier sur un plan technique : ce sont des dispositifs permettant de collecter, stocker, transmettre et traiter des données issues du monde physique. Les objets ici sont des sources de données, identifiés et identifiables de façon unique et ayant un lien direct ou indirect (via un concentrateur) avec Internet.

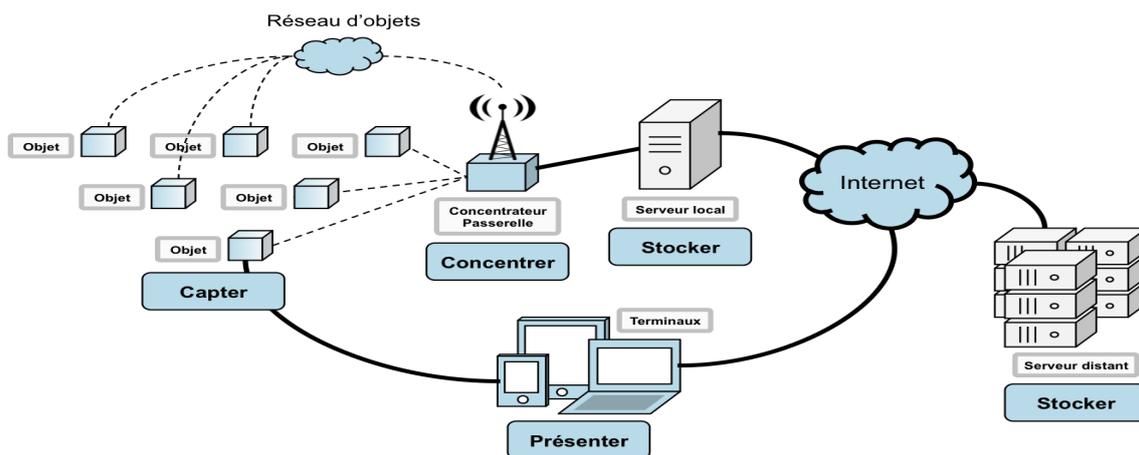


FIGURE 2.11 – L'architecture d'IoT.

Précisons le rôle des différents processus présentés sur cette figure :

- **Capter** désigne l'action de transformer une grandeur physique en un signal numérique.
- **Concentrer** permet d'interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard (WiFi) ou des dispositifs grand public.
- **Stocker** qualifie le fait d'agréger des données brutes, produites en temps réel, méta taguées, arrivant de façon non prédictible.
- Enfin, **présenter** indique la capacité de restituer les informations de façon compréhensible par l'Homme, tout en lui offrant un moyen d'agir et/ou d'interagir.

Deux autres processus n'apparaissent pas sur le schéma, car ils sont à la fois transverses et omniprésents :

Le **traitement des données** est un processus qui peut intervenir à tous les niveaux de la chaîne, depuis la capture de l'information jusqu'à sa restitution. Une stratégie pertinente, et commune quand on parle d'Internet des objets, consiste à stocker l'information

dans sa forme intégrale. On collecte de manière exhaustive, « Big Data », sans préjuger des traitements qu'on fera subir aux données. Cette stratégie est possible aujourd'hui grâce à des architectures distribuées type NoSQL, capables d'emmagasiner de grandes quantités d'information tout en offrant la possibilité de réaliser des traitements complexes en leur sein (Map/Reduce par exemple).

La transmission des données est un processus qui intervient à tous les niveaux de la chaîne. Deux réseaux, supports des transmissions, cohabitent généralement [23] :

- **Réseau local** de concentration. On utilise alors des technologies comme ZigBee, Z-wave, ou Bluetooth .
- **Réseau WAN**, permettant d'interconnecter les réseaux spécialisés et de les interfacer avec des fermes de serveur. On utilise alors WiFi, les réseaux cellulaires (GSM, 2G, 3G, 4G) ou encore les connexions physiques standards (Ethernet, fibre optique). Ces réseaux sont généralement connectés à Internet.

2.7 Fonctionnement de L'IoT :

Si certains objets fixes peuvent être connectés par des réseaux filaires, la croissance de l'internet des objets devrait majoritairement être portée par l'utilisation de technologies sans fil et mobiles. Les technologies de connectivité sans fil sont nombreuses et variées, et l'usage de l'une ou l'autre est souvent avant tout décidé par la portée du réseau envisagé. Certains cas d'usage nécessitent également l'association de technologies sans fil et filaire pour relier les équipements à des réseaux privés étendus ou à Internet. Un point saillant des développements technologiques actuels autour de l'internet des objets à trait au bouleversement de la dichotomie classique dans le monde des fréquences, d'une part, des technologies à courte portée opérant en bandes libres souvent foisonnantes et déployées par l'utilisateur lui-même et, d'autre part, des technologies à grande portée opérant en bande de fréquence soumise à autorisation préalable sous licence, déployées par un nombre réduit d'opérateurs. Le développement de réseaux à bas débit et longue portée, en bandes libres, entraîne ainsi un foisonnement d'initiatives et de développement [14].

2.8 Paradigmes de communication :

En plus des communications humaines à humain qui ont régné sur l'Internet classique, de nouveaux styles d'interactions émergent avec l'apparition de l'Internet des objets comme le montre la figure ci-dessous qui illustre ces interactions inter objets connectés et entre l'humain et le(s) objet(s) dans l'IoT [20]

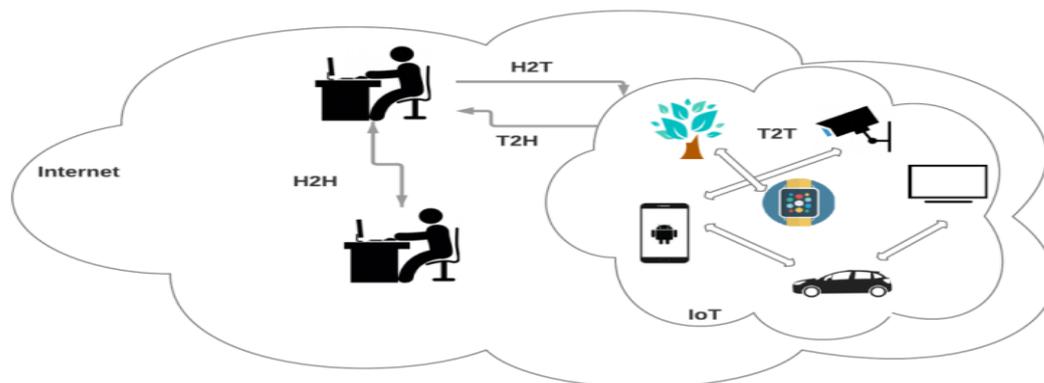


FIGURE 2.12 – L'émergence de nouveaux paradigmes de communication dans l'Internet du futur.

2.8.1 Les communications humain-à-objet :

L'utilisateur peut interroger des objets connectés à Internet à tout moment via son smartphone (ou autre dispositif connecté). Les communications humain-à-objet (dite aussi H2T pour Human-to-Thing) sont très fréquentes dans certaines applications de l'Internet des objets comme est le cas d'une application médicale ou de l'automatisation des maisons. Tel type d'interactions est caractérisé par une forte hétérogénéité matérielle et technologique car du côté de l'utilisateur on utilise généralement des équipements beaucoup plus puissants (ordinateur portable, Smartphone ou tablette) que les capteurs contraints du côté de l'objet sollicité dans l'IoT. Cependant, l'hétérogénéité dans toutes ses formes doit être traitée efficacement [20].

2.8.2 Les communications objet-à-objet :

Les communications objet-à-objet (ou T2T pour Thing-to-Thing) sont appelées également machine-à-machine ou M2M (Machine-to-Machine). Cela désigne des communications au-

tomatiques et autonomes inter-machines sans l'intervention humaine. Rappelons que les communications M2M forment la base de l'informatique pervasive qui fait partie de l'ensemble des principes et concepts de l'Internet du futur. En fait, les interactions inter-objets intelligents dans l'IoT sont souvent homogènes, du moins au niveau des contraintes où on trouve des capteurs qui peuvent utiliser différentes technologies de transmission mais qui observent les mêmes limitations en termes de ressources et qui ont les mêmes vulnérabilités.

Rappelons à ce stade que les communications allant des objets connectés dans l'Internet des objets vers les hôtes ordinaires de l'Internet (les communications objet-à-humain ou T2H : Thing-to-Human en anglais) sont aussi considérées comme une variante des communications M2M. Par exemple, un capteur associé à une porte d'une salle à accès restreint dans une banque, est configuré de telle sorte qu'il avise par MMS (ou e-mail) le responsable de la sécurité dans la banque (via son smartphone) en lui transmettant le temps d'entrée de la personne ainsi que sa photographie. Cette opération se fait même si la personne était déjà authentifiée avant d'accéder la salle [20].

2.9 Protocole de communication :

On trouve d'abord deux grandes catégories de réseau : Les réseaux courts ou réseaux longs

Les réseaux longs portés, elles sont utilisées pour connecter des kilomètres d'infrastructures à internet (Smart Cities) :

- **Sigfox** : Avec une portée allant jusqu'à 40km en campagne, la technologie Sigfox consomme peu d'énergie pour envoyer des data sur le réseau et couvre déjà 91 % de la population hexagonale à la fin 2015 et dans 19 autres pays. Cependant, la technologie ne permet de transporter que de faibles quantités de donnée. Positif : faible consommation, bonne couverture réseau et coût inférieur à 3/an/objet.
- **LoRa** : Protocole très basse consommation, la technologie bidirectionnelle de Semtech coûte peu chère (1 par an) et permet de transmettre des données sur 2 à 5km en urbain et 45km en milieu rural. Cependant la quantité de données est limitée et ne servira qu'à des capteurs émettant périodiquement de faibles quantités de données (température, géolocalisation...).

- **Les réseaux cellulaires (GSM, 2G, 3G, 4G) :** Permet de transférer de grandes quantités de données (83mbit/s en 4G) mais la technologie est très gourmande en énergie pour des prix de marché largement supérieur aux deux technologies précédemment citées.
- **Les réseaux propriétaires :** Les grands groupes déploient eux même leur réseau malgré des coûts importants (Bouygues a déployé 10 fois plus d'antennes relais Lora que d'antenne 4G)

Les réseaux courtes portées, on retrouve le Wifi, le Z-Wave, le ZigBee ou encore les nouvelles générations Bluetooth plus propice à la domotique ou le marché de wearable (bracelet connecté) :

- **Wifi :** Permet de transmettre beaucoup de donnée (600mbps). Peut-être utilisé pour connecter des caméras ou autres objets nécessitant une interconnexion importante. La technologie est Bidirectionnelle ce qui permet la mise à jour des appareils mais demande beaucoup d'énergie (appareils branchés au secteur)
- **Z-wave :** Est un protocole de communication dédié à la domotique et a pour caractéristique : Faible portée (30m) et fonctionne comme un réseau maillé (les appareils reçoivent/émettent les données et servent de relais). Cependant la limite de son innovation est de veiller à avoir des appareils relais permanent.
- **ZigBee :** Permet plus de données que le Z-Wave, est moins cher, et plus, facile à implanter. Cependant, cette technologie est à très courte portée (10mètres) soit 20m de moins que le Z-wave et 50m de moins que le Bluetooth.
- **Bluetooth Low Energy :** Utilisé par quasiment tous les smartphones pour faire communiquer les Wearables. Avec une portée de 60mètres, il consomme 20 fois moins que le wifi. De plus la version 5.0, plus adaptée à l'IoT dispose d'une portée doublée.[40]

2.10 Composants d'un système 'IoT' :

Nous avons entendu parler de l'Internet des objets, l'IoT qui permet la connexion de nos appareils intelligents et des objets au réseau pour fonctionner efficacement et à distance. Ce point répond à la question : quelles sont les principales composantes de l'Internet des objets ?

Les composants de base d'un système IoT :

- **Objets physiques** : Un objet connecté est un objet physique équipé de capteurs ou d'une puce qui lui permettent de transcender son usage initial pour proposer de nouveaux services. Il s'agit d'un matériel électronique capable de communiquer avec un ordinateur, un Smartphone ou une tablette via un réseau sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, réseaux de téléphonie mobile, réseau radio à longue portée de type Sigfox ou LoRa, etc.), qui le relie à Internet ou à un réseau local .
- **Capteurs** : Ils sont installés sur les es objets connectés, ils sont plus ou moins intelligents, selon qu'ils intègrent ou non eux-mêmes des algorithmes d'analyse de données, et qu'ils soient pour certains auto-adaptatifs. Les capteurs connus sont : Capteurs de température et thermostats, Capteurs de pression, Humidité / niveau d'humidité, Détecteurs d'intensité lumineuse, Capteurs d'humidité, Détection de proximité, Étiquettes RFID. . .
- **Gens** : par exemple les humains peuvent contrôler l'environnement via des applications mobiles
- **Prestations de service** : par exemple Services Cloud - peuvent être utilisés pour :
 - Traiter les Big Data et les transformer en informations précieuses
 - Construire et exécuter des applications innovantes
 - Optimiser les processus métier en intégrant les données de l'appareil.
- **Plateformes** : Elle est considérée comme un type d'intergiciel utilisé pour connecter les composants IoT (objets, personnes, services, etc.) à l'environnement l'IoT.[24] Elle fournit de nombreuses fonctions :
 - Accès aux appareils.
 - Assurer une installation / un comportement correct de l'appareil.
 - Analyse des données.
 - Connexion interopérable avec le réseau local, le cloud ou d'autres périphériques.
- **Réseaux** : Les composants IoT sont liés entre eux par des réseaux, utilisant diverses technologies, normes et protocoles sans fil et filaire.

2.11 Les Avantages et les inconvénients de l'IoT

2.11.1 Avantages :

L'IoT est une infrastructure nouvelle qui va intégrer les objets connectés, permettre l'apparition d'un réseau ubiquitaire et nous donner un avantage quotidien. Elle peut être considérée comme un concept ayant des répercussions sur les technologies et la société dans divers secteurs : des secteurs privés, étatique et industrielle. Elle permettra de rendre l'environnement connecté et pouvoir communiquer avec lui, à l'avenir nous serons informés de l'état du sol, de l'humidité et de la quantité de lumière reçue, ce simple cas, permet de nous donner un aperçu global sur son potentiel et sur ces avantages [9].

2.11.2 Inconvénients :

L'IoT gère nos données personnelles, en effet, les objets connectés produisent de grandes quantités d'information et le traitement de cette masse de données implique de nouvelles préoccupations notamment autour de la confidentialité et de la sécurité[21].

2.12 Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre nous avons défini L'IoT et nous avons cité brièvement les domaines d'application de l'IoT. Par la suite nous avons parlé de l'architecture de l'IoT, et son fonctionnement ou nous avons cité les trois paradigmes de communication, et nous avons décrit en détail dans cette partie les menaces et les vulnérabilités relatives à son déploiement.

Tous cela nous donne un aperçu général sur les réseaux IoT, et nous permet d'avancer au chapitre suivant afin d'étudier l'irrigation intelligente.

Smart Irrigation

3.1 Introduction :

La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures. Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente en même temps des avantages et des désavantages, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le 30% mieux aux conditions locales.

L'irrigation des grandes superficies nécessite le recours à d'autres méthodes d'irrigation plus perfectionnées (l'agriculture de précision), parmi ces méthodes, nous avons : l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion, et l'irrigation au goutte à goutte.

3.2 l'agriculture de précision :

Le terme «**agriculture de précision**» est défini comme l'application de diverses technologies et principes pour gérer la variabilité spatiale et temporelle associée à tous les aspects de la production agricole [25].

Le principe de l'agriculture de précision, c'est d'augmenter les rendements d'une parcelle tout en réduisant la consommation d'énergie et d'intrants. Grâce à l'utilisation des nouvelles technologies, l'idée est ainsi de « produire plus avec moins ». L'agriculture de précision utilise des moyens d'observation (satellites, drones, capteurs connectés) associés à des outils d'aide à la décision (accessibles sous forme d'applications Web et Mobile) [26].

3.3 Système d'irrigation :

Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, conjugués aux conflits d'usage avec les autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation en eau potable, nous amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie. Ceci passera forcément par une gestion efficace de l'irrigation ainsi que par la maîtrise de l'utilisation et le choix des systèmes d'irrigation [27].

Dans la pratique, on distingue l'irrigation gravitaire (ou de surface), l'irrigation goutte à goutte à goutte et l'irrigation par aspersion.

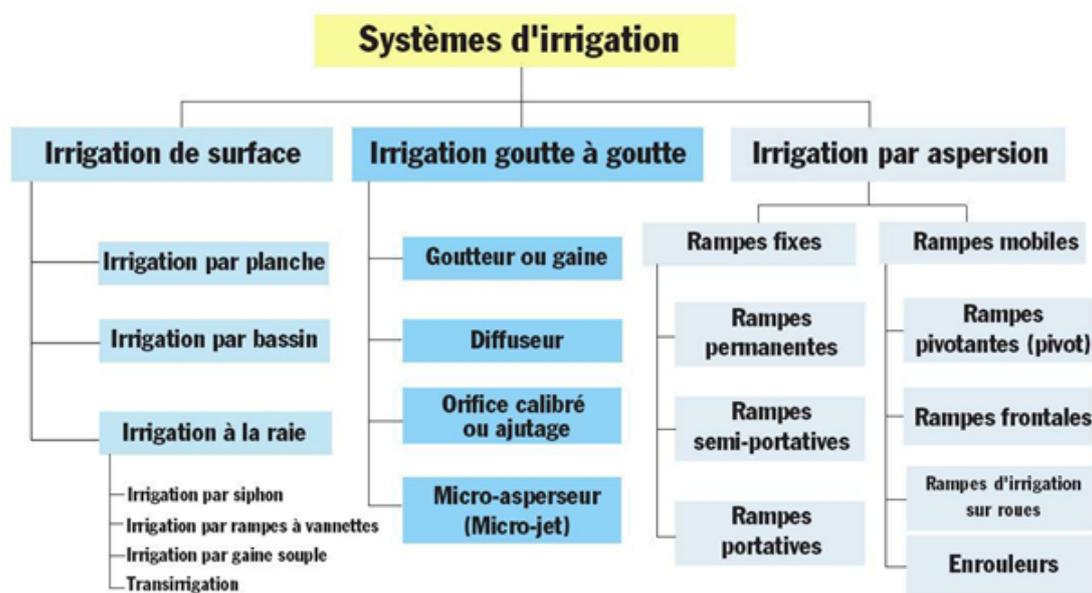


FIGURE 3.1 – Les différents systèmes d'irrigation.

3.3.1 Système gravitaire (ou de surface) :

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches)...

1. **Irrigation par planches** : Consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol inclinée 0,2 à 3°. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables [28].

2. **Irrigation par bassins** : Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau (voir figure a1). La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers ; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre (figure a2). En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (e.g. 12-24 heures)[28].



(a1 : Irrigation par bassins à flanc de coteau) (a2 : Irrigation par bassins pour les arbres fruitiers)

FIGURE 3.2 – Irrigation par bassins.

3. **Irrigation par sillons (a la raie)** : Cette méthode reste le système traditionnel dans de nombreuses régions. S'il est vrai que ce système offre l'avantage d'être peu coûteux, les inconvénients que lui sont inhérents sont multiples :

- L'apport d'eau n'est ni régulier ni constant.
- Le taux d'humidité de l'air dans la serre se trouve accru d'une façon incontournable.
- L'automatisation et la Fertirrigation sont exclues.

Diverses possibilités d'amélioration de cette technique existent et méritent d'être prises en considération :

- Lorsqu'il existe une borne d'irrigation (seule une légère pression est exigée) à la limite de la propriété, l'adduction depuis cette borne jusqu'au terrain à irriguer

- peut se faire par Gaine de PE noir : elle a l'avantage de pouvoir être enroulée et déplacée facilement et d'éviter d'importantes pertes d'eau dans le réseau de "seguias" (=sillon, en Afrique du Nord) important et de large sections.
- L'infiltration latérale d'eau est importante en sol lourd mais très faible en sol sableux : sillons devront donc être plus rapprochés en sol léger qu'en sol lourd.
 - De plus. On peut tracer les sillons de plus près possible des plantes jeunes et les écarter ensuite au fur et à mesure du développement de plantes.
 - La longueur de sillons sera adaptée à la nature du sol : on admet que la longueur minimale est de 30 m et la longueur maximale de 50 m (sol sablonneux) à 100 m (sol lourd) [29].



FIGURE 3.3 – Seguia principales et siphon d'alimentation de raies.

3.3.2 Système par aspersion :

L'irrigation par aspersion est basée sur le principe d'une utilisation de l'eau aux plantes sous forme de pluie artificielle. Elle est recommandée dans les cas suivants :

- Sols de faible profondeur, ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface.
- Sols trop perméables, qui ne permettent pas une répartition uniforme de l'eau dans le cadre d'une irrigation avec ruissellement en surface.
- Terrains à pente irrégulière avec micro relief accidenté, ne permettant pas l'établissement d'une desserte gravitaire à surface libre.

Par contre, elle est à écarter dans les régions très régulièrement ventées où les vents supérieurs à 4 ou 5 m/s dégradent considérablement l'homogénéité de l'arrosage [28].



FIGURE 3.4 – Irrigation par aspersion .

3.3.3 Système goutte à goutte :

L'irrigation en goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau (figure 3.5). L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation [28].



FIGURE 3.5 – Irrigation en goutte à goutte .

3.4 Irrigation intelligente :

L'irrigation intelligente est un nouveau concept mondial dans le domaine d'irrigation. Elle implique l'application exacte et précise de l'eau pour répondre aux besoins spécifiques et particuliers de chaque plante.

Communément la définition acceptée de l'irrigation intelligente est la gestion durable des ressources en eau ce qui implique l'application d'eau à la récolte au bon moment, la bonne quantité, au bon endroit et bonne manière aidant ainsi à gérer la variabilité du domaine de l'eau et par conséquent, augmenter l'efficacité de la productivité des cultures ainsi que la réduction des coûts de l'énergie sur les opérations d'irrigation.[14].



FIGURE 3.6 – Irrigation intelligente .

3.4.1 Facteurs contribuant à la qualité d'arrosage intelligent :

Les principaux facteurs contribuant à l'économie de l'eau et par conséquent à la qualité d'arrosage :

- **L'humidité de l'air** : un air particulièrement sec provoquera une évaporation importante d'eau. Il est donc préférable de considérer cette situation dans le processus d'arrosage.
- **L'humidité du sol** : il est nécessaire de connaître constamment l'humidité sous la surface du sol cultivé pour déterminer le besoin des plantes pour être arrosées.
- **La qualité du sol (sol sableux, sol limoneux, sol argileux)** : Le sol a une fonction de stockage et de restitution de l'eau. Si l'on dépasse la capacité de stockage du sol, l'eau est perdue pour la plante.

- **Lumière du soleil** : ne jamais arroser par projection sous plein soleil pour la raison d'éviter l'évaporation de l'eau d'irrigation et la stresse des plantes.
- **La température de l'air** : il est également important de connaître la température de l'air au-dessus et autour des plantes cultivées.
- **Horaires d'irrigation** : La meilleure période pour l'irrigation est tôt le matin, car c'est à ce moment qu'il y a le moins d'évaporation.
- **L'intensité du vent** : pour éviter la perte d'eau, l'arrosage n'est pas recommandé en présence de vents forts, surtout s'il s'agit de l'arrosage par aspersion.
- **Le type des plantes** : Nous pouvons choisir généralement des variétés de plantes peu gourmandes en eau et adaptées au climat local.
- **L'eau de la pluie** : Récupération d'eau de la pluie surtout dans le cas des jardins, c'est facile à faire. Il suffit de bien choisir un réservoir et de vérifier que le filtre est bien dimensionné par rapport à la surface de toiture. Il existe de nombreuses solutions pour stocker l'eau de pluie : Récupérateur d'eau de pluie aérien (Les réservoirs aériens) et La cuve de récupération d'eau de pluie enterrée.
- **L'arrosage goutte à goutte** : C'est un système d'arrosage économe en eau, il n'apporte que des avantages : facilité d'installation, apport d'eau très précis, économie d'eau, réduction de prolifération d'adventices (mauvaises herbes).
- **Le détecteur de la pluie** : En cas de pluie, l'arrosage est alors retardé automatiquement pour éviter le gaspillage d'eau d'irrigation.
- **La quantité d'eau appropriée aux plantes** : Dans la plupart des régions, les pelouses doivent recevoir 40 à 50 mm d'eau par semaine pendant la période la plus chaude. Cette quantité d'eau est supérieure dans les très chaudes et arides.
- **Les périodes et les débits d'arrosage** : Les débits seront différents suivant la végétation à arroser, les sols et les climats. Les pelouses fraîchement plantées doivent rester humides et les massifs fraîchement transplantés ont besoin d'être arrosés tous les jours ou tous les deux jours.
- **Le bassin** : Il est préférable d'utiliser un bassin fermé pour la réservation de l'eau d'arrosage. car ce type de réservoir limite les pertes par évaporation.
- **La qualité de matériels d'arrosage** : La qualité des matériels d'arrosage utilisés évite les pertes insuffisantes de l'eau.
- **Le Compteur d'eau** : ajouter l'option compteur d'eau pour connaître votre

consommation en eau (et être alerté en cas de consommation anormale ou de fuite) [20].

3.4.2 Technologie intelligentes d'irrigation :

Les stratégies d'irrigation traditionnelles ne sont pas satisfaisantes pour faire face à la pénurie d'eau d'irrigation, ce secteur doit bénéficier des avancées technologiques modernes. Cette section présente les deux technologies principales qui ont rationalisé le domaine de l'irrigation : les réseaux de capteurs sans fil et l'Internet des objets.

1. **Réseaux de capteurs sans fil (WSN) :** Plusieurs technologies peuvent être intégrées dans le domaine de la irrigation tels que les réseaux de capteurs qui constituent un ensemble de des noeuds de capteurs dispersés dans une zone géographique pour surveiller phénomène. Chaque noeud de capteur est composé d'un :

- Traitement unité,
- Unité de détection,
- Unité d'énergie et
- Unité de transmission.

Dans le domaine de l'irrigation plusieurs variétés de capteurs peuvent être utilisés :

- Humidité du sol (10SH, EC-5,...)
- Humidité (SHT75, HS220,...)
- Température de l'air (TDR-3A,...)
- La température du sol (200ss,...)
- Intensité lumineuse (On9558,...)
- Dioxyde de carbone (GMW120,...)
- Précipitations (Rain Bird RSD-CEx,...)
- Vitesse et direction du vent (CM-100 compact,...) ... etc [14].

2. **Internet des objets (IoT) :** "L'IoT jouera un rôle très important pour l'agriculture de demain et permettra aux exploitants d'être beaucoup plus précis, au centimètre près" estime M. Buitkamp. En plus de cela M. Coallier a dit "L'agriculture est une activité cruciale dans notre société", d'où l'importance des apports de l'IoT dans ce secteur.

Les capteurs placés dans les champs permettent par exemple aux agriculteurs d'établir des cartes détaillées de la topographie et des ressources d'une zone donnée, ainsi que des paramètres tels que l'acidité et la température du sol. Ils peuvent aussi avoir accès aux prévisions météorologiques, ce qui permet d'anticiper les tendances pour les jours et semaines à venir [30].



FIGURE 3.7 – L'IoT dans l'agriculture.

3. **Intégration de WSN dans un réseau IoT :**

La détermination des besoins en eau des plantes est basée sur des paramètres climatiques tels que la température, l'humidité, la vitesse du vent, etc. Ces paramètres sont détectables par des capteurs spécifiques faisant partie d'un réseau de récupération d'eau. Ces composants constituent la base du développement de tout système de gestion de l'irrigation.

Dans un système d'irrigation intelligent, les WSN peuvent être intégrés à un réseau IoT, où les capteurs seront des hôtes d'Internet et non pas uniquement des outils de collecte de données.

Comme il est mentionné dans, cette intégration est réalisable par 02 approches :

- **Intégration proxy** : Dans cette approche, la station de base est seul nœud Mconnecté à Internet, il agit comme un proxy qui représente une interface entre Internet et le capteur nœuds qui lui sont associés.
- **Intégration par adaptation du standard TCP / IP** : Dans cette architecture d'intégration, le réseau de capteurs est totalement ouvert sur Internet et les nœuds de capteurs deviennent de véritables hôtes d'Internet, adressables et ayant les mêmes concessions qu'un hôte ordinaire [14].

3.4.3 Architecture d'irrigation intelligente system de gestion :

Un système composé de stations de champ capteurs répartis à travers le champ, d'une station de contrôle de l'irrigation, et une station de base. Les stations de champ capteurs surveillent les conditions sur le terrain de l'humidité du sol, la température du sol et la température de l'air, tandis qu'une station météorologique proche surveille l'information micro-météorologique sur le terrain, c'est à dire, la température de l'air, l'humidité relative, précipitations, vitesse du vent, direction du vent, et le rayonnement solaire. Toutes les données de champ sensorielles sont transmises sans fil à la station de base. La station de base traite les données de champ sensorielles grâce à un programme de décision convivial et envoie des commandes de contrôle à la station de contrôle de l'irrigation, la station de base se nourrit des signaux de commande à la station de contrôle de l'irrigation pour fonctionner site spécifiquement chaque groupe d'arrosage individuel d'appliquer une profondeur d'eau donnée [25].

3.5 L'irrigation intelligente : avantages, inconvénients, et obstacles :

3.5.1 Les Avantages de l'irrigation intelligente :

- Une fois le système en place, tant que l'eau ne manque pas, et que la pression est suffisante dans le tuyau, l'arroseur fonctionne presque sans entretien, la pression de l'eau alimente le système oscillatoire ou de rotation.
- Meilleur rendement des cultures.

- Réduction de l'intervention humaine (fatigue, disponibilité, inaccessibilité du lieu, dangerosité du lieu).
- Équilibre des répartitions d'eau sur une surface.
- Le système d'irrigation intelligent aidera à mieux contrôler les paysages et vos besoins d'irrigation ainsi que la tranquillité d'esprit.
- Le système intelligent peut prendre des décisions indépendamment.
- Économiserez beaucoup d'argent sur les factures d'eau parce que grâce à un contrôle intelligent et à l'automatisation.
- Système d'irrigation intelligent optimisera les ressources de sorte que tout obtient ce dont il a besoin sans gaspillage inutile.

3.5.2 Les inconvénients :

- Coûts élevés surtout s'il s'agit de grandes espaces .
- Presque la majorité des systèmes d'irrigation se basant sur le temps (minuterie) ne tiennent pas compte des facteurs environnementaux tels que l'humidité, la température, la ventilation et l'ensoleillement qui peuvent tous influencer l'absorption de l'eau par la plante .
- Son installation s'avère complexe puisque plusieurs facteurs sont à prendre en considération.
- Besoin de main d'œuvre pour le montage de certains grands systèmes agricoles .
- L'installation d'un système d'arrosage nécessite des professionnels de domaine .
- Le dressage d'un plan de l'emplacement des tuyaux est aussi une étape cruciale avant le début des travaux ;
- Hormis pour le goutte à goutte, quand il fait chaud ou qu'il y a du vent, une part significative de l'eau sera évaporée, ou non utilisée par les plantes (perdue avec le ruissellement ou par percolation dans le sol loin des racines), ce qui contribue au gaspillage et parfois à la pollution (par les nitrates et pesticides surtout) de la ressource en eau.
- L'adaptation aux zones de pentes ou aux sols dont la perméabilité varie (ex : bordure de gazon) est parfois difficile.
- Son installation s'avère complexe puisque plusieurs facteurs sont à prendre en considération.

3.5.3 les Obstacles :

L'un des principaux obstacles à surmonter consiste à aider les agriculteurs à adopter les méthodes d'irrigation intelligentes. La stratégie à employer à cet égard doit être axée sur les deux points suivants : d'une part, on doit chercher à sensibiliser l'opinion en diffusant les résultats des recherches sur le sujet et, d'autre part, on doit s'efforcer d'assurer une formation et un appui technique, en collaboration avec les associations des agricultures. Un autre obstacle a trait aux zones où la salinité du sol est élevée et où la qualité de l'eau est mauvaise [31].

3.6 Etude du projet :Smart Irrigation

L'eau est la pierre angulaire de la vie, et sa source se trouve sur la planète, donc notre monde a des besoins de croissance continue de l'eau dans divers domaines agricoles, urbains et industriels, Ce qui nécessite des échanges de ressources en eau, souvent difficiles, notamment en cas de sécheresse. Dans ce contexte, afin d'assurer un équilibre dans la répartition des ressources, notre pays redouble d'efforts pour mobiliser les ressources en eau en développant les programmes adoptés notamment au cours de la dernière décennie, condition préalable à l'intensification de la production agricole et à l'amélioration de la sécurité alimentaire du pays.

C'est ce qui nous a poussé à créer un projet principalement basé sur le principe de l'internet des objets (IoT), Sous le nom : d'irrigation intelligente (smart Irrigation)

3.6.1 Problématique :

Notre projet s'inscrit dans le cadre des systèmes d'IoT (Internet of Things), il s'intéresse particulièrement au domaine d'irrigation intelligente.

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour augmenter la production et permettre leur développement normal, en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides.

Parmi les problèmes de base rencontrés par les propriétaires terriens et agricoles, on cite :

- Manque des ressources hydrauliques et les coûts élevés pour garantir les eaux d'irrigation, surtout, avec la régression dans le niveau des eaux souterraines dans le monde, spécialement dans les zones désertiques, arides et semi arides.
- L'irrigation manuelle (traditionnelle) qui exige de gros efforts journaliers surtout dans les espaces large et vastes.
- D'erreur humaine (par exemple, oublier de fermer une vanne après l'arrosage du terrain).
- Le sur-arrosage et l'arrosage non organisé et inadéquat, qui entraîne la dépréciation des réserves d'eaux d'une façon accélérée, et aussi a pour conséquence la détérioration de la qualité de la plantation.
- Manque de niveau d'eau dans le réservoir, ce qui conduit à la rotation de la pompe en vain et donc brûlé

C'est pour cela, qu'aujourd'hui il est indispensable et nécessaire pour les agriculteurs d'adopter et de recourir aux nouvelles technologies et exploiter ce que la science a atteint dans ce domaine.

3.6.2 Solution proposée :

Le terme gestion des ressources de l'eau dans les utilisations agricoles est considéré comme une solution complète qui contrôle l'ensemble de tous les processus Dans lequel nous avons besoin de solutions spécifiques pour augmenter l'efficacité énergétique et améliorer l'utilisation de l'eau. Plusieurs produits et solutions sont maintenant disponibles pour soutenir cette gestion. ce qui aidera les consommateurs à augmenter l'efficacité énergétique et rationaliser l'utilisation de l'eau et augmenter l'efficacité de l'irrigation. Certaines de ces technologies se sont récemment fait connaître par Irrigation intelligente

Ce système prend en compte les valeurs transmises par les différents dispositifs situés dans l'environnement cible pour l'irrigation (capteur d'humidité du sol, capteur d'humidité de l'air, pluviomètre,) et à l'aide d'un smartphone ou un ordinateur l'agriculteur peut obtenir les dernières informations en matière de sol et prendre la décision adéquate qui influencera le pilotage d'arrosage et empêchera un sur-arrosage par saison agricole et par type de culture, par exemple, lorsqu'une zone donnée est trop sèche et commencer une routine d'irrigation ou pour arrêter l'irrigation lorsqu'un point de saturation particulier est atteint. La solution à proposer est basée sur le paradigme des systèmes d'IoT.

La solution Smart Irrigation permet à :

- Gérer efficacement les ressources naturelles notamment l'eau.
- Disposer en temps réel des données climatiques d'une zone .
- Déterminer avec précision le taux d'humidité du sol, permettant ainsi de déterminer les besoins en irrigation à n'importe quel endroit.
- Accroissement du taux de pénétration de la téléphonie en zone rurale
- Préservation de la santé humaine
- Économiser de l'argent : Les systèmes intelligents peuvent réduire votre facture annuelle d'eau de 30% en évitant le gaspillage d'eau. De plus, de nombreux fournisseurs d'eau locaux offrent des rabais pour l'achat de contrôleurs intelligents spécifiques.
- Améliore la productivité de l'eau dans la culture des légumes et fait augmenter le rendement au mètre carré de la production.
- Réduire considérablement les pertes dues à l'irrigation, d'où une économie de plusieurs millions de mètres cube d'eau chaque année dans le pays .
- Le remplacement de l'irrigation manuelle par des vannes et systèmes automatiques supprime également l'élément d'erreur humaine (par exemple, oublier de fermer une vanne après l'arrosage du terrain) .
- Irriguer indépendamment du temps et de l'espace avec son téléphone portable optimiser le temps de travail.
- Libérer l'exploitant afin de s'adonner à d'autres activités de la chaîne des valeurs agricoles (recherche d'intrants, commercialisation ...)
- Transformer le téléphone en un outil de production agricole.

3.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons parlé agriculture de précision et l'irrigation intelligente qui est une technologie très utile pour l'économie de l'eau ce qui garde le monde en vie en le définissant et en exposant ses différentes Technologies et en montrant également ses avantages, ses inconvénients et Les obstacles à surmonter. à la fin de ce chapitre nous avons référé à notre projet, qui est basé sur le principe de l'irrigation intelligente, nous avons présenté les plus grands problèmes rencontrés par l'irrigation ensuite nous avons choisi une solution optimale pour notre système.

Dans le chapitre suivant nous présenterons en détail le matériel utilisé et aussi coté logiciel utilisé ainsi que les étapes de notre implémentation.

Réalisation et implémentation du projet

4.1 Introduction :

Après avoir présenté l'irrigation intelligente et l'étude de cas de notre système d'irrigation dans le chapitre précédent, ce chapitre va contenir les objectifs visé, les matériels, les logiciels et les langages de programmation. Ensuite, nous allons présenter un schéma global et un organigramme de notre système et on terminera ce chapitre avec un test sur l'application pour savoir comment elle fonctionne.

4.2 Objectifs visé :

Notre projet tente de traiter ces problèmes en développant un système d'irrigation intelligent pour les différentes surfaces agricoles à travers la mise en œuvre d'une Application IoT pour la gestion intelligente d'arrosage par :

- **Moniteur l'humidité de sol** : il est nécessaire de connaître constamment l'humidité sous la surface du sol cultivé pour déterminer le besoin des plantes pour être arrosées.
- **vérifie la pluie** : En branchant le capteur de pluie à notre système, ce dernier pourra arrêter la pompe si la pluie est détectée pour éviter le gaspillage d'eau d'irrigation Détecter les niveaux d'eau dans les réservoirs sur leur appareil mobile ou sur les ordinateurs de bureau
- **Vérifie le niveau d'eau** : il est nécessaire de vérifier l'existence de l'eau dans notre réservoir pour assurer la bon fonctionnement et éviter la combustion de la

pompe.

- Surveiller et contrôler la gestion de l'irrigation pour maximiser l'efficacité, réduire les déchets et réduire les coûts d'exploitation.
- Déclenchez des actions basées sur les données du capteur pour activer et désactiver l'eau, en fonction des besoins d'irrigation et du niveau de ressources.

a. **Besoin matériels :**

- Carte arduinoUno(Microcontrôleur) avec alimentation USB.
- Carte d'essai (Bread-Board).
- Fils de connexion.
- Smart phone.
- Câbles pour alimentation ou transmission de données.
- Source d'énergie Batterie.
- Une pompe d'eau.
- Un relais pour le pilotage de pompe et l'électrovanne.
- Un réservoir d'eau.
- Tuyaux d'eau.
- Des plantes plantées dans des pots.
- Module Bluetooth HC-05.
- Des capteurs tel que : Capteur d'humidité du sol (Moisture), Capteur détecteur de pluie (FC-37) , Capteur niveau d'eau.

b. **Besoin Software :**

En plus des besoin matériels,Nous allons des besoins software tel que

- Arduino IDE sous Windows.
- Logiciel fritzing.
- Application mobile (Bluetooth Terminal HC-05).

4.3 Architecture Matérielle du système proposé :

L'architecture matérielle qui décrite par La figure 4.1 déterminer les composants matériels permettant d'assurer le bon fonctionnement requises par notre système,

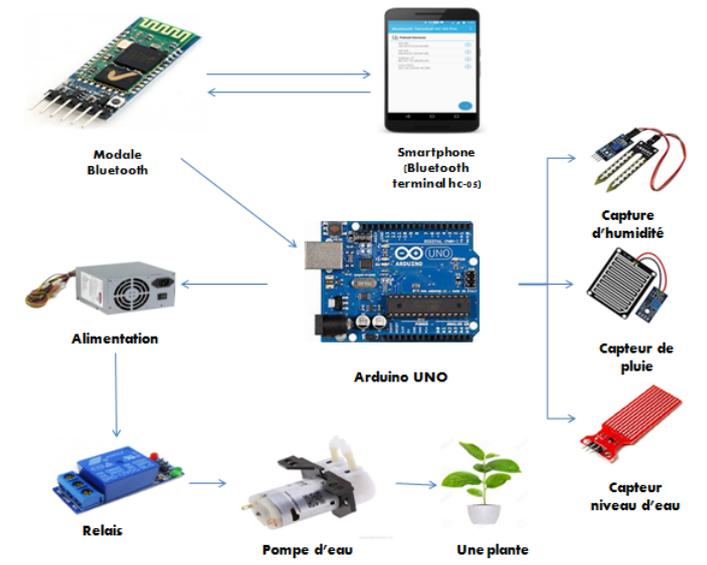


FIGURE 4.1 – Architecture Matérielle du système d'irrigation.

4.4 Représentation du système proposé :

Notre projet vise le contrôle, à distance, d'une plantation par un Smartphone ou une tablette. Où allons-nous utiliser la carte arduino uno ,avec un module Bluetooth HC-05 pour facilité la communication sans fils entre les composants utilisé.

La carte de commande permettra de recevoir les commandes et de les exécuter puis envoyer les états des équipements.

Dans notre projet, cette carte assure :

- Le contrôle de l'arrosage.
- Le contrôle du niveau d'eau.
- Le bon fonctionnement de la pompe.
- La lecture des données reçues à partir de capteur d'humidité de sol.
- La lecture des données reçu apartir de capteur de pluie.

4.5 Arduino :

4.5.1 Définition :

Arduino est un ensemble d'outils matériel et logiciel pour le prototypage électronique et l'apprentissage de la programmation des microcontrôleurs c'est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un en-

vironnement de programmation. Sans tout connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne. C'est un Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations homme/machine ou environnement/machine [21].

Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions. Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, il permet de programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique [32]



4.5.2 Domaines d'applications d'Arduino :

Nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines, nous pouvons donner quelques exemples :

- Construire des systèmes physiques interactifs qui utilisent des logiciels et du matériel pouvant s'interfacer avec des capteurs et des actionneurs.
- Electronique industrielle et embarquée.
- Art / Spectacle.
- Domotique.
- Robotique.
- Modélisme.
- Education.
- DIY , Etc.

4.5.3 Comment choisir sa carte Arduino ?

Les paramètres à prendre en compte pour vous aider à choisir sont :

- Le prix, par ce que ça ne sert à rien de payer plus cher ce qu'on n'a pas besoin !
- La dimension, par ce que si c'est plus petit c'est plus facile à faire rentrer au chausse pied !
- Le nombre d'entrées sorties, par ce que si on a besoins de 50 entrées sorties il vaut mieux prendre celle qui en a suffisamment !
- Le poids, par ce que si la réduction du poids est la priorité numéro 1 mieux vaut prendre la plus légère !
- La taille mémoire, par ce que si on a un programme très lourd mieux vaut qu'il y ait suffisamment de place dans la carte !
- Les connecteurs disponibles, par ce qu'avoir les bons connecteurs et des connecteurs supplémentaires c'est toujours plus pratique !
- Le besoin de souder les connecteurs, par ce que si tu n'as pas accès à un fer à souder ce n'est pas pratique!.[33]

Il existe plusieurs modèles d'Arduino parmi eux on a :

- **La Nano** : L'Arduino Nano est une carte plus petite, plus légère, moins chère. Cette carte est parfaite pour les projets où l'espace est restreint ou un projet où la légèreté du système prime [33].
- **La Mega 2560** : La MEGA est une carte composée de bien plus d'entrées/sorties (16 analogiques et 54 digitales pouvant fournir jusqu'à 20 mA). La MEGA 2560 dispose de 256Kb de mémoire flash ainsi que 8Kb de mémoire flash. La carte mesure 101mm*53 mm, donc pas simple de fixer sur un petit robot [33].
- **La NodeMCU** : Le NodeMCU est Kit de développement à base d'ESP12E open-source qui permet de créer des objets connectés IOT [34].

Dans notre projet d'étude nous avons choisis la UNO .car il est le choix de prédilection pour les débutantes, peu chère et facile à utiliser c'est celle que l'on conseille le plus souvent à ceux qui souhaitent se lancer dans l'aventure Arduino.

4.6 La partie matérielle :

4.6.1 Arduino Uno :

La carte Arduino Uno est le produit le plus populaire parmi les cartes Arduino. Elle est constituée de tous les éléments de base pour construire des objets d'une complexité relativement faible.

La carte Arduino Uno est constituée de 14 broches d'entrées/sorties digitales, dont six sont utilisables en PWM, de 6 broches d'entrées analogiques, d'une connectique USB, d'une connectique d'alimentation, d'un port ICSP et d'un bouton RESET [35].

La description de toutes les connectiques de la carte Arduino Uno est présentée dans la figure 4.2 ci-dessous :

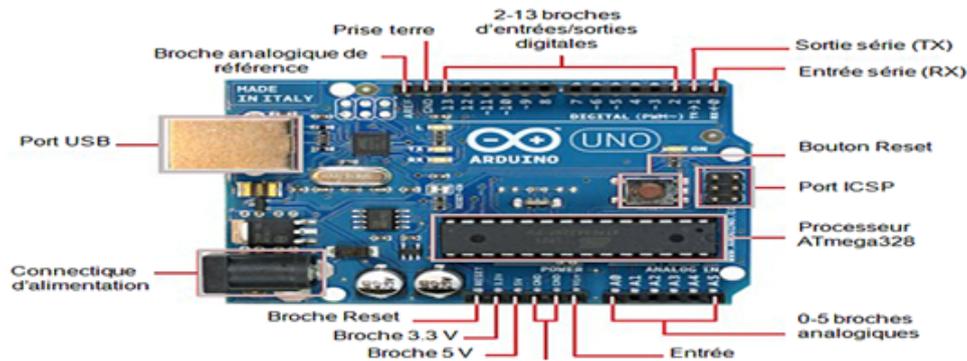


FIGURE 4.2 – Description des entrées/sorties de la carte Arduino Uno.

4.6.2 Le module de communication (Module Bluetooth HC-05) :

Le Module Microcontrôleur Arduino Bluetooth est la plateforme populaire Arduino avec une connexion série Bluetooth à la place d'une connexion USB, très faible consommation d'énergie, très faible portée (sur un rayon de l'ordre d'une dizaine de mètres), faible débit, très bon marché et peu encombrant [36]

Dans ce cas, on va connecter le Bluetooth à une carte Arduino Uno pour permettre l'échange d'information entre cette carte, ses périphériques ainsi que l'application installée sur un Smartphone pour contrôler notre système.

Caractéristiques :

- Alimentation à prévoir : 3,3 à 6 Vcc (régulateur 3 Vcc intégré)

- Bluetooth :2.0 + EDR
- Liaison série : 38400 bauds par défaut
- Mot de passe par défaut : 1234
- Antenne 2,4 GHz intégrée
- T de service : -20 à +75 c
- Configuration via commandes AT
- Dimensions : 35 x 16 x 6 mm

Brochage :

Le module Bluetooth HC-05 présente 6 broches pour permettre d'établir la connexion.

- VCC broche d'alimentation.
- GND masse.
- RX broche de réception.
- TX broche de transmission.
- State retourne 1 lorsque le module est connecté
- Key ou EN doit être alimentée pour entrer dans le mode de configuration et ne doit pas être connecté pour être en mode communication.

Principe du montage :

Le montage consiste à relier l'alimentation (V5 et GND) et une lecture numérique de l'arduino au capteur.

- V5 → VCC (Bluetooth)
- GND → GND (Bluetooth)
- PAW(9) → RX(Bluetooth)
- PAW(10) → TX (Bluetooth)

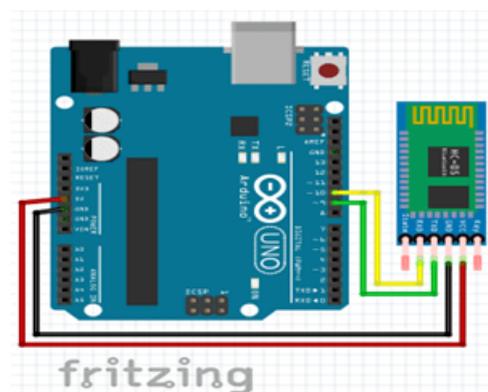


FIGURE 4.3 – Branchement de module Bluetooth HC-05.

NB : Nous avons utilisé l'application Bluetooth Terminal HC-05 pour voir les affichages des valeurs du capteur.

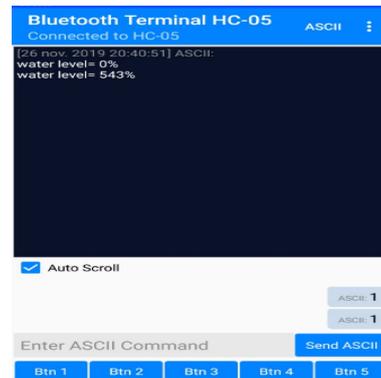


FIGURE 4.4 – Bluetooth Terminal HC-05.

Le code de démonstration :

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BT(9,10);
int waterPin = A1;
char entrada;
char inSerial[15];
void setup()
{
  BT.begin(9600);
}
void loop()
{
  if (BT.available()) entrada = BT.read();
  if (entrada== '1') {
    int SW = analogRead(waterPin);
    BT.print("water level= ");
    BT.println(SW);
    BT.println("%");
  }
}
```

(Code)



(Exécution)

4.6.3 Les modules de captage :

a. Capteur Humidité de sol :

Module de **mesure d'humidité de sol**. (Capteur à placer dans le sol), Ce module de capteur d'humidité du sol permet de détecter des changements d'humidité avec **réglage de seuil**, et double sortie, **numérique** et sortie **analogique**. C'est un capteur d'humidité simple qui peut être utilisé pour détecter lorsque qu'un sol est en manque d'eau (niveau haut) et vice versa (niveau bas). Ce module peut être utilisé pour réaliser **des systèmes d'arrosage automatique**. [14]

Fonctionnement :

- Le niveau de sensibilité est **ajustable** (selon la plante à arroser par ex.).

- Tension de fonctionnement **3.3** à **5V**, donc directement compatible avec Arduino.
- Le module possède deux modes de fonctionnement :
 - Un mode digital (on /off) qui déclenche au-dessous d'un seuil réglable
 - Un mode analogique pour plus de précision.
- Un trou permet de fixer ce module facilement.
- Plaque PCB de 3 x 1.6 mm peu encombrante.
- Indicateur de tension (power) rouge
- Indicateur de changement de mode (vert).
- Il utilise une puce de comparateur stable LM393 .
- Livré avec un câble Dupont de 20 cm, muni de connecteurs pour simplifier le branchement.

Applications :

- Arrosage automatique des plantes d'intérieur
- Arrosage du jardin
- Irrigation de cultures
- Mesures analogiques d'humidité
- Alarme d'inondation
- Détecteur de pluie, etc.

Brochage :

- VCC Alimentation externe 3.3 V ou 5V
- GND Masse
- DOUT Sortie digitale du module (high / low)
- AOUT Sortie analogique du module

Principe du montage :

Le montage consiste à relier l'alimentation (V5 et GND) et une lecture numérique du Arduino au capteur.

- V5 → VCC (Capteur)
- GND → GND(Capteur)
- A2 → AOUT (Capteur)

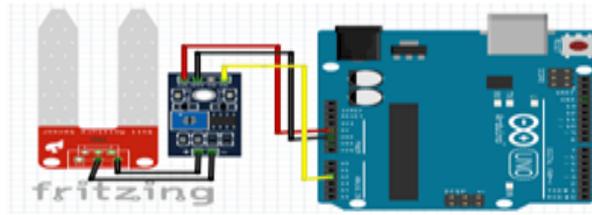


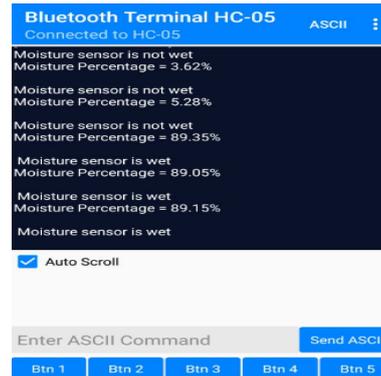
FIGURE 4.5 – Branchement de module capteur Humidité de sol.

Le code de démonstration :

```
void loop(){
  float moisture_percentage;
  int sensorValue= analogRead(A2);
  moisture_percentage = ( 100 - ( sensorValue/1023.00) * 100 ) );
  BT.print("Moisture Percentage = ");
  BT.print(moisture_percentage);
  BT.print("\n\n");
  delay(1000);
  if(moisture_percentage >=50){
    BT.println(" Moisture sensor is not wet"); }
  else{
    BT.println("Moisture sensor is wet"); }
  }}

```

(Code)



(Exécution)

b. Capteur de pluie :

Ce capteur est idéal pour détecter les précipitations, dans des projets de domotiques ou, par exemple, pour monitorer les précipitations dans le cadre d'un projet agricole. Le capteur est accompagné d'un module d'interfaçage (pour les réglages de sensibilité et le choix entre sortie numérique et sortie analogique) et de ses câbles, ou cavaliers, de connexion.

Le capteur de pluie détecte les gouttes d'eau lorsque celles-ci court-circuitent les pistes des circuits imprimés. Le capteur agit comme une résistance variable qui va changer d'état : 100k ohms lorsqu'il est mouillé et 2M ohms lorsqu'il est sec. Il dispose de 2 sorties, une sortie numérique 1 ou 0 ainsi que d'une sortie analogique 0 à 1023.[41]



FIGURE 4.6 – Module capteur de détection de pluie..

Brochage :

- VCC Alimentation externe 3.3 V ou 5V
- GND Masse
- D0 digitale du module (high / low)
- A0 Sortie analogique du module

Principe du montage :

Le montage consiste à relier l'alimentation (V5 et GND) et une lecture numérique du Arduino au capteur.

- V5 → VCC (Capteur)
- GND → GND(Capteur)
- A0 → A0 (Capteur)

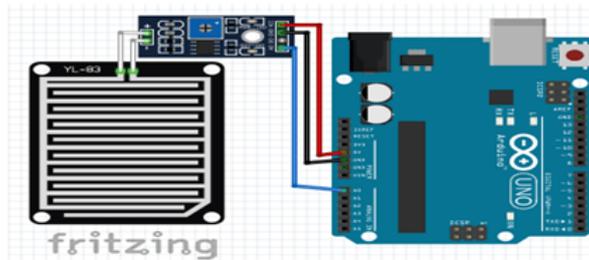


FIGURE 4.7 – Branchement de capteur de détection pluie.

Le code de démonstration :

```
void loop() {
  int sensorValue = analogRead(A0);
  BT.print("pluie =");
  BT.println(sensorValue);
  BT.print("%s\n\n");
  delay(1000);
  if(sensorValue < 150){
    BT.println(" Rain is Detected");
  }else {
    BT.println(" Rain is not Detected");
  }
}
```

(Code)



(Exécution)

c. Capteur niveau d'eau :

Ce module didactique délivre une tension analogique en fonction du niveau d'eau grâce à ses pistes imprimées. Le capteur délivre "700" lorsque le niveau est au maximum et "450" lorsque le niveau est au plus bas[20].



FIGURE 4.8 – Module capteur d’eau.

Applications :

- Capteur de pluie
- Détecteur de fuites
- Capteur de niveau

Brochage :

- "S" représente l’entrée de signal
- "+" rSignifie alimentation
- "-" représente GND

Principe du montage :

Le montage consiste à relier l’alimentation (5V et GND) et une lecture numérique du Arduino au capteur.

- 3V 3 → pin + (Capteur)
- GND → pin - (Capteur)
- A2 → pin S (Capteur)

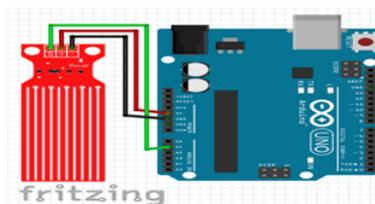


FIGURE 4.9 – Branchement de module capteur d’eau.

Le code de démonstration :

```
void loop() {
  int sensorValue = analogRead(A1);
  BT.print("water level= ");
  BT.println(sensorValue);
  delay(2000);
  if (sensorValue<=200)
  {
    BT.println(" Water tank is full");
  }else{
    BT.println(" Water tank is empty");
  }
}
```

(Code)



(Exécution)

4.6.4 Les modules de contrôle (Les Relais) :

Une carte Arduino fonctionne avec une tension de 5V. Pour des petits capteurs, cette tension est suffisante et c'est souvent la même source d'énergie qui alimente le micro-contrôleur, les capteurs et les moteurs.

Mais pour des moteurs plus gros et plus puissants, 5V est loin d'être suffisant. Il y a donc deux alimentations séparées, l'une pour le circuit 'de commande' et l'autre pour le circuit 'de puissance'. Le circuit de puissance peut alimenter une lampe sur le secteur, un gros moteur, un solénoïde...etc.

Et pour faire le lien entre les deux circuits, il faut utiliser le module relais compatible Arduino.

- Il est très compact et utilisable avec toutes les cartes Arduino. Son utilisation est très facile et il possède une led pour vous permettre de visualiser l'état (passant ou bloqué) du relais.
- Le module relais compatible Arduino possède deux connecteurs.

Brochage :

Les broches, se connecte à notre circuit de commande, c'est à dire à notre carte Arduino. Les trois broches sont :

1. "S" représente l'entrée de signal
2. "+" signifie alimentation
3. "-" représente GND

Le second connecteur, blue, est le connecteur du circuit de puissance. Il possède 3 broches :

1. **C = Common**, c'est l'arrivée de courant m pour l'équipement à allumer ou éteindre. Dans ce schéma en 5V, mais peut aller jusqu'à 220V et 10A.
2. **NC = « normally closed »**. Le contact NO est OUVERT lorsqu'on envoie un signal HIGH de l'arduino, fermé lorsque le signal est à LOW
3. **NO = « normally open »**. Le contact NC est FERME lorsqu'on envoie un signal HIGH de l'arduino, ouvert lorsque le signal est à LOW.[18]



FIGURE 4.10 – Module relais.

Principe du montage :

Le montage consiste à relier l'alimentation (V5 et GND) et une lecture Analogique de l'arduino à l'actionneur.

- V5 → pin + (Relais)
- GND → pin - (Relais)
- D0 → pin S (Relais)

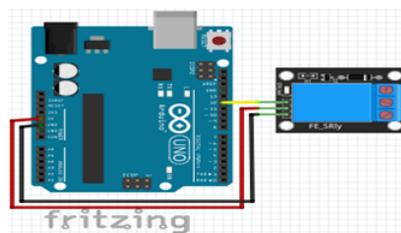


FIGURE 4.11 – Branchement de module Relais.

Code de démonstration :

```
int pinRelais=12;
void setup() {
  pinMode(pinRelais,OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(pinRelais,HIGH); // on commande l'allumage
  delay(1000);
  digitalWrite(pinRelais,LOW); // on commande l'extinction
  delay(1000);
}
```

4.6.5 La 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 utilisé une pompe (figure 4.13) alimentée par une source de tension 12V . [37]



FIGURE 4.12 – Pompe d’arrosage utilisée.

4.6.6 L’alimentation :

Pour la réalisation de notre projet, nous avons utilisé une alimentation d’ordinateur de bureau. Elle présente les caractéristiques suivantes :

- **Entrée** : Une tension alternative de 220V à 50Hz ;
- **Sorties** : trois tensions continues de 12V et 5V pour les actionneurs et 3.3V pour la partie commande.
- Dimensions : 140 x 86 x 150mm ;
- Ventilateur 120mm ;
- Puissance nominale : 400 W ;
- Tensions de sortie :
 - +3.3V à 13A ;
 - +5V à 28A ;
 - +12V à 14V ;
 - -12V à 0.5A. [37]



FIGURE 4.13 – Alimentation de PC utilisée.

4.6.7 Les plaquettes d'essais sans soudures (La breadboard) :

La Breadboard n'est pas une planche à pain comme son nom l'indique, mais une "plaque à essai" ou plaquette de prototype besoin de souder les composants sur la Breadboard, car c'est prévu pour tester rapidement des circuits électroniques. Ainsi, la plaquette est composée d'une multitude de trous dont certains sont reliés électriquement entre eux. Il existe différents formats et différentes tailles de Breadboard. Voici un des formats de Breadboard les plus utilisés. (figure 4.14) : Ces plaques à essai sont vraiment

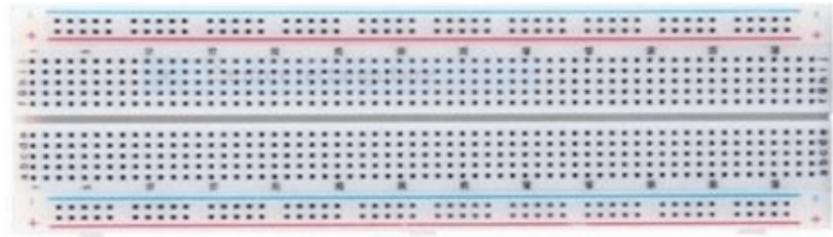


FIGURE 4.14 – Une plaquette d'essai sans soudeure.

simples à utiliser. Dans une Breadboard standard, les deux lignes du haut et du bas sont reliées électriquement. De même, chaque colonne au centre est composée de points reliés électriquement. La création d'un circuit électronique est ainsi grandement facilitée. Il suffit d'enficher quelques composants dans les trous et de d'utiliser quelques fils électriques.[18]

4.6.8 Des câbles :

Ce sont des fils électriques qui relient les électrique qui relient les dipôles (un composant possède deux bornes) d'un circuit entre eux. Son rôle est de permettre au courant électrique de circuler entre ces dipôles. Permettent d'insérer très facilement le câble dans la carte l'Arduino ou sur les plaques d'essais (breadboard).[20]



FIGURE 4.15 – Des câbles.

4.6.9 Câble d'alimentation USB :

Un câble USB standard (gros connecteur type imprimante) pour les cartes Arduino UNO, MEGA et DFRduino qui permet à la fois d'alimenter notre projet Arduino, de programmer la carte (via arduino IDE).[14]



FIGURE 4.16 – Câble USB.

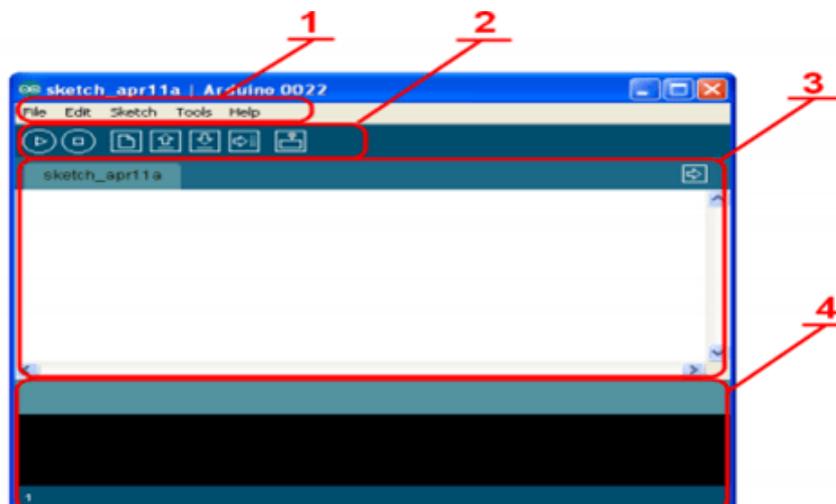
4.7 Partie Logiciel :

4.7.1 IDE Arduino :

Le logiciel Arduino est un environnement de développement (IDE) open source et gratuit, téléchargeable sur le site officiel Arduino, cet IDE dédié aux cartes Arduino permet :

- D'éditer un programme : des croquis (sketch en Anglais)
- De compiler ce programme dans le langage « machine » de l'Arduino,
- De télé verser le programme dans la mémoire de l'Arduino,
- De communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal

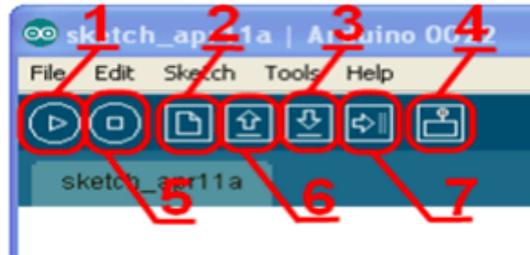
L'interface :



L'interface du logiciel Arduino se présente de la façon suivante :

1. Options de configuration du logiciel
2. Boutons pour la programmation des cartes
3. Programme à créer
4. Débogueur (affichage des erreurs de programmation) Le menu File dispose d'un certain nombre de choses qui vont être très utiles :

Les boutons :



1. Permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme
2. Créer un nouveau fichier
3. Sauvegarder le programme en cours
4. Liaison série
5. Stoppe la vérification
6. Charger un programme existant
7. Compiler et envoyer le programme vers la carte

Le langage Arduino :

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec `avr-g++`, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++.

4.7.2 Fritzing :

Fritzing est un logiciel Open Source développé par l'université de Postdam aux Pays-Bas. Ce logiciel permet de :

- Réaliser des schémas de câblage sur platine d'essai. (figure 4.17)

- Saisir des schémas structurels.
- Dessiner des typons
- Editer des programmes Arduino et les télécharger sur la carte [10].

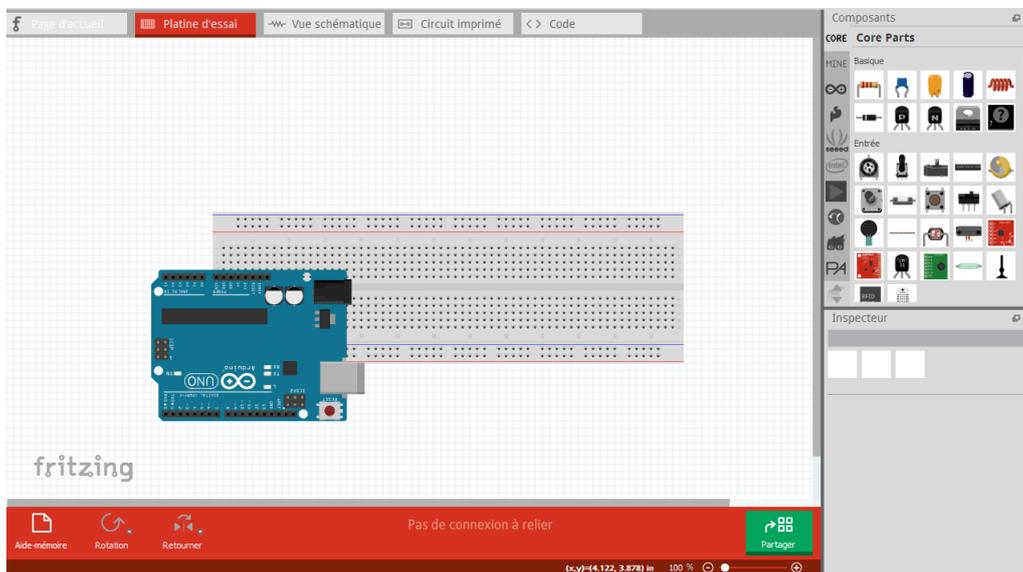


FIGURE 4.17 – Fritzing .

4.7.3 Bluetooth Terminal HC-05 :

- App qui vous offre une compatibilité avec tous les microcontrôleurs. Tout ce que vous avez besoin est une connexion de l'adaptateur série HC-05 avec des ports série des contrôleurs.
- Contrôler tout micro-contrôleur qui utilise un module Bluetooth HC 05 ou HC 06 par votre téléphone intelligent.
- Cette application peut envoyer et recevoir des commandes via Bluetooth afin que vous puissiez facilement déboguer vos problèmes matériels.

Fonctionnalités :

- Des panneaux séparés pour l'envoi et la réception de données.
- personnalisés vos propres boutons pour envoyer fréquemment des mêmes données.
- Surveillance de réception de données comme HEX ou ASCII.
- Envoi de données en ASCII ou HEX.
- Sélection pour /r / n à la fin de l'envoi des données.
- option simple copie des données envoyées seulement de la presse à long sur les données.

- Envoyer le fichier journal des données reçues et envoyées.
- Maintenir l'option écran marche / arrêt.

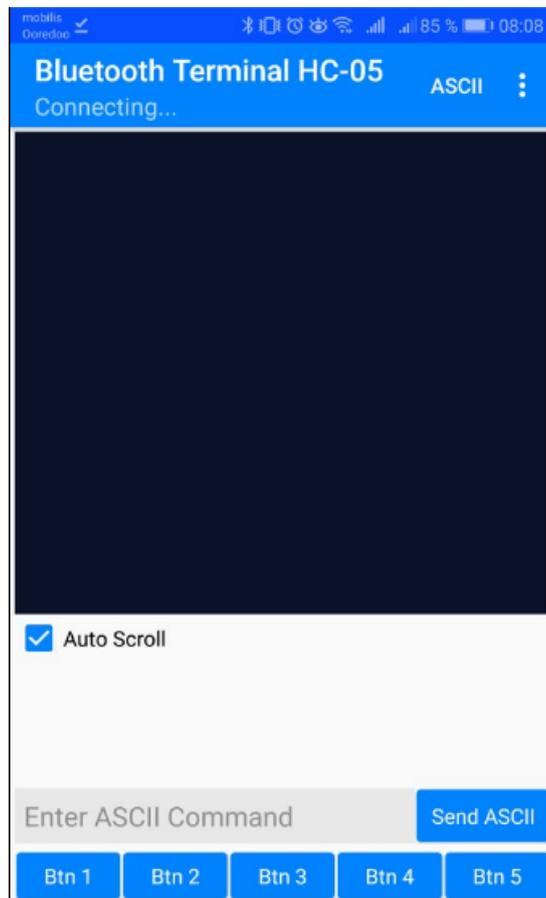


FIGURE 4.18 – L'interface de l'application "Bluetooth Terminal HC-05"

4.8 Branchement de modules :

Après avoir présenté dans la section précédente, les outils utilisés pour réaliser notre travail en va décrire les étapes de la réalisation de notre système. En premier lieu Branchement générale des modules et l'organigramme général du système.

En second lieu en va voir le résultat final obtenu de notre projet .

4.8.1 Schéma finale de notre système :

La figure 4.21 représente le schéma de montage final de notre system d'irrigation

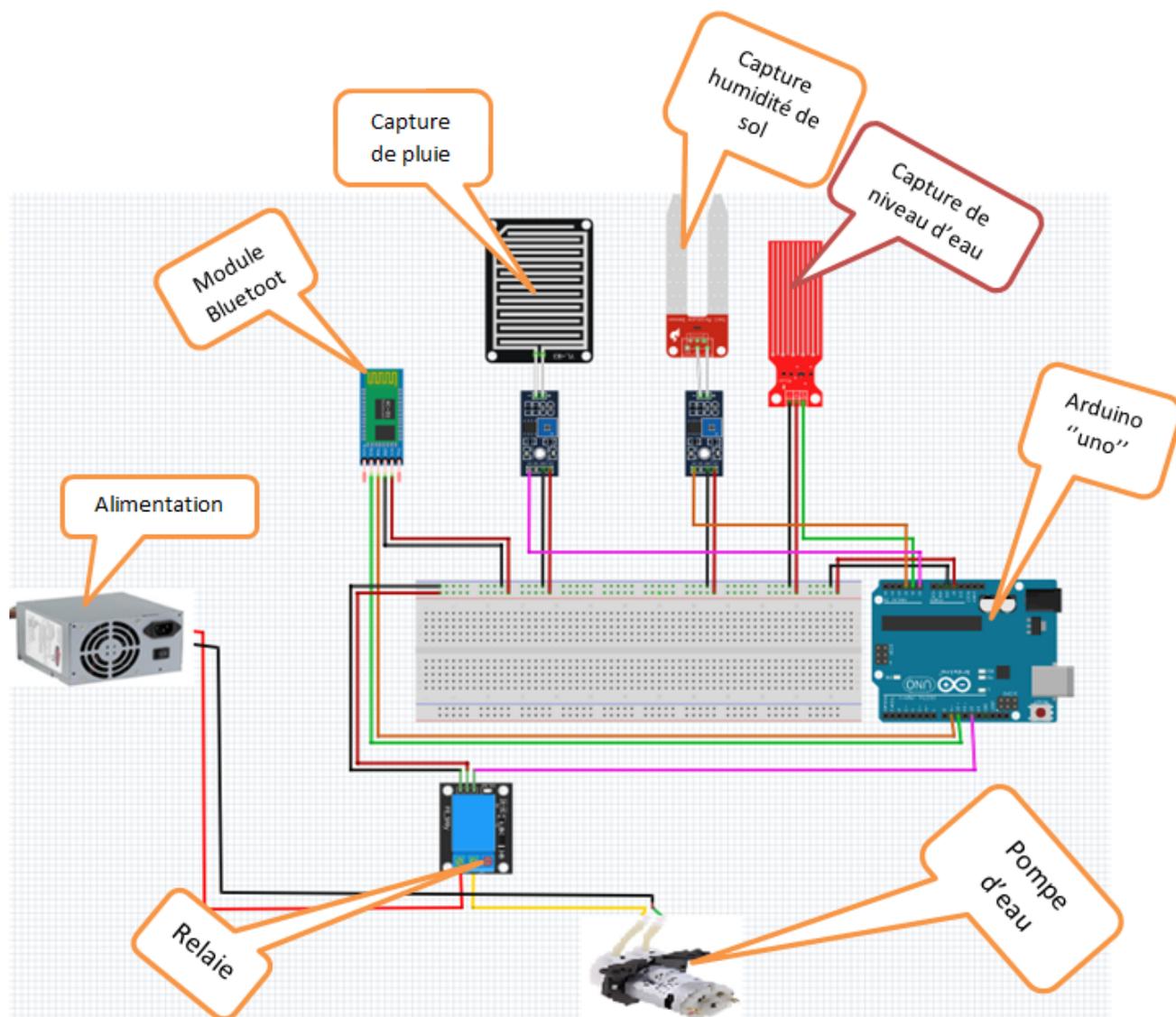


FIGURE 4.19 – Schéma finale de notre système .

4.8.2 Organigramme générale du système :

La figure 4.20 représente l'organigramme du programme principal de la carte (arduino uno) pour notre système d'arrosage intelligent.

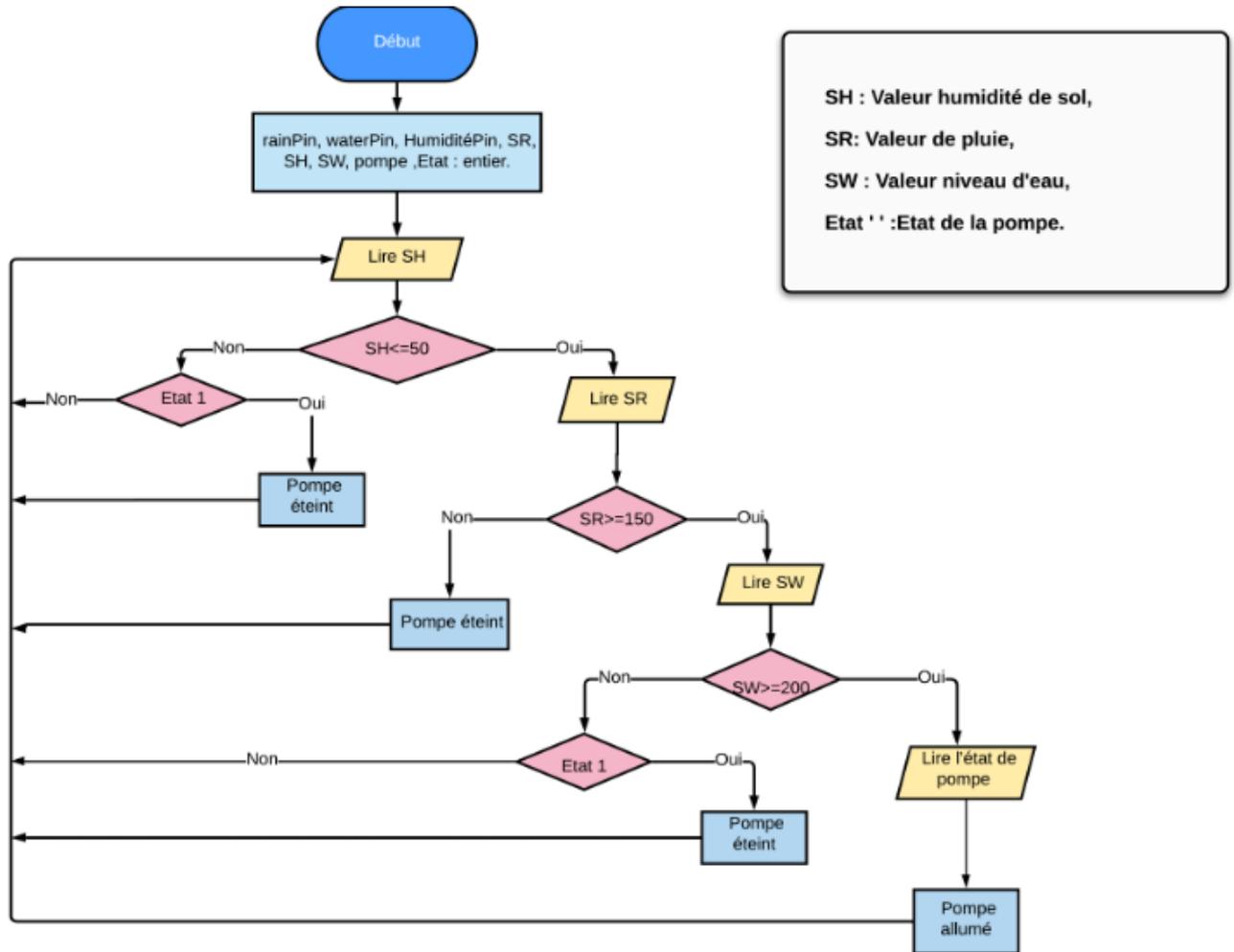


FIGURE 4.20 – l’organigramme global du programme de la carte de commande.

Pour faciliter le démarrage ,et assurer le bon fonctionnement de notre système d’arrosage , notre programme respecté les cas suivantes :

- **1ère cas** : Si la plante n’est pas arrosée et la pluie n’est pas tombé et le réservoir d’eau est vide : Le système n’est pas démarrer.
- **2ème cas** : Si la plante n’est pas arrosée et la pluie n’est pas tombé et le réservoir d’eau est plein : Le système est démarrer.
- **3ème cas** : Si la plante n’est pas arrosée et il ya de pluie : le système n’est pas démarrer.
- **4ème cas** : La plante en cas d’arrosage, soudain il pleut : la pompe est s’arrête, donc le système est s’arrête .
- **5ème cas** : La plante en cas d’arrosage, soudain vider le réservoir : la pompe est

s'arrête, donc le système est s'arrête .

4.9 Résultats obtenus :

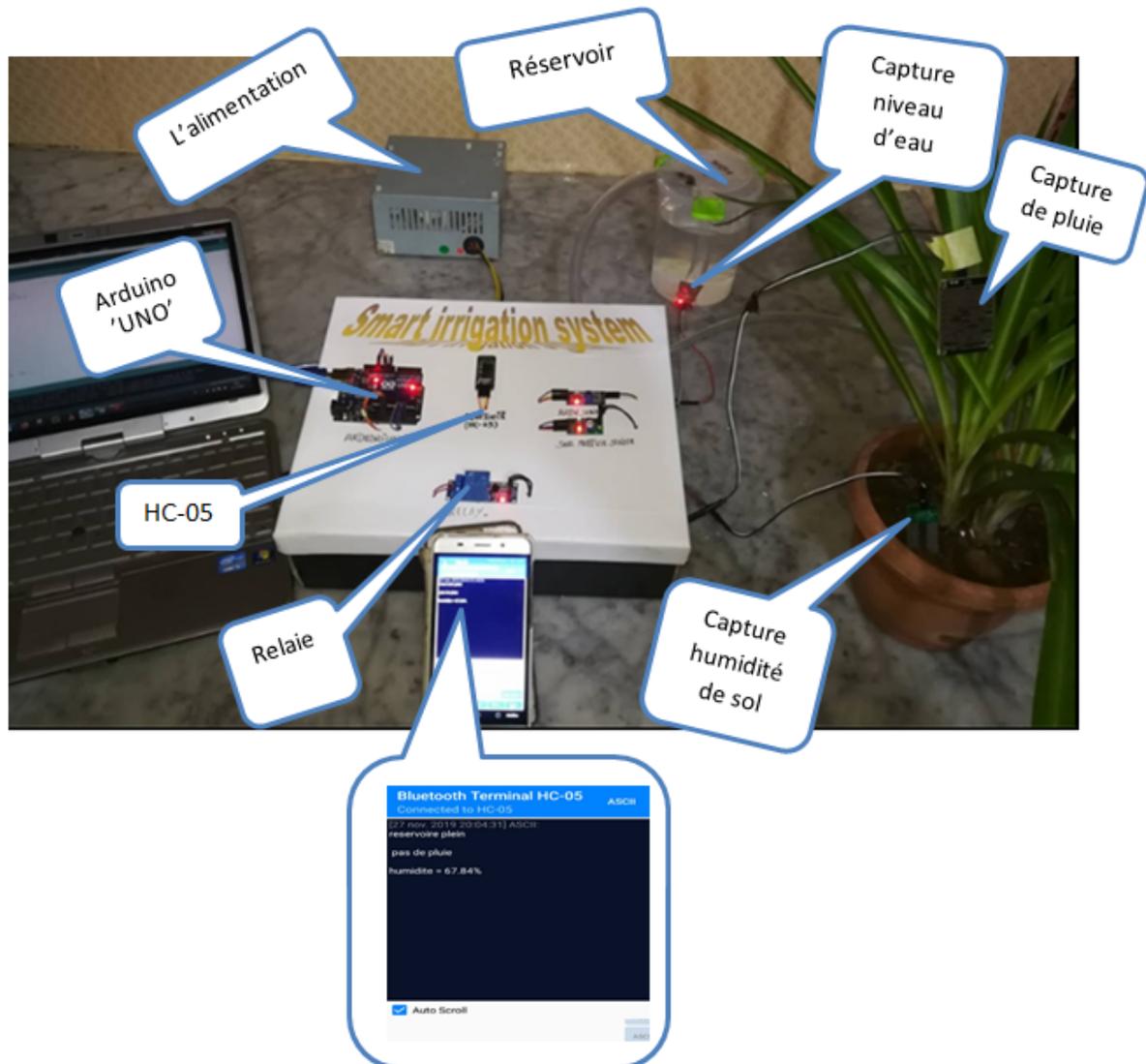


FIGURE 4.21 – le résultat final .

4.10 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une partie matériel et une partie logicielle que utilisés pour la réalisation de notre système, la dernière partie de ce chapitre est réservé à la conception et la réalisation du système, puis nous présentons le résultat obtenu.

Conclusion générale

L'évolution de l'Internet des objets et des technologies basées sur les réseaux de capteurs sans fil permet l'émergence de plusieurs applications dans des domaines différents tels que le domaine industriel, médical, agriculture . . . etc. Notre travail consiste à l'élaboration d'un Système de gestion d'objet sous internet (IoT) : Smart irrigation qui pourra être intégré dans l'intégré dans plusieurs types d'applications tels que (agriculture des serres, bassin d'eau, Vertical Farming, jardin maison intérieur . . . etc.)

Durant ce mémoire, nous avons donné une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fil ainsi que les caractéristiques et les différentes problématiques dans le domaine des RCSFs. Ensuite nous avons survolé internet des objets, son évolution, ses concepts et quelques protocoles de communication. La réalisation de notre système est basée sur un ensemble de matériels et d'outils de prototypage et de développement tels que la carte mère Arduino et ses composants de communication et de détection des objets dans la partie matérielle et pour la partie logicielle nous utilisons IdE arduino et une application mobile disponible sur play store.

Dans ce travail nous avons pénétré les deux vastes domaines RCSF et L'IoT et élaboré un système de gestion d'irrigation intelligente sous IoT. A la fin de cette élaboration nous avons illustré notre réalisation et les résultats obtenus en utilisant ces moyens techniques dans le domaine de Smart Irrigation

Comme perspectives, nous planifions à améliorer notre système pour pouvoir le déployer sur terrain de manière vaste. Aussi nous pensons à le rendre simple à installer et à utiliser. Nous allons essayer d'augmenter sa performance en termes de consommation d'énergie, de qualité de service et de sécurité. Cette augmentation sera atteinte par l'utilisation d'un réseau wifi plus une application qui sera conçu spécialement pour notre système d'irriga-

tion. Aussi, il sera intéressant de pouvoir récupérer des statistiques suivant l'évolution de son fonctionnement pour que l'agriculteur soit conscient de ses besoins à travers le temps pour mieux prévenir et mieux gérer ses ressources.

Bibliographie

- [1] BOUZIDI Zeyneb, Melle BENAMEUR Amina. " Mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour l'irrigation intelligente". diplôme de Master en Informatique. Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen. 2011-2012
- [2] Bouamara Ouarda, Bouamara Rosa. " **Simulation d'un Réseau de capteur sans fil sous contiki**". Mémoire de Master en Informatique, Université A. Mira de Béjaïa, 2016.
- [3] HADJADJ Abdelkrim, ARIBI Billal. " **Réseaux de capteurs sans fil pour le contrôle des paramètres ambiants dans un bâtiment d'élevage de volaille**". diplôme de Master en Informatique. Université AMO de Bouira. 2017/2018.
- [4] Mohamed BENZAOUZ . " Surveillance de tout point d'une zone d'intérêt à l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans fil". Ecole nationale supérieure d'informatique Oued- Smar Alger Algérie.
- [5] [http ://www.composelec.com/reseau-de-capteurs-sans-fil.php](http://www.composelec.com/reseau-de-capteurs-sans-fil.php).
- [6] Allouache Djedjiga, Azamoum Karima. " **Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil**". Diplôme de Master II en Informatique. Université A. MIRA-BEJAIA.
- [7] R. KACIMI, " **Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil**". Thèse de Doctorat : Réseaux et Télécommunications, Université de Toulouse, France, 2009.
- [8] HAMOU ALDJA Kahina, HARKATI Samia. " **La Gestion des Données dans les Réseaux de Capteurs sans Fil**". Diplôme de master recherche en informatique. Université A/Mira de Béjaïa.

- [9] [Tizzaoui Youva : ” **Internet des Objets « IoT » Application : Industrie 4.0**”, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa. Pour obtenir le diplômé de Master en Télécommunications,2017.
- [10] <http://pecquery.wixsite.com/arduino> .
- [11] Hadjer MESSABIH .”**SN-CAS : Contribution des réseaux de capteurs à la conscience des contextes des systèmes**”. Magister en Informatique. Option : Systèmes informatiques Intelligents et Communicants(SiIC). Université HADJ LAKHDAR – BATNA.
- [12] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-technologies>.
- [13] Melle BOUZIDI Zeyneb, Melle BENAMEUR Amina .**Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil**”.diplôme de Master en InformatiqueOption : Réseaux et systèmes distribués (R.S.D). Université Abou BakrBelkaid– Tlemcen.
- [14] Masmoudi Nourelimene, Zaigouche Yousra,”**Conception et Réalisation d’un Système de gestion d’objet sous internet (IoT) : Smart Irrigation**”.diplôme de Master en Informatique.Université de Batna -2-.2019.
- [15] M. Han and H. Zhang,”**Business intelligence architecture based on internet of things** ” Journal of Theoretical Applied Information Technology, 2013.
- [16] Melle KARA Nadjah,”**Conception d’un réseau de communication pour une maison intelligente en utilisant la technique d’IOT**”, dipl[^]ome Master Professionnel en Informatique,béjaia.2016/2017. bla bla.
- [17] <http://docplayer.fr/amp/1610815-Systeme-de-gestion-de-flux-pour-l-internet-desobjets-intelligents.html#download-tab-content>
- [18] AMMOUR Mouloud,”**Etude et conception d’une carte de contrôle à base d’ARDUINO pour des applications domotique**”. diplôme Master Académique en Electronique.2018.
- [19] BOUKELLOUL SOUFIENE,”**Conception et Réalisation d’un Systèmes d’IoT (Internet of Things) pour l’Economie de l’Eau dans le Cadre d’une Cité Intelligente (Smart City) : Etude de cas : Arrosage Automatique des Espaces Verts**”. diplôme de MASTER EN INFORMATIQUE. 2018.

- [20] Benyahia Rafik, "**Conception et Réalisation d'un Système de gestion d'objet sous internet (IoT) : Smart Farm**", Batna -2-, diplôme de Master en Informatique, 2018.
- [21] KAMBOUCHE Sofiane, ATTOU Ismail, "Conception et réalisation d'un système d'agriculture intelligente ". du diplôme de Master en : Domaine : Technologie. 2017/2018.
- [22] Mr AIT MOUHOUB Younes, Mr BOUCHEBBAH Fatah, "**Proposition d'un modèle de conance pour l'Internet des Objets.**".diplôme de master recherche en Informatique.Université A/Mira de Béjaïa.2014/2015.
- [23] TIZZAOUI YOUVA. "**Internet des Objets « IoT » Application : Industrie 4.0**". En Vue de l'Obtention du Diplôme Master. Université Abderrahmane Mira de Bejaïa. 2016/2017.
- [24] Hadjadj Walid, "**L'utilisation de N-Version de programmation pour la prise en charge des fautes dans un environnement IoT :étude de cas sur un system médical domotique controlé par un SMA**". du diplôme de Master en Informatique.de Oum El Bouaghi.2017-2018.
- [25] Mlle Chaouche Hanane. "**Réalisation d'un prototype d'un réseau de capteurs sans fil dédié à l'agriculture de précision**". Diplôme de Master en Informatique. Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen.
- [26] <https://leshorizons.net/2019/01/14/cest-quoi-agriculture-de-precision/>.
- [27] AOUATA Ibrahim. "**ÉTUDE ET DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION SOUTERRAINE EN ALGERIE**".diplôme de Master en Hydraulique. ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI ABDALLAH.
- [28] GESTION DES EAUX EN IRRIGATION Manuel de formation n 5 "**Méthodes d'irrigation**". Institut international pour l'amélioration et la mise en valeur des terres.
- [29] Cultures protégées en climat méditerranéen. Page 165.
- [30] ZERAIB ALA EDDINE, "**une approche IoT pour la mise en oeuvre des serres intelligentes connectées**". diplôme de master académique en Informatique. Université Mohamed Khider – BISKRA.
- [31] RACHIDI Fatima Ezzahra, "**Agriculture intelligente : Configuration et test d'un système intelligent basé sur des capteurs pour l'acquisition de données agroenvironnementales**". l'obtention du diplôme Ingénieur d'Etat. 2013- 2014.

- [32] Hocine Safia, MouradjKeltoum, ”**Conception et réalisation d’un système embarqué contrôlé depuis un panneau routier intelligent commandé par une liaison RF**”,INTTIC.Pour obtenir le diplôme d’Ingénieur D’Etat en Télécommunications, 2016.
- [33] <https://www.robot-maker.com/ouvrages/tuto-arduino/choisir-carte-arduino-adaptee/>.
- [34] <https://www.shop4makers.com/site/produit/module-wifi-nodemcu-v3-esp8266/>.
- [35] <https://www.editions-eni.fr/open/mediabook.aspx?idR=56d553d2f7856429ef749fee465aa784>.
- [36] <https://www.flossmanualsfr.net/manuals/view/arduino/ch013-programmer-arduino/>.
- [37] Mr. LEMDANI Rafik,Mr. MALOUADJMI Nabil,**Etude, conception et réalisation d’une plateforme pour l’automatisation et le contrôle à distance des serres agricoles**,BOUMERDES, diplôme de Master en Génie Electrique,2017.
- [38] D.NAVARRO, F.MIEYEVILLE, ”**Simulation de réseaux de capteurs sans fil**”, Présentation EcoFac, Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL), 2012.
- [39] I.F.AKYILDIZ, W.Su, Y.SANKARASU BRAMANIAM, E.CAYIRCI, ”**Wireless sensor networks : a survey. Elsevier Science. Computer Networks**”, Volume 38, Issue 4,2002.
- [40] <http://blog.hoolders.com/2016/12/27/iot-quel-protocole-de-communication-choisir-pour-ses-objets-connectes/>.
- [41] <https://euro-makers.com/fr/capteurs-detecteurs-arduino/1591-capteur-de-pluie-arduino-3701172905342.html>