

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU  
FACULTÉ DE GÉNIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT INFORMATIQUE



**Mémoire De Fin d'Etudes En Vue D'Obtention  
D'un Master Académique  
Filière : Informatique  
Spécialité : Réseaux, Mobilité et Systèmes Embarqués**

**Internet des objets dans le domaine de  
l'agriculture de demain**

**Présenté par :**

**M.HANICHE Malika**

**M.TABRAIT Nabila**

**Proposé et Encadré par :**

**M.OUKFIF Karima**

***Présenté Le 29 septembre 2019 devant la commission de jury composée de :***

**Président : M<sup>r</sup>. DAOUI Mohamed**

**Examineur : M<sup>me</sup>. BELKADI Malika**

**Examineur : M<sup>me</sup>. AOUDJID Rachida**

**Promotion : 2018/2019**

# Remerciement

*Nous remercions ALLAH le tout puissant d'avoir nous donner le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.*

*Nous tenons à remercier particulièrement notre encadreur Mme OUKFIF Karima pour son encadrement.*

*Nous remercierons très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineur.*

*Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants au sein de département informatique.*

*Nous tenons également à remercier tous nos collègues de promotion.*

*Nous remercierons tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail A mes chers parents  
qui ont contribué à ma réussite.*

*A mes cœurs et frères et leurs enfants.*

*A une personne qui est très chère de mon cœur .*

*A tout ma famille.*

*H.Malika*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A Mon mari Hamid*

*Mon fils Kamel*

*A tout ma famille.*

*Et à Ma belle famille*

*T.Nabila*

# *Sommaire*

## Remerciement

## Dédicaces

## Sommaire

## Liste des figures

## Liste des abréviations

**Introduction Générale.....** 01

**Problématique et objectifs.....** 02

## **Chapitre I - Concepts fondamentaux de L'IOT**

I.1. Introduction ..... 03

I.2. Définitions..... 04

I.2.1. Internet des objets ..... 04

I.2.2. Objets connectés..... 04

I.3. Architecture de l'internet d'objet..... 05

I.3.1. Les différents processus de l'internet des objets..... 06

I.3.2. Le traitement des données..... 06

I.3.3. La transmission des données..... 07

I.4. Les éléments intervenant dans l'internet des objets..... 07

I.4.1. Les capteurs ..... 07

I.4.2. Connectivité ..... 08

I.4.3. Outils de traitement de l'information..... 08

I.4.4. Interface utilisateur ..... 09

I.5. Les technologies de communication des objets connectés ..... 10

I.5.1. Les technologies de courte portée ..... 10

1.5.1.1. Le protocole NFC ..... 10

1.5.1.2. Bluetooth..... 10

1.5.1.3. Zigbee ..... 11

1.5.2. Les technologies de moyenne portée ..... 11

1.5.2.1. Z-Wave ..... 11

1.5.2.2. Wi-Fi .....	12
1.5.2.3. Bluetooth Low Energy.....	12
I.5.3. Les technologies de longue portée.....	12
1.5.3.1. Réseaux cellulaires mobiles .....	12
1.5.3.2. Réseaux radio bas-débit.....	13
I.5.3.3. Réseaux propriétaires.....	13
I.6. Fonctionnement de l’IoT.....	14
I.6.1. RFID (Radio Frequency Identification) .....	14
I.6.2. WSN (Wireless Sensor Network) .....	14
I.6.3. M2M (Machine to Machine) .....	15
I.7. Domaines d’activité .....	15
I.7.1. L’internet des objets dans le domaine de la santé .....	15
I.7.2. L’internet des objets dans le domaine des sportifs .....	16
I.7.3. L’internet des objets dans le domaine domotique.....	17
I.7.4. L’internet des objets dans le domaine de L’automobile.....	18
I.7.5. L’internet des objets dans le domaine de l’industrie.....	19
I.7.6. Les objets connectés dans le domaine de l’énergie.....	19
I.7.7. Les objets connectés dans le domaine militaire .....	20
I.7.8. Les objets connectés dans l’environnement.....	21
I.7.9. Les objets connectés dans le domaine d’éducation.....	21
I.7.10. Les objets connectés dans le domaine d’élevage.....	23
I.7.11. Les objets connectés dans le domaine de l’agriculture .....	23
I.8. Les différents éléments d’un objet connecté.....	24
I.8.1. Le microcontrôleur.....	24
I.8.1.2. Définition d’un Microcontrôleur.....	24
I.8.1.2. Domaines d’application.....	24
I.8.1.3. Les différents éléments composants le microcontrôleur....	25
I.8.1.4. Critères de choix d’un microcontrôleur.....	28

I.8.2. Différentes modèles de cartes à microcontrôleur.....	29
A. La carte STM32F4Discovery .....	29
B. La carte Raspberry Pi 3 modèle B .....	31
I.83. Spécifications techniques du microcontrôleur Raspberry Pi 3.....	32
I.9. Conclusion .....	34

## **Chapitre II - l'internet des objets dans le domaine de l'agriculture de demain**

II.1. Introduction .....	35
II.2.1 Les technologie de l'internet des objets dans le domaine de l'agriculture de demain.....	35
II.2.1. Drones .....	35
II.2.2. Les robots .....	37
a- Agribots .....	37
b- le robot de binage .....	39
c- Robot désherber de vignes .....	40
II.2.3. Les tracteurs intelligents sans conducteur.....	40
II.3.4. Serres automatisées.....	41
II.3.5. La ferme connectée.....	43
II.4. Les capteurs .....	44
II.4.1. Définition d'un capteur.....	44
II.4.2. Classification des capteurs.....	45
II.4.2.1. Les capteurs analogiques .....	45
II.4.2.2. Les capteurs numériques .....	46
II.4.2.3. Les capteurs logiques .....	46
II.4.3. Caractéristiques des capteurs.....	47
II.4.4. Critères de choix du capteur.....	47

II.4.5. Exemples de capteurs.....	48
II.5. Utilisation des capteurs dans le domaine agricole.....	62
II.5.1. Capteur pour plantes et arbres fruités .....	62
II.5.2. Arrosage et irrigation automatique .....	63
II.5.3. Surveillance des conditions climatiques.....	65
II.5.4. Surveillance et gestion du bétail .....	66
II.6. Les applications pour une agriculture connectée .....	67
II.6.1. L'application Comsag.....	67
II.6.2. L'application Desherb-Top.....	72
II.6.3. application de surveillance l'état des plantes .....	73
II.6.4. La calculatrice des agriculteurs .....	74
II.6.5. Météo agricole .....	75
II.7. Avantages et les inconvénients d'internet d'objet dans le domaine de l'agriculture .....	75
II.7.1 Avantages de l'internet d'objet dans le domaine de l'agriculture .....	75
II.7.2. Les inconvénients de l'internet d'objet en agriculture .....	77
I.7. Conclusion .....	79
 <b>Chapitre III - Agriculture connecté en Algérie</b>	
III.1. Introduction .....	80
III.2. L'état de l'agriculture en Algérie .....	80
II.2.1. L'agriculture au Sahara .....	81
III.3. Problème de l'agriculture connectée en Algérie .....	82
III.4. Agriculture connectée en Algérie .....	82
III.4.1. Les drones .....	82
III.4.2. Plateforme numérique destinée aux agriculteurs .....	83
III.4.3. Applications mobiles pour communiquer avec les	

agriculteurs.....	84
III.5. Des suggestions pour améliorer notre agriculture de précision.....	85
III.5.1. Une ferme de 30 000 hectares en plein Sahara.....	85
III.5.2. Des robots récolteurs d'olives et des fruits.....	86
III.5.3. Aquasafe ouvre l'Algérie à l'internet des objets.....	88
III.6. Recommandation .....	89
III.7. Conclusion .....	90
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>91</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>92</b>

## Chapitre I - Concepts fondamentaux de L'IOT

<b>Figure 3.1</b> : Le rôle des différents processus d'IOT[3] .....	06
<b>Figure 7.1</b> – Réseau de capteurs sans fil dédié à la sécurité routière (Gil de Sousa, 2008) [20].....	18
<b>Figure 8.1</b> – Microcontrôleur [27].....	24
<b>Figure 8.2</b> : Architecture interne d'un microcontrôleur [27].....	25
<b>Figure 8.3</b> : STM32F4Discovery [30].....	31
<b>Figure 8.4</b> : La carte Raspberry Pi 3 model B [31].....	33

## Chapitre II - l'internet des objets dans le domaine de l'agriculture de demain

<b>Figure 2.1</b> : Des drones agricoles [33].....	37
<b>Figure 2.2</b> : Les agribots [34].....	38
<b>Figure 2.3</b> : Le robot binage qui cartographie les cultures de salades [36]	39
<b>Figure 2.4</b> : Robot désherber de vignes [37] .....	40
<b>Figure 2.5</b> : Les tracteurs intelligents sans conducteur [38] .....	41
<b>Figure 4.1</b> : Représentation fonctionnelle de capteur [44] .....	45
<b>Figure 4.2</b> : Signal analogique[45] .....	46
<b>Figure 4.3</b> : Signaux numériques [45].....	46
<b>Figure 4.4</b> : Valeurs logique [45] .....	47
<b>Figure 4.5</b> : Capteur d'humidité - Grove [47].....	49
<b>Figure 4.6</b> : Capteur hygrométrie du sol [49] .....	49
<b>Figure 4.7</b> : Capteur d'Eau- Grove [47] .....	50
<b>Figure 4.8</b> : Capteur de niveau d'Eau [49].....	51
<b>Figure 4.9</b> : Capteur de température et humidité digital – DHT22 [47] ...	52
<b>Figure 4.10</b> : Capteur de température et humidité SENSIRON SHT31-D [47].....	53
<b>Figure 4.11</b> : Capteur de température et humidité – GROVE [47].....	53

<b>Figure 4.12</b> : Capteur de température LM35DZ [47].....	54
<b>Figure 4.13</b> : Capteur de température numérique TCN75A [47].....	55
<b>Figure 4.14</b> : Capteur de pression Freescale MPX4115A [50].....	56
<b>Figure 4.15</b> : Capteur de pression Velleman MM103 [50].....	57
<b>Figure 4.16</b> : Capteur de Météo [50].....	58
<b>Figure 4.17</b> : Capteur de mouvement PIR avec réglages [47].....	59
<b>Figure 4.18</b> : Capteur de mouvement Grove [47].....	60
<b>Figure 4.19</b> : Electrovanne G1/2 12V [47].....	61
<b>Figure 5.1</b> : Capteur pour plantes et arbres fruités [51].....	62
<b>Figure 5.2</b> : Pilotage d'irrigation à distance [52].....	63
<b>Figure 5.3</b> : Une station météo est positionnée dans une parcelle [53].....	65
<b>Figure 6.1</b> : Tableau de calcul de Comsag [55].....	67
<b>Figure 6.2</b> : calendrier de Comsag [55].....	68
<b>Figure 6.3</b> : Personnalisation de l'affichage des données [56].....	69
<b>Figure 6.4</b> : Exemple d'une parcelle équipée de 6 sondes tension métriques Watermark (3 à 30 cm de profondeur et 3 à 60 cm de profondeur).[57] .....	70
<b>Figure 6.5</b> : Application mobile gratuite d'aide au désherbage localisé en viticulture et arboriculture pour iOS et Android [58].....	71
<b>Figure 6.6</b> : Application de surveillance de l'état de santé des plantes via un Smartphone [60].....	75
<b>Figure 6.7</b> : La calculatrice des agriculteurs [61].....	75

**IP** Internet **P**rotocol

**Ipv6** Internet **P**rotocol version 6

**IoT** Internet of **T**hings

**LPWAN** **L**ow-**P**ower **W**ide-**A**rea **N**etwork

**NFC** **N**ear **F**ield **C**ommunication

**TIC** **T**echnologie d'Information et **C**ommunication

**ITU** **I**nternational **T**elecommunication **U**nion

**RFID** **R**adio **F**requency **I**dentification

**WPANs** **W**ireless **P**ersonal **A**rea **N**etworks

**BLE** **B**luetooth **L**ow **E**nergy

**TCP/IP** **T**ransmission **C**ontrol **P**rotocol / **I**nternet **P**rotocol

**RCSF** **R**éseau de **C**apteurs **S**ans **F**ils

**PROM** **P**rogrammable **R**ead **O**nly **M**emory

**EPROM** **E**rasable **P**rogrammable **R**ead **O**nly **M**emory

**EEPROM** **E**lectrically **E**rasable **P**rogrammable **R**ead **O**nly **M**emory

**CAN** **C**onvertisseurs **A**nalogiques **N**umériques

**PWM** **P**ulse **W**idth **M**odulation

**IEEE** **I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronics **E**ngineers

**M2M** **M**achine **T**o **M**achine

## Liste des abréviations

---

**UART** Universal **A**synchronous **R**eceiver **T**ransmitter

**GPS** Global **P**ositioning **S**ystem

**IIC** Inter **I**ntegrated **C**ircuit

**CPU** Central **P**rocessing **U**nit

**SD** Static | **D**ynamic

**RAM** **R**andom **A**ccess **M**emory

**FAO** **F**ood and **A**griculture **O**rganization

***Introduction***

***Générale***

La demande croissante de denrées alimentaires, à la fois en quantité et en qualité, a accru la nécessité d'intensifier et d'industrialiser le secteur agricole.

L'Internet des objets est une famille de technologies très prometteuse, capable d'offrir de nombreuses solutions pour la modernisation de l'agriculture.

Les groupes scientifiques et les instituts de recherche, ainsi que l'industrie, se lancent dans une course pour proposer de plus en plus de produits d'internet des objets aux acteurs du secteur agricole et jettent les bases d'un rôle clair pour que l'Internet devienne une technologie dominante.

Dans le même temps, l'internet, qui est déjà très populaire, et le big data fournissent suffisamment de ressources et de solutions pour maintenir, stocker et analyser les énormes quantités de données générées par les appareils connectés à l'internet. La gestion et l'analyse des données de l'internet des objets peuvent être utilisées pour automatiser des processus, prévoir des situations et améliorer de nombreuses activités, même en temps réel.

En effet, l'IoT permet désormais aux exploitations agricoles d'augmenter leur efficacité opérationnelle en automatisant et optimisant les chaînes de production. L'IoT apporte également des bénéfices indéniables pour la gestion des exploitations. Notre mémoire est organisé en trois (3) chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré à la présentation de l'internet des objets, ainsi que l'introduction de quelques notions fondamentales et les moyens de communications utilisés dans le domaine de l'IOT.
- Dans le 2<sup>ème</sup> chapitre, nous avons cités quelques applications d'internet des objets dans le domaine de l'agriculture et les moyens de la technologie moderne utilisée comme les drones, les robots, les capteurs ...
- Dans le 3<sup>ème</sup> chapitre, nous avons présente l'actualité sur Internet des objets dans le domaine d'agriculture en Algérie et proposer des solutions pour que les agriculteurs Algériens exploitent et adopter ces nouvelles technologies pour moderniser le domaine de l'agriculture.

# *Problématique*

Notre mémoire fin d'étude sur l'internet des objets d'IoT (Internet of Things), dans le domaine de l'agriculture de demain. L'Internet des objets est une famille de technologies très prometteuse, capable d'offrir de nombreuses solutions pour la modernisation de l'agriculture à l'aide des nouvelles technologies (drones, capteurs, robot...), des systèmes de productions capables de mieux répondre aux besoins des agriculteurs et consommateurs.

**Quels est l'impact de l'internet des objets sur le domaine de l'agriculture ?**

**Et comment l'agriculture connectée va améliorer la vie de l'agriculture algérienne?**

C'est pour cela, qu'aujourd'hui, il est indispensable et nécessaire pour les agriculteurs algériens de transformer l'agriculture classique par d'exploitation et adoption ces nouvelles technologies pour moderniser le domaine de l'agriculture.

L'utilisation des technologies connectées dans le secteur de l'agriculture est un moyen pour développer l'économie algérienne et satisfaire les besoins alimentaires et améliore chaque jour un peu plus le suivi de leurs bétail et de leurs cultures céréalières, l'étude note également l'utilité de l'IoT pour les tâches plus modestes, comme celles effectuées dans les cultures laitières, maraîchères et fruitières, et dans les cultures sous serres. Étant donné leur formidable impact dans le domaine de l'agriculture.

# *Chapitre I*

*Concepts*

*fondamentaux de*

*L'IOT*

## I.1. Introduction

Chaque jour de nouveaux objets se connectent à l'internet, grâce au progrès technique et à la baisse des coûts des capteurs et périphériques réseau résultant de la concurrence féroces des producteurs. Ces objets connectés envoient continuellement des informations concernant leur environnement. Ces données collectées forment une grande base de données, qui, une fois analysée par les entreprises, les aides à améliorer leur organisation interne et à créer de nouveaux produits et services personnalisés pour leurs clients.

IoT<sup>1</sup> représente un concept général concernant la capacité des périphériques réseau à détecter et à collecter des données du monde qui nous entoure, puis à partager ces données sur la toile où elles peuvent être traitées et utilisées à des fins diverses.

Certains utilisent aussi le terme Internet industriel de manière interchangeable avec IoT. Cela se réfère principalement aux applications commerciales de la technologie IoT dans le monde de la fabrication. L'Internet des objets n'est cependant pas limité aux applications industrielles.[1]

---

<sup>1</sup> - IoT : Internet of Things (internet des objets)

## I.2. Définitions

### I.2.1. Internet des objets

L'Internet des choses, abrégé généralement IoT à cause de sa formulation anglaise (Internet of Things), est un néologisme utilisé pour la première fois en 1999 par Kevin Ashton, co-fondateur et directeur de l'Auto-ID Center qui référence tous ces appareils (en dehors des ordinateurs et des smartphones) connectés à Internet. Qu'il s'agisse de voitures, de bracelets de fitness, de réfrigérateurs, de systèmes électriques ou d'autres choses encore, tous sont connectés à Internet et nous permettent d'échanger des données grâce aux capteurs. [2]

En bref, l'Internet des objets est l'évolution naturelle de l'utilisation des réseaux : elle a pour objectif de rendre le monde réel plus intelligent grâce à la connexion des objets, ces derniers obtiennent des informations qu'elles transmettent par réseau. N'importe quel objet autonome qui peut être connecté à Internet et qui peut être utilisé à distance peut être considéré comme un membre de la famille de l'Internet des objets. N'importe quel objet physique disposant d'une adresse IP<sup>2</sup> et permettant de communiquer grâce à un réseau est donc l'un des objets de l'Internet des objets.[2]

### I.2.2. Objets connectés

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 , etc.), qui le relie à Internet ou à un réseau local.

---

<sup>2</sup> - IP : Internet Protocol

On distingue communément deux grands groupes d'objets connectés :

On a distingué dans le billet précédent deux types d'objet :

- ◆ **Les objets passifs** : ils utilisent généralement un tag (puce RFID, code barre 2D). Ils embarquent une faible capacité de stockage (de l'ordre du kilo-octet) leur permettant d'assurer un rôle d'identification. Ils peuvent parfois, dans le cas d'une puce RFID, embarquer un capteur (température, humidité) et être réinscriptibles.[4]
- ◆ **Les objets actifs** : ils peuvent être équipés de plusieurs de capteurs, d'une plus grande capacité de stockage, être doté d'une capacité de traitement ou encore être en mesure de communiquer sur un réseau.[4]

Les capteurs installés sur ces objets connectés 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.[3]

### I.3. Architecture de l'internet d'objet

Des la fin des années 1990, le développement de l'internet Protocol version 6 (IPV6) a permis d'envisager l'internet des objets (ou internet of things) l'enjeu était déjà de disposer d'une quantité d'adresses IP suffisante pour connecter des objets de consommations à Internet.[4]

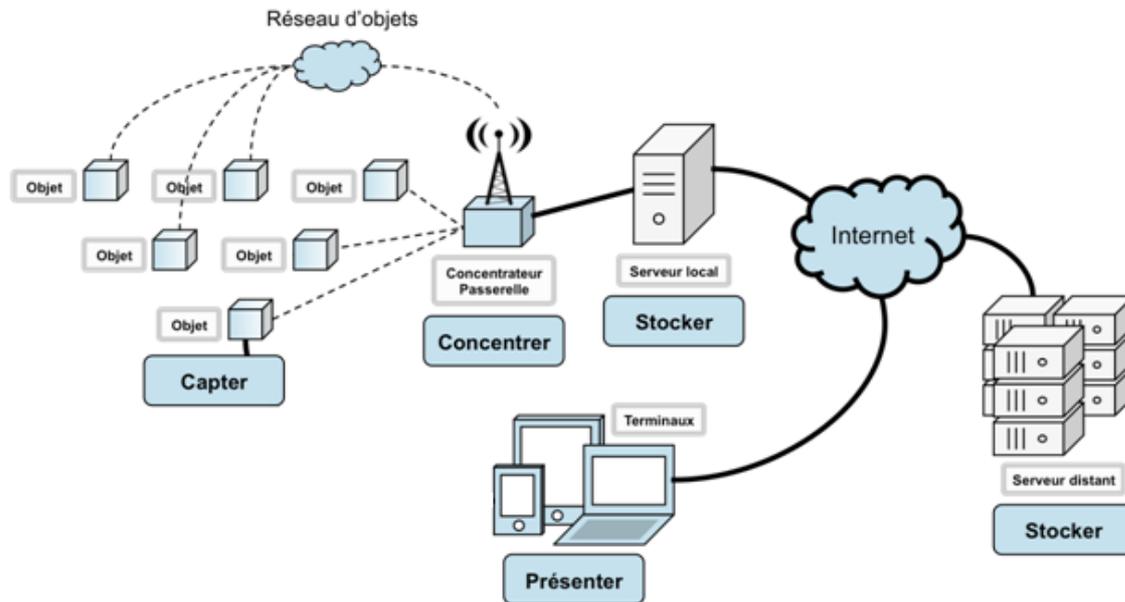


Figure 3.1 : Le rôle des différents processus d'IOT[4]

### I.3.1. Les différents processus de l'internet des objets

- **Capter** : désigne l'action de transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique.
- **Concentrer** : permet d'interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard (e.g. 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.
- **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.[4]

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

### I.3.2. 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.[4]

### 1.3.3. La transmission des données

Est un processus qui intervient à tous les niveaux de la chaîne.

Deux réseaux, supports des transmissions, cohabitent généralement :

- Réseau local de concentration. On utilise alors des technologies comme ANT, ZigBee, Z-wave, NFC ou Bluetooth LE.
- Réseau WAN, permettant d'interconnecter les réseaux spécialisés et de les interfacer avec des fermes de serveurs. On utilise alors WiFi, les réseaux cellulaires (GSM, UMTS, LTE) ou encore les connexions physiques standard (Ethernet, fibre optique). Ces réseaux sont généralement connectés à Internet.

Les technologies de transmission utilisées dépendent essentiellement de l'application et du contexte. Les canaux peuvent être bidirectionnels si l'application autorise une rétroaction. Dans certains cas, ces canaux devront transmettre les données en temps réel, dans d'autres cas, le temps ne sera pas un facteur déterminant.[4]

## I.4. Les éléments intervenant dans l'internet des objets

Le système complet d'un objet connecté intègre quatre éléments distincts :  
[5]

### I.4.1. Les capteurs

Tout d'abord, les capteurs récoltent les données de leur environnement. Cela peut être une simple lecture de niveau de bruit comme une lecture complète

d'un flux photo ou vidéo. On utilise des capteurs, car ils peuvent souvent être regroupés et ça fait beaucoup plus que juste sentir son environnement. Par exemple, votre téléphone est un appareil qui possède plusieurs capteurs : caméra, accéléromètre, GPS, etc...), mais votre téléphone n'est pas juste un capteur.

Dans tous les cas, qu'il s'agisse d'un capteur autonome ou un appareil, la première étape est toujours la même : quelque chose capte les informations de son environnement.[5]

### **I.4.2. Connectivité**

Ensuite, l'information est envoyée dans l'internet, mais elle a besoin d'un moyen d'y parvenir.

Les capteurs/appareils peuvent être connectés à l'internet au travers d'une variété de méthodes incluant : réseau cellulaire, satellites, WIFI, Bluetooth, les réseaux LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) ou une connectivité directe à internet via Ethernet.

Chaque option possède son lot de contrainte que ce soit en consommation d'énergie ou en bande passante. Choisir la meilleure connectivité dépend des fonctionnalités et de l'application de l'objet connecté. Au final, toutes les options offrent le même résultat : envoyer les informations dans l'internet.[5]

### **I.4.3. Outils de traitement de l'information**

Une fois l'information dans l'internet, des logiciels réalisent un traitement sur ces dernières.

Le traitement peut être très simple, comme vérifier si la température détectée est comprise dans une fourchette acceptable définie précédemment. Il se

peut que le traitement soit également très complexe, comme identifier un objet particulier au travers d'une vidéo lue par un ordinateur.[5]

#### **I.4.4. Interface utilisateur**

L'information est tout d'abord rendue utile et lisible pour l'utilisateur final. Elle peut prendre vie sous forme d'alerte à l'utilisateur (email, sms, notification, etc...). Un SMS est envoyé à l'utilisateur lorsqu'un intrus est détecté dans la maison, par exemple.

Aussi, les utilisateurs disposent souvent d'une interface qui leur permet de vérifier de manière proactive dans le système. Par exemple, notre utilisateur va pouvoir voir un flux vidéo de l'intérieur de sa maison sur une application mobile ou une page web.

En fonction du champ d'application de l'objet connecté, le flux d'information n'est pas toujours un envoi à sens unique. L'utilisateur peut aussi être en mesure de déclencher une action sur le système. Par exemple, l'utilisateur peut ajuster la température de la chambre froide lorsqu'il décèle une vague de chaleur grâce aux capteurs, directement depuis son téléphone.

D'autres actions sont déclenchées automatiquement. Ainsi, l'utilisateur peut sur certains systèmes créer des scripts qui se déclencheront grâce à des règles prédéfinies. Ainsi, au lieu de vous alerter directement, le système de l'objet connecté pourra alerter directement les autorités compétentes.[5]

## I.5. Les technologies de communication des objets connectés

### I.5.1. Les technologies de courte portée

#### 1.5.1.1. Le protocole NFC

Les protocoles **Near Field Communication (NFC)** sont fondés sur la technologie d'identification par radio fréquence RFID (Radio frequency identification). Les objets équipés d'une puce électronique RFID possèdent une « étiquette » et sont automatiquement identifiés par radio fréquence lorsqu'ils se trouvent à proximité d'un équipement appelé interrogateur. Le protocole NFC est un standard de communication radiofréquence sans contact à très courte distance, de l'ordre de quelques centimètres, permettant une communication simple entre deux équipements électroniques. Il est par exemple utilisé dans de nombreuses entreprises pour les badges d'accès aux locaux, ou comme support d'un abonnement à un réseau de transport en commun.[6]

#### 1.5.1.2. Bluetooth

Inventé en 1994 par la société suédoise Ericsson, le protocole **Bluetooth** est un standard de transfert de données sans fil. Il utilise une faible bande passante, ce qui ne lui permet de transférer que peu de données à de courtes distances, mais est également très peu énergivore. Inclus à l'immense majorité des téléphones mobiles, afin de réaliser une communication entre deux téléphones, ou entre un téléphone et un objet connecté de nature différente, il possède désormais de nombreuses applications : oreillette de discussion téléphonique sans fil, montre intelligente, moniteur de fréquence cardiaque, enceinte portative de diffusion de musique, station météo, thermostat, etc. Ce protocole est également utilisé sur des capteurs statiques appelés beamers pour mesurer des flux, par exemple des clients dans un magasin. [6]

### **I.5.1.3. Zigbee**

ZigBee est un protocole de haut niveau permettant la communication de petites radios, à consommation réduite, basée sur la norme IEEE 802.15.4 pour les réseaux à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPANs).

On retrouve ce protocole dans des « environnements embarqués » où la consommation est un critère de sélection. Ainsi, la domotique et les nombreux capteurs et télécommandes qu'elle implémente apprécie particulièrement ce protocole en plein essor et dont la configuration du réseau maillée se fait automatiquement en fonction de l'ajout ou de la suppression de nœuds. On retrouve aussi ZigBee dans les contrôles industriels, les applications médicales, les détecteurs de fumée...[7]

## **1.5.2. Les technologies de moyenne portée**

### **1.5.2.1. Z-Wave**

Z-Wave communique en utilisant une technologie radio de faible puissance dans la bande de fréquence de 868 MHz ; elle est conçue spécifiquement pour les applications de domotique et ce qu'on appelle l'Habitat communicant.

Le protocole radio Z-Wave est optimisé pour des échanges à faible bande passante (entre 9 et 40 kbit/s) et des appareils sur pile ou alimentés électriquement, par opposition au Wi-Fi par exemple, qui est prévu pour des échanges à haut débit et sur des appareils alimentés électriquement uniquement. [8]

### 1.5.2.2. Wi-Fi

Le **Wi-Fi** désigne un ensemble de protocoles de communications sans fil, permettant des connexions à **haut débit** sur des distances de 20 à 100 mètres. Il s'agit d'un réseau local sans fil très énergivore, qui ne convient que pour les appareils branchés sur secteur ou dont l'alimentation électrique peut être aisée et fréquente. Il permet de transférer rapidement beaucoup de données. Il existe différentes normes Wi-Fi correspondant à une portée et un débit variables. [6]

### 1.5.2.3. Bluetooth Low Energy

Le Bluetooth Low Energy ou BLE est une variante du Bluetooth classique qui est apparue en 2010 avec la version 4 du standard. Son nom officiel est Bluetooth Smart. Il est très différent du Bluetooth classique car il a été conçu pour satisfaire deux objectifs particuliers.

Le premier objectif c'est un coût faible et une grande simplicité d'emploi. Avec un protocole simple et un débit faible, le Bluetooth Smart ne demande pas de puissance de calcul importante et est facile à mettre en oeuvre. En supprimant le processus d'appairage complexe du Bluetooth Classic, il est beaucoup plus simple pour les utilisateurs, et peut aussi être exploité dans des systèmes totalement automatisés. [9]

## 1.5.3. Les technologies de longue portée

### 1.5.3.1. Réseaux cellulaires mobiles

Fournis par les opérateurs de télécommunication, les **réseaux cellulaires mobiles**, basés sur la technologie GSM, permettent de transférer une quantité importante de données à une longue portée. Ils nécessitent l'installation d'une carte SIM dans l'appareil à connecter, afin d'identifier celui-ci sur le réseau de communication. Succédant aux premières générations des standards pour la

téléphonie mobile, qui ont progressivement permis d'accroître le débit de communication, la quatrième génération (4G) permet une communication mobile à très haut débit.[6]

### 1.5.3.2. Réseaux radio bas-débit

**a- Sigfox** est un réseau de communication radio sans fil à bas débit et à basse fréquence, d'une portée moyenne de 10 kilomètres en milieu urbain et de 30 à 50 kilomètres en milieu rural. Il est également une technologie créée par l'entreprise du même nom. Ce réseau convient à des appareils à basse consommation, dotés ainsi d'une grande autonomie, qui transfèrent une faible quantité de données. [6]

**b- LoRa** est un protocole de communication radio à très basse consommation, qui permet de transmettre des données en petite quantité, à des distances de 2 à 5 kilomètres en ville et jusqu'à 45 kilomètres en milieu urbain. À l'instar de Sigfox, il s'agit d'un dispositif qui convient particulièrement aux équipements peu énergivores n'émettant que périodiquement, notamment les capteurs. [6]

### 1.5.3.3. Réseaux propriétaires

Certains grands groupes industriels, dotés de moyens financiers conséquents, préfèrent installer leur propre réseau de communication. Le déploiement de ces réseaux dits privés ou propriétaires est particulièrement intéressants en cas de déploiement à très grande échelle d'appareils communicants.[6]

Le système de comptage évolué à destination des clients résidentiels de gaz naturel se fonde également sur un protocole radio à longue portée spécifique et propriétaire : une bande de fréquence radio réservée (169 MHz) est utilisée

pour assurer la communication des données entre les compteurs et les concentrateurs de données, eux-mêmes chargés de transmettre au système d'information central les informations qu'ils ont collectées. [6]

## **I.6. Fonctionnement de l'IoT**

L'Internet of Things (IoT) permet l'interconnexion des différents objets intelligents via l'Internet. Ainsi, pour son fonctionnement, plusieurs systèmes technologiques sont nécessaires. Citons quelques exemples de ces technologies. « L'IoT désigne diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc.) qui permettent d'identifier des objets, de capter, stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques, mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels. ».[10]

### **I.6.1. RFID (Radio Frequency Identification)**

Le terme RFID englobe toutes les technologies qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes. C'est une technologie qui permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio.[11]

Il s'agit d'une méthode utilisée pour transférer les données des étiquettes à des objets, ou pour identifier les objets à distance. L'étiquette contient des informations stockées électroniquement pouvant être lues à distance.[12]

### **I.6.2.WSN (Wireless Sensor Network)**

C'est un ensemble de noeuds qui communiquent sans fil et qui sont organisés en un réseau coopératif. Chaque noeud possède une capacité de traitement et peut contenir différents types de mémoires, un émetteur-récepteur RF et une source d'alimentation, comme il peut aussi tenir compte des divers capteurs et des actionneurs. Comme son nom l'indique, le WSN constitue alors

un réseau de capteurs sans fil qui peut être une technologie nécessaire au fonctionnement de l'IoT.[13]

### **I.6.3. M2M (Machine to Machine)**

C'est « l'association des technologies de l'information et de la communication avec des objets intelligents dans le but de donner à ces derniers les moyens d'interagir sans intervention humaine avec le système d'information d'une organisation ou d'une entreprise ».[14]

## **I.7. Domaines d'activité**

Les objets connectés se multiplient de façon exponentielle et amènent avec eux de multiples applications.

Le marché mondial de l'IoT est immense et détient un large potentiel d'applications dans tous les secteurs. Ces nouvelles applications révolutionnent les usages et impactent le quotidien des individus, des entreprises et des territoires.

Voici quelques secteurs où l'Internet des Objets a eu un impact significatif.

### **I.7.1. L'internet des objets dans le domaine de la santé**

L'Internet des objets, avec les différents capteurs embarqués, soit à travers les Wearables ou des capteurs proches du corps, forment aujourd'hui une source d'information en temps réel d'une valeur inestimable pour l'innovation dans ce secteur.

Les objets connectés peuvent servir à réduire quelques éléments de dépenses pour les remplacer par d'autres, il permet aussi de favoriser l'hospitalisation à domicile, qui assurera le contrôle et le suivi des signes cliniques des patients par

la mise en place des réseaux personnels de surveillance, ces réseaux seront constitués de bio-captures posés sur le corps des patients ou dans leurs lieux d'hospitalisation. Cela facilitera la télésurveillance des patients qui permettras de réduire les erreurs médicales, optimiser la consommation de médicaments ou encore leur prise régulière, et même encourager la prévention de certaines maladies, l'internet des objets permettre aussi de suivre sa tension, son rythme cardiaque, la qualité de sa respiration et suivie de leur diabète et encore sa masse grasseuse, et d'autres objets connectés médicaux , brosse a dent connectée ou encore, le scanner qui calcule le nombre de calories dans son assiette.

Le *Bluetooth* permet ainsi des applications facilitant l'analyse et le suivi médical du patient.

Les médecins peuvent désormais suivre un patient à distance et réagir en temps réel s'il y a une urgence. A terme, l'utilisation de ces nouveaux outils permettra la détection précoce d'éventuelles maladies et l'accroissement de l'efficacité des traitements proposés aux patients suivant l'historique des données fournies aux médecins.[16]

### **I.7.2. L'internet des objets dans le domaine des sportifs**

Lorsqu'on pense aux objets connectés pour sportifs le premier qui vient à l'esprit est le désormais incontournable bracelet connecté. Les marques et les modèles sont nombreux mais tous ont pour but de donner les statistiques à des sessions de sport : kilomètres parcourus, calories brûlées, temps d'entraînement... certains y rajoutent des statistiques sur le rythme cardiaque et d'autres données de santé plus ou moins fiables. Car il faut faire attention : pour ce qui est de ces données de santé les capteurs ne sont pas totalement fiables.

Mais le bracelet connecté n'est en réalité qu'une application parmi tant d'autres de ce que permet la technologie aujourd'hui. Il existe, par exemple, des

ballons connectés pour analyser les entraînements de basket (développés par Wilson), des raquettes de tennis connectées pour surveiller les performances en temps réel (développées par Babolat) et même des capteurs similaires pour les crosses de hockey sur glace et pour les golfeurs. [17]

### 1.7.3. L'internet des objets dans le domaine domotique

Les objets connectés sont une réelle révolution, ils permettent de la rendre connectée, d'où le nom très utilisé de smart home des nombreux dispositifs de sécurité détecteur de fumée et gaz, serrure connecté, l'électroménager comme réfrigérateur connectée, lampe connectée, cadre lumineux, plante connecté. L'internet des objets change les modalités d'accès au réseau et produit de nouvelles interactions homme-machine.[18]

Plusieurs villes dans le monde sont déjà équipées de capteurs de stationnement, d'éclairages intelligents etc. (Le boulevard Victor Hugo à Nice a été équipé de plus de 200 capteurs qui permettent de collecter des données centralisées sur une plateforme Cisco). Les usages sont divers :

- Etre informé en temps réels des places de parking disponibles
- Réguler l'intensité des éclairages en fonction des mouvements détectés
- Maitriser les pics de pollution
- Alerter les services concernés sur le niveau de remplissage des conteneurs.[19]

#### I.7.4. L'internet des objets dans le domaine de L'automobile

Les applications présentées dans cette section pourraient très bien être réparties entre celles qui ont trait à l'environnement ou à la vie quotidienne. Le terme « véhicule » est général et englobe les voitures de tourisme, les engins agricoles, les bateaux...

Depuis quelques années, la sécurité routière est devenue un enjeu important au niveau politique et économique. Les mesures politiques récentes avec l'installation de radars automatiques ont pour objectif de diminuer le nombre de blessés et de morts sur les routes. A cela viennent s'ajouter des données plus économiques se rapportant aux coûts engendrés par les nombreux accidents même sans victime. De nombreux travaux de recherche visent à diminuer le nombre d'accidents soit en proposant des dispositifs d'aide à la conduite soit en concevant des systèmes d'alerte et d'anticipation.

En équipant en masse les voitures de capteurs sans fil, les conducteurs des voitures à proximité d'un accident seraient avertis et seraient automatiquement redirigés vers un itinéraire de déviation. Cela aurait pour conséquence positive de diminuer le nombre de voitures et donc de personnes impliquées. De plus, les véhicules accidentés pourraient émettre un appel vers le poste de secouristes le plus proche en indiquant l'état de santé de ses passagers. Cette action résulterait en une intervention rapide et bien ciblée des secours.

A titre préventif, les conducteurs pourraient être alertés d'un ralentissement impromptu du trafic. Actuellement, les systèmes de navigation par GPS peuvent servir à réguler le trafic en proposant de nouveaux itinéraires au regard de la circulation. Ce dispositif pourrait être intégré dans des capteurs évolués offrant les autres fonctionnalités qui viennent d'être citées. Toutes les informations recueillies par tous les capteurs des voitures pourraient être traitées

anonymement dans un centre en charge de la gestion des feux tricolores. La durée de ceux-ci serait modifiée en temps réel afin de résorber dès leur naissance un embouteillage ou un ralentissement.[20]

### **1.7.5. L'internet des objets dans le domaine de l'industrie**

Le déploiement de L'IoT dans l'industrie sera certainement un grand support pour le développement de l'économie et le secteur des services, puisque L'IOT permettra d'assurer un suivi total des produits, de la chaîne de production, jusqu'à la chaîne logistique et de distribution en supervisant les conditions d'approvisionnements. Cette traçabilité de bout en bout facilitera la lutte contre la contrefaçon, la fraude et les crimes économiques transfrontaliers.[21]

Les RCSF peuvent donner des indicateurs sur l'état d'une machine ou sur le fonctionnement de l'ensemble d'une chaîne de production. Grâce au mode de transmission sans fil, un capteur peut fournir des données à partir d'emplacements inaccessibles par d'autres moyens. La tendance actuelle de miniaturisation des capteurs ouvre de nombreuses perspectives comme celle d'associer un capteur à une pièce pour obtenir son niveau d'usure au cours du temps. En plaçant des capteurs tout au long d'une chaîne de production, on peut imaginer les informations qui pourraient être consultables en temps réel. Ces données pourraient concerner la quantité et la qualité de la production à différents points de la chaîne, indiquer la cause des retards (pannes, reconfiguration de machine, etc.).[22]

### **1.7.6. Les objets connectés dans le domaine de l'énergie**

Dans le domaine de l'énergie, les objets connectés permettent d'offrir de nouveaux usages à tous les types de clients :

Dans le cas des gestionnaires de réseaux par exemple, le déploiement de capteurs de température, d'humidité, de tension, d'intensité, d'inclinaison, de chocs, etc. sur l'ensemble des réseaux de transport et de distribution permet de renforcer considérablement l'observabilité. Croiser ces données avec d'une part les historiques enregistrés et d'autre part les données de plus en plus riches relevées par les compteurs évolués permet d'améliorer la vision temps réel de l'ensemble du réseau jusqu'au point de livraison. Des systèmes de décision de plus en plus autonomes mettent en œuvre des fonctions avancées de pilotage du réseau et répondent à l'exigence d'un pilotage toujours plus automatisé et dynamique. Cela permet de gérer les incidents sur les réseaux de façon partiellement automatique (détection, localisation, correction), de mieux anticiper l'obsolescence et les pannes des équipements ou de prévoir la production issue des énergies de sources renouvelables à différents pas de temps.[23]

#### **1.7.7. Les objets connectés dans le domaine militaire :**

Comme dans le cas de plusieurs technologies, le domaine militaire a été un moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux des capteurs sont des caractéristiques qui rendent ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine.

Comme exemple d'application dans ce domaine, on peut penser à un réseau de capteurs déployé sur un endroit stratégique ou difficile d'accès, 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). Des tests concluants ont déjà été réalisés dans ce domaine par l'armée américaine. [22]

### **I.7.8. Les objets connectés dans l'environnement**

Le contrôle des paramètres environnementaux par les réseaux de capteurs peut donner naissance à plusieurs applications. Par exemple

- Les réseaux de capteurs sans fils aident à l'étude de phénomènes complexes tels que les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les ouragans et les tsunamis. Ils fournissent des données permettant d'établir des modèles de prévision. Pour quelques applications présentées dans cette section, des systèmes filaires existaient déjà mais étaient plus difficiles à déployer et n'offraient parfois pas autant de fonctionnalités.
- La prévention des risques d'incendie ou d'inondation fait partie des domaines où les réseaux de capteurs sans fils apportent les plus grandes perspectives. Dans ce type d'applications, les capteurs sans fil sont en charge de la détection de tous phénomènes anormaux observés dans leur périmètre d'action. Il peut s'agir d'une brusque augmentation de la température ou du taux d'humidité caractéristique d'un début d'incendie ou d'inondation.
- L'observation des animaux dans leur habitat prend une place importante dans les applications environnementales. Les capteurs sans fil déployés dans une réserve naturelle donnent des informations de localisation sur les animaux, leur état de santé, sur leur intégration dans un nouvel habitat. Les réseaux de capteurs sans fils ont permis l'observation d'oiseaux sans troubler leur habitude en évitant une intervention humaine. [22]

### **I.7.9. Les objets connectés dans le domaine d'éducation**

L'IoT dans l'éducation Les solutions IoT promettent de rendre les écoles et les universités plus intelligentes ainsi que plus efficaces dans leurs actions.

L'IoT a le potentiel de redéfinir la façon dont les étudiants, les enseignants et les administrateurs interagissent et se connectent à la technologie et aux équipements dans l'environnement de leur salle de classe, participant ainsi à l'amélioration du processus d'apprentissage et des résultats éducatifs tout en réduisant les coûts. Des exemples de solutions IoT pour l'éducation comprennent:

- Tableaux blancs intelligents et autres médias numériques interactifs pour rassembler et analyser des données que les enseignants et les étudiants peuvent utiliser en classe - ou n'importe où et quand - optimisant le processus éducatif et ses résultats.
- Des solutions intelligentes telles que des capteurs de température et de l'équipement pour le chauffage, la ventilation et l'air conditionné pour réduire la consommation d'énergie et automatiser la gestion des opérations.
- Des cartes d'étudiant intelligentes, des dispositifs de suivi des présences, des systèmes de suivi des autobus scolaires et des capteurs de stationnement qui contrôlent les allées et venues des étudiants.
- Serrures de porte sans fil, caméras de surveillance connectées et systèmes de reconnaissance faciale qui assurent la sécurité des enseignants, des étudiants et du personnel.
- Des programmes de recherche améliorés avec des systèmes plus avancés et automatisés dans les principaux domaines d'étude, comme la médecine, l'agriculture et l'ingénierie.[24]

### **I.7.10. Les objets connectés dans le domaine d'élevage**

Élevage de précision au service de l'éleveur LITUUS propose un service d'aide à la décision pour les élevages de bovins basé sur des objets connectés haute performance.

Un collier connecté et intelligent analyse et informe l'éleveur 24h/24 sur les cycles de reproduction et l'état de santé des animaux.

Le collier, posé sur chaque vache, collecte et transmet en permanence des données sur son activité et son état de santé.

Les données sont analysées par des algorithmes spécifiques pour cette activité. Ces algorithmes sont mises à jour régulièrement.

L'éleveur est informé en tout moment grâce à l'accès aux données de son troupeau sur son ordinateur, smartphone ou tablette via une plateforme web dédiée ou par des alertes reçues instantanément.

Des tiers, comme le vétérinaire ou les employés de l'exploitation, sont connectés à l'éleveur à travers la plateforme web. L'éleveur partage les données avec ces acteurs selon son choix.[25]

### **I.7.11. Les objets connectés dans le domaine de l'agriculture**

L'agriculture est constamment en évolution, et l'évolution dont nous allons parler implicitement dans le deuxième chapitre est l'agriculture confrontée, nous allons parler de l'impact que l'internet des objets a eu sur ce domaine.

## I.8. Les différents éléments d'un objet connecté

### I.8.1. Le microcontrôleur

#### I.8.1.2. Définition d'un Microcontrôleur

Un microcontrôleur se présente sous la forme d'un circuit intégrés qui contient en interne, l'équivalent de la structure complète d'un micro-ordinateur. C'est-à-dire qu'il rassemble dans un même boîtier un microprocesseur, plusieurs types de mémoires et des périphériques de communication (Entrées-Sorties).[26]

Les microcontrôleurs améliorent l'intégration et le coût (lié à la conception et à la réalisation) d'un système à base de microprocesseur en rassemblant ces éléments essentiels dans un seul circuit intégré. Nous parlons alors de « système sur une puce » (en anglais : « System on Chip »).[27]



**Figure 8.1 – Microcontrôleur [27]**

#### I.8.1.2. Domaines d'application

Les microcontrôleurs sont fréquemment utilisés dans les systèmes embarqués, de multiples industries et applications, notamment dans les domaines de l'automatisation, de la fabrication, de la robotique, de l'automobile,

de l'éclairage, de l'énergie intelligente, de l'automatisation industrielle, des communications et de l'internet des objets [27].

### I.8.1.3. Les différents éléments composants le microcontrôleur

Un microcontrôleur dispose d'un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. La figure suivante montre ces éléments dont voici leurs fonctions :

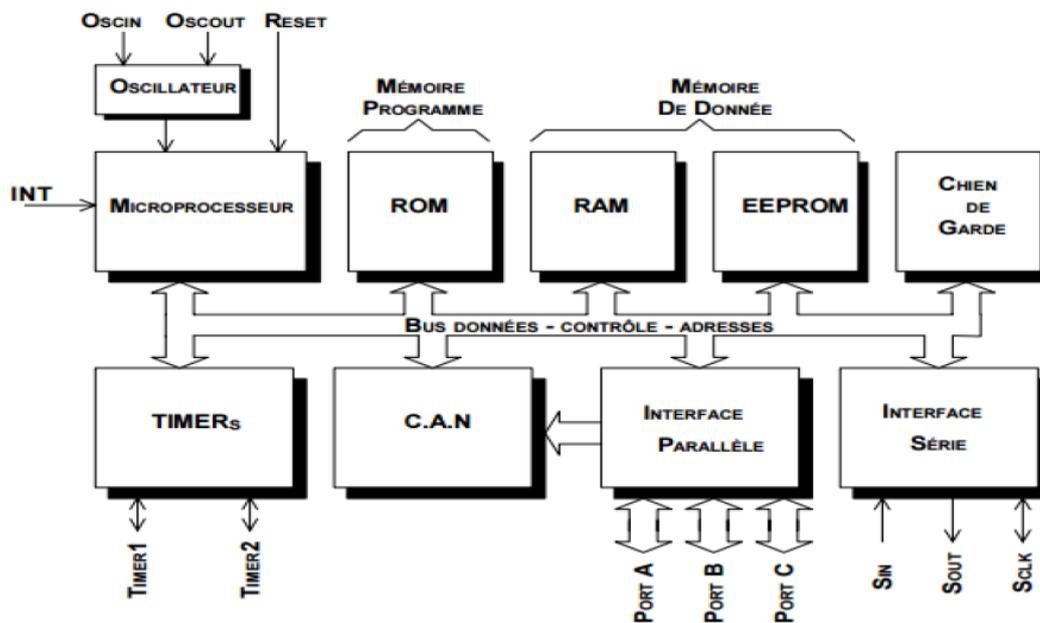


Figure 8.2 : Architecture interne d'un microcontrôleur [27]

- **Le processeur ou CPU (Central Processing Unit)** : Est le cœur du microcontrôleur. C'est l'équivalent du microprocesseur avec une puissance généralement moindre, la vocation n'étant pas la même. C'est cette unité centrale qui exécute le programme et pilote ainsi tous les autres éléments. Elle dispose généralement de deux connexions avec l'extérieur, une pour son horloge et une pour sa réinitialisation ou reset.[27]
- **Les mémoires** : Afin de stocker un programme, des données temporaires ou des données persistantes ; le microcontrôleur dispose de

plusieurs types de mémoires, ayant chacune des caractéristiques particulières. Parmi ces types nous trouvons [27] :

**a. Mémoires programmes** : Ce dispositif contient les instructions du programme que doit exécuter le microprocesseur. Ce type de mémoire (appelée mémoire morte), est uniquement accessible en lecture. Sa programmation nécessite une procédure particulière et un matériel adéquat. Il en existe différents types selon leur mode de programmation :

- ◆ La mémoire morte (ROM) : est une mémoire dont le contenu est conservé même en cas de coupure de courant. Elle contient le programme que va exécuter le processeur.
- ◆ PROM: mémoire morte programmable électriquement une seule fois par le développeur (appelée aussi OTPROM).
- ◆ EPROM & EEPROM : se sont de type mémoire morte effaçable électriquement et programmable dont la différence entre eux est que la première nécessite de retirer de l'appareil et la soumettre à un rayonnement ultra-violet pour effacer la mémoire (aussi appelée UVEPROM), par contre la mémoire EEPROM peut être effacée par un simple courant électrique sans qu'il soit nécessaire de la retirer de l'appareil qui la contient.
- ◆ La mémoire flash (flash-ROM) : c'est une variété de mémoire EEPROM rapide et effaçable par secteur complet, et non par case individuelle. On trouve plusieurs interfaces pour les adresser. C'est ce type de mémoire qui est souvent utilisé dans les microcontrôleurs pour enregistrer le programme qui va gérer le fonctionnement du système technique.

**b. Mémoires de données** : Ce dispositif permet de mémoriser temporairement les données générées par le microprocesseur pendant les

différentes phases du traitement numérique (résultats d'opérations, états des capteurs...). Ces mémoires sont accessibles en écriture et en lecture. On en trouve 2 types :

- ◆ La mémoire vive (RAM) : elle permet le stockage des données temporairement qui sont nécessaires à l'exécution du programme de gestion du système technique. Elle est dite "Volatile" car ces données ne seront plus disponibles si le système technique est mis hors tension.
  - ◆ La mémoire morte (EEPROM) : non-volatile (données conservées en cas de coupure de l'alimentation) ayant un temps d'écriture assez élevé (quelques ms) par rapport au temps de lecture qui est assez faible (quelques ns).
- **Les Bus** : Un bus est un ensemble de lignes, transportant des informations codées binaires. Chacune de ces lignes est affectée d'un poids binaire. C'est par l'intermédiaire de ces lignes que s'effectuent les échanges entre les différents éléments du système. On distingue 3 types de bus : Le bus de données, Le bus d'adresse, Le bus de contrôle [28].
- **Les périphériques** : Sont des circuits électroniques intégrés au microcontrôleur capables d'effectuer des tâches spécifiques. On peut mentionner entre autres :
- ◆ Les convertisseurs analogiques-numériques (CAN) (donnent un nombre binaire à partir d'une tension électrique) ;
  - ◆ Les convertisseurs numériques-analogiques (CNA) (effectuent l'opération inverse) ;
  - ◆ Les générateurs de signaux à modulation de largeur d'impulsion (MLI, ou en anglais, PWM pour Pulse Width Modulation);

- ◆ Les timers (compteurs d'impulsions d'horloge interne ou d'événements externes) ;
- ◆ Les chiens de garde (watchdog) ;
- ◆ Les comparateurs (comparent deux tensions électriques) ;
- ◆ Les contrôleurs de bus de communication (UART, IIC, SSP, CAN, flexray, USB, Ethernet, etc.) [29].
- ◆ Les entrées/sorties : Permettent au microcontrôleur de communiquer avec le monde extérieur. C'est donc là que vont être connectés les claviers, afficheurs, poussoir, moteurs, relais, etc. Que va utiliser l'application [27].

#### **I.8.1.4. Critères de choix d'un microcontrôleur**

Les critères principaux que nous devons retenir pour choisir un microcontrôleur sont les suivants [26] :

- ◆ Le ou les circuits de la famille doivent être facilement disponibles sur le marché;
- ◆ Le prix des circuits doit être à la portée;
- ◆ La programmation de la mémoire morte interne doit être facile ;
- ◆ Il est important de considérer la vitesse maximale, la quantité de RAM ou de ROM ;
- ◆ La consommation d'énergie et les contraintes et le soutien au développement ;
- ◆ Et enfin, les outils de développement doivent être aussi peu coûteux que possible ;

### I.8.2. Différentes modèles de cartes à microcontrôleur

Cette catégorie de cartes renferme un microcontrôleur complet, c'est à dire l'association en un seul circuit d'une unité centrale de microprocesseur, de mémoire morte, de mémoire vive, de mémoire EEPROM, d'une interface d'entrée/sortie série et de toute la logique nécessaire pour faire fonctionner tout cela.

Il existe plusieurs types de cartes à microcontrôleur, nous citons à titre d'exemple juste les deux suivants : STM32F4Discovery et Raspberry Pi.

#### A. La carte STM32F4Discovery :

Permet aux utilisateurs de développer facilement des applications avec un microcontrôleur haute performance STM32F4 muni d'un processeur ARM Cortex-M4 32 bits. Elle inclut tout ce qui est nécessaire pour les débutants ou pour les utilisateurs expérimentés pour commencer rapidement à effectuer des développements.

Peu coûteuse et facile à utiliser, la carte STM32F4Discovery aide à découvrir les fonctionnalités haute performance du microcontrôleur STM32F4 et à développer facilement des applications.

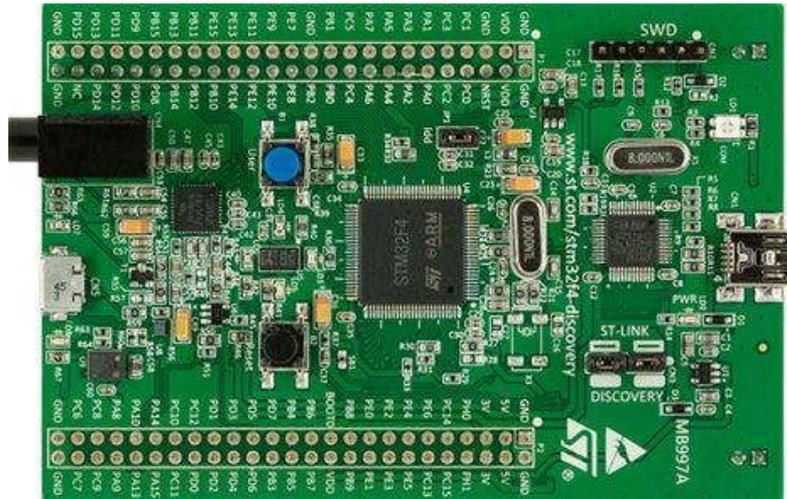
#### - Caractéristiques de la carte STM32F4Discovery

La carte STM32F4Discovery offre les caractéristiques suivantes :

Un microcontrôleur STM32F407VGT6 avec processeur ARM Cortex-M4 32 bits doté de :

- une mémoire Flash de 1 Mo,
- une mémoire vive de 192 Ko,
- une FPU,
- Un ST-LINK/V2 intégré.

- Alimentation de la carte :
- par bus USB,
- par alimentation externe : 3 V ou 5 V.
- Un accéléromètre à 3 axes ST MEMS LIS3DSH,
- Un capteur audio (microphone) digital omnidirectionnel ST MEMS MP45DT02
- Un DAC audio avec haut-parleur de classe D intégré.
- Huit LEDs :
- LD1 (rouge/vert) pour la communication USB,
- LD2 (rouge) pour la mise sous tension 3.3 V,
- Quatre LEDs Utilisateur : LD3 (orange), LD4 (vert), LD5 (rouge) et LD6 (bleu),
- 2 LEDs USB OTG (USB On-The-Go) :
- LD7 (vert) VBUS,
- LD8 (rouge) surintensité.
- Deux boutons-poussoirs (utilisateur et réinitialisation).
- Interface USB OTG avec connecteur micro-AB.
- En-têtes d'extension pour les E/S pour une connexion rapide à la carte.
- Logiciel gratuit, complet et comprenant une variété d'exemples, constituant le package logiciel STM32CubeF4.



**Figure 8.3 : STM32F4Discovery [30]**

## **B. La carte Raspberry Pi 3 modèle B**

Dix fois plus puissante que l'originale, la Raspberry Pi 3 porte bien son nom de micro-ordinateur, depuis le lancement de son premier microcontrôleur, la marque à la framboise a rapidement conquis les makers et l'éducation.

La Raspberry Pi 3 est équipé d'un processeur SoC 64 bits Broadcom BCM2837 ARM Cortex A53 avec quatre cœurs à 1,2 GHz, pour une augmentation de la performance de l'ordre de 50% par rapport à la Pi2. La puissance de ce nouveau processeur permettra notamment à la Raspberry Pi 3 d'être utilisée pour des usages bureautiques ou de navigation web.

L'innovation majeure apportée à cette troisième version est sans conteste l'ajout d'une puce WiFi et du Bluetooth basse consommation. Gain de place donc (plus besoin de brancher des dongles WiFi et Bluetooth), et plus de ports USB pour raccorder différents périphériques !

En ajoutant ces deux fonctionnalités, Raspberry Pi positionne résolument cette nouvelle version sur le marché de l'Internet des Objets (IoT) et de la domotique. La Raspberry Pi 3 est d'ailleurs compatible avec la version IoT Core de Windows 10, un système d'exploitation conçu pour créer et de développer des applications orientées vers la domotique, la robotique et les objets connectés.

La carte Raspberry Pi 3 a les mêmes dimensions que la Raspberry Pi 2 et une configuration des connecteurs et composants quasiment identiques. « Le seul changement est la position des LED qui ont été déplacées de l'autre côté de la carte SD pour faire place à l'antenne WiFi. Tous les connecteurs sont à la même place et ont les mêmes fonctionnalités ». Vous pourrez donc utiliser vos accessoires Pi2 et B+ avec la RasPi 3.[31]

### I.83. Spécifications techniques du microcontrôleur Raspberry Pi 3

- Cadencement : 1,2 GHz
- Puce (SoC) : Broadcom BCM2837
- Processeur : ARM Cortex-A53 64 bits quatre cœurs
- Processeur graphique : Broadcom VideoCore IV double coeur (OpenGL ES 2.0, H.264 Full HD à 30 ips)
- Mémoire (SDRAM) : 1GB LPDDR2
- Nombre de ports USB 2.0 : 4
- Port extension : GPIO 40 pin
- Sorties vidéos : HDMI et RCA, plus 1 connecteur de caméra CSI
- Sorties audio : Stéréo Jack 3,5mm ou HDMI
- Sauvegarde des données : Carte MicroSD
- Connexion réseau : 10/100 Ethernet, WiFi 802.11n et Bluetooth 4.1 (BLE - Low Energy)
- Périphériques : 17 × GPIO
- Alimentation : 5v 2.5A via micro-USB
- Dimensions : 85,60 mm × 53,98 mm × 17 mm
- Poids : 45 g [31]

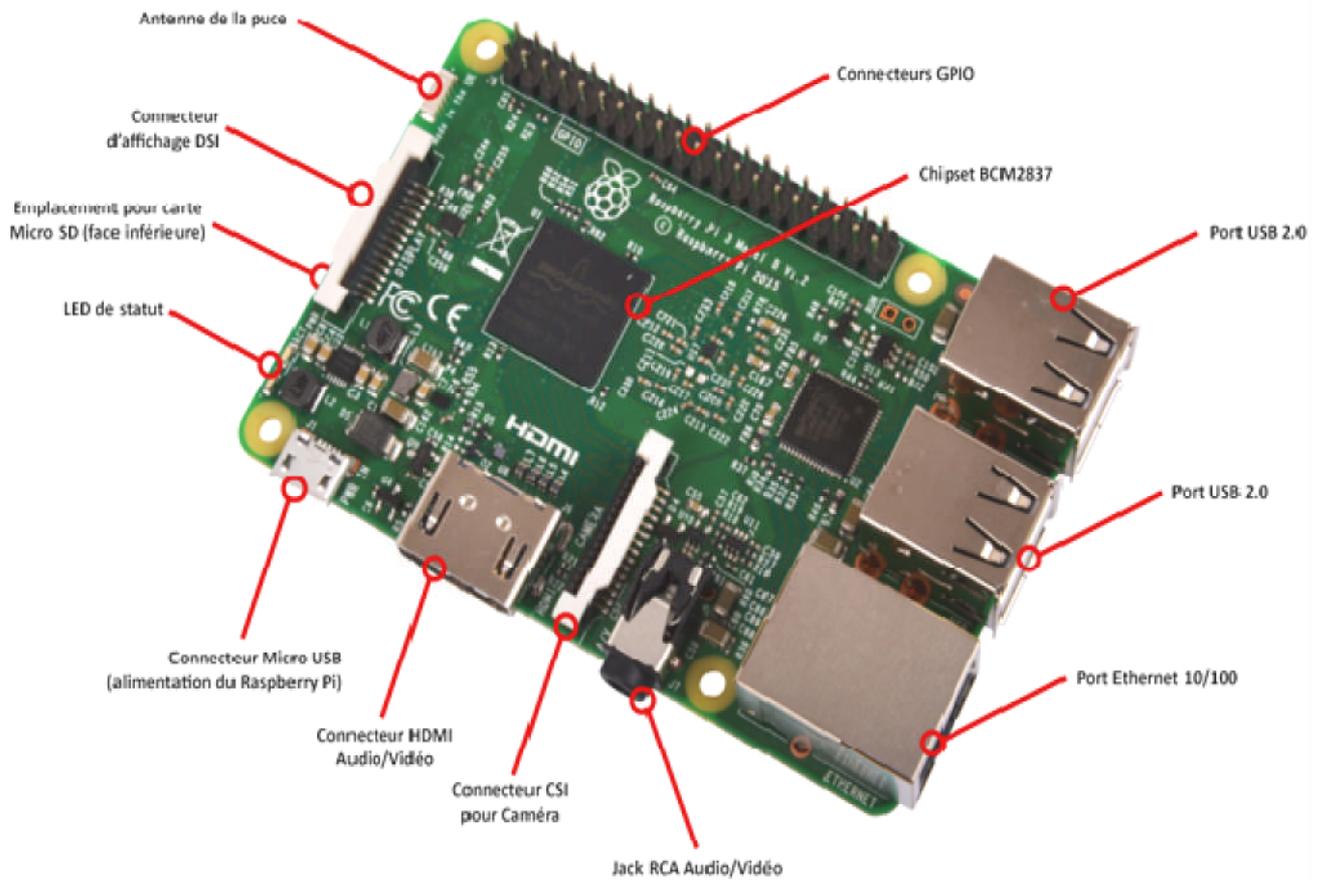


Figure 8.4 : La carte Raspberry Pi 3 model B [31]

**I.9. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques technologies de communication de l'internet des objets, leur fonctionnement, leur évolution technologique ainsi que leur architecture. Nous avons aussi cités quelques secteurs où l'internet des objets a eu un impact très important.

Nous avons montré – en plus– que cette technologie a contribué d'une façon efficace au développement et à rendre la vie des hommes plus aisée, elle est devenue surtout pour les pays développés un outil dont on ne peut plus s'en passer du fait que les choses qu'on voit et qu'on utilise dans notre vie de tous les jours sont désormais douées d'une intelligence remarquable dont on a cité dans ce chapitre.

# *Chapitre II*

*l'internet des objets*

*dans le domaine de*

*l'agriculture de*

*demain*

## **II.1. Introduction**

L'offre de matériel informatique pour les agriculteurs se diversifie : des drones survolant les champs pour analyser l'état d'un sol, des robots dispersant des pesticides de manière ciblée, des tracteurs réalisant une analyse centimétrique des sols, du matériel d'irrigation de précision, des colliers étudiant la condition physique des animaux d'élevage...

Le fonctionnement de ces outils se fonde sur une analyse numérique des données recueillies par différents capteurs (thermique, chimique, d'humidité...). Ces données sont ensuite traitées par les robots eux-mêmes mais elles sont aussi utilisables par d'autres dispositifs. Par exemple, un tracteur va pouvoir analyser la qualité d'un sol pour accomplir sa propre tâche mais les données extraites seront également exploitables pour un système d'irrigation numérique. Un écosystème technologique se superpose à la vie de la ferme, constitué d'objets connectés en « conversation » les uns avec les autres.[32]

## **II.2.1 Les technologie de l'internet des objets dans le domaine de l'agriculture de demain**

### **II.2.1. Drones**

Les drones peuvent avoir plusieurs usages dans l'agriculture qui justifient leurs utilisations. Ils favorisent le rendement, l'inspection rapide des parcelles ou leurs prises de mesure, l'évaluation instantanée des dégâts de gibiers ou climatiques, la surveillance des parcelles et un épandage facile. Cette arrivée des drones dans le secteur offre un gain de temps considérable, et permet de limiter des pertes de production.[33]

L'imagerie aérienne grâce à des capteurs multi spectraux haute résolution permet de connaître la vitalité des plantations en analysant la quantité de lumière qu'elles absorbent et réfléchissent.

L'agriculteur peut alors prendre les décisions qui s'imposent, en connaissant l'état précis de ses plants, et à un niveau micro-parcellaire.

Plusieurs caméras sont capables d'effectuer ces relevés, un capteur multi spectral, chargé d'analyser la zone survolée, et un autre capteur qui va quantifier l'intensité de lumière émise par le soleil. Les données de cette caméra peuvent ensuite être traitées via des logiciels adéquats.

Les drones deviennent alors de véritables outils d'aide à la prise de décision, en passant par les ailes volantes, aptes à parcourir de très vastes exploitations agricoles.

Le travail des drones pour l'agriculture ne s'arrête pas là, il existe des drones capable de pulvériser de façon extrêmement précise certains engrais et insecticide et des fongicide. L'utilisation de ce système est encore interdite dans quelques pays, mais dans d'autres c'est possible. Ce type de systèmes permet d'effectuer un épandage bien plus précis, adapté et économique, afin de rentrer pleinement dans l'agriculture de précision.[33]



**Figure 2.1 : Des drones agricoles [33]**

## **II.2.2. Les robots**

### **a- Agribots**

Les agribots sont des petits robots conçus pour accomplir certaines tâches dans le domaine de l'agriculture. Leurs utilisations sont nombreuses : injection d'engrais, arrosage des cultures, désherbage au laser, pulvérisation, récolte de légumes, etc.[34]

Les agribots sont en cours d'intégration dans le monde entier pour aider l'agriculture et améliorer la productivité dans tous les aspects de l'agriculture. Amener les robots dans le domaine agricole peut aider à résoudre de nombreux problèmes liés à l'agriculture. A moins que les humains, les machines peuvent fonctionner jour et nuit. Ils peuvent être ajustés pour tolérer la chaleur et l'humidité. Ce processus plus efficace et économique peut également aider à équilibrer les prix sans cesse croissants des produits alimentaires.[34]



**Figure 2.2 : Les Agribots [34]**

Des systèmes d'ensemencement et de désherbage robotisés peuvent aider les agriculteurs à augmenter les rendements. Dans le but de l'adoption de la robotique agricole à l'avenir est l'investissement croissant du gouvernement.

Cependant, des facteurs empêchent l'adoption de robots dans le secteur agricole, tels que les processus compliqués de l'agriculture et la relation compliquée avec le risque qui pèse sur la communauté agricole. De même, contrairement aux autres industries; l'agriculture est une frontière non conquise pour les robots pour certaines raisons, par exemple, les humains peuvent apprendre la culture mûre sur place, mais pour les robots, il s'agit d'une tâche mathématique et spatiale complexe nécessitant des capacités telles que l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique. La machine doit être intelligente pour reconnaître la récolte mûre. Mais si ces tendances se maintiennent au cours des prochaines années, les agriculteurs de toutes formes et de toutes tailles seront de plus en plus à la disposition des agriculteurs et les possibilités de croissance généralisée du marché de la robotique agricole pourraient augmenter considérablement.[35]

**b- le robot de binage**

La société française est spécialisée depuis 1938 dans les machines agricoles pour le travail des sols. Le robot Carré est un robot agricole connecté qui assiste les maraîchers dans leur travail quotidien, de l'entretien des cultures au rapport de synthèse de chaque parcelle, un robot de binage qui effectue un désherbage inter-rang et sur le rang, et peut être utilisé pour de nombreux types de cultures maraichères. D'une autonomie de 4h, il est silencieux et dispose d'un système de navigation qui lui permet de s'orienter.[36]



**Figure 2.3 : Le robot binage qui cartographie les cultures de salades [36]**

Le robot collecte les informations suivantes: température extérieure par capteur, hygrométrie de l'air par capteur, température et hygrométrie du sol à 10 cm par sonde, enherbement, nombre de pieds au calibre. En plus de l'entretien des cultures par binage, ce robot fournit une aide à la décision dans le suivi des cultures par acquisition et traitement d'indicateurs. L'agriculteur reçoit une analyse de ces informations sous forme de tableur Excel ou de cartes, consultables sur Smartphone ou tablette. Le robot peut également être interrogé sur une information en particulier.[36]

**c- Robot désherber de vignes**

Ce robot spécialisé pour la tonte est alimenté à l'énergie solaire. La définition des zones à traiter se fait via les coordonnées GPS de la parcelle, avec la possibilité de spécifier des endroits à éviter. Ecologique, il permet de réduire l'usage des désherbants et se pilote simplement avec une application par Smartphone.[37]



**Figure 2.4 : Robot désherber de vignes [37]**

**II.2.3. Les tracteurs intelligents sans conducteur**

Les tracteurs intelligents sont utilisés pour maximiser les rendements sur des tâches de grande échelle. Des tracteurs connectés peuvent, par exemple, intégrer directement des informations cartographiques pour un apport d'engrais sur mesure automatique. Leur équipement GPS permet d'optimiser les chemins au travers des cultures.[38]



**Figure 2.5 : Les tracteurs intelligents sans conducteur [38]**

#### **II.3.4. Serres automatisées**

Afin d'améliorer la conduite climatique et hydrique d'une culture de vigne, une étude a été menée dans une serre agricole. Le travail consiste à mettre en place une chaîne d'acquisition et de régulation climatique. Le système de pilotage est basé autour d'un micro-ordinateur (PC). L'acquisition des données est assurée par l'utilisation d'une carte d'acquisition et les commandes seront actionnées à travers cette carte.[40]

Les capteurs permettant de mesurer la température, l'humidité et le rayonnement solaire.

Après la phase d'installation et d'étalonnage des capteurs à l'intérieur et à l'extérieur de la serre, une base de données climatique de la serre est constituée. À partir de ce résultat une stratégie optimale de régulation climatique de la serre est élaborée. Le programme informatique développé a permis d'exploiter la serre durant toute l'année par le contrôle aussi bien du chauffage pendant les saisons froides de l'année que le refroidissement pendant la période estivale.

Les résultats enregistrés montrent que la température sous serre a été maintenue dans la plage désirée (20°C la nuit et 24°C le jour). Pour l'humidité relative, les enregistrements montrent qu'on pouvait la maintenir autour de 70%. Quant au rayonnement solaire les mesures ont montré qu'on pouvait les maintenir au dessus de 5000 lux.

L'ensemble des mesures obtenues a servi comme base d'informations sur les entrées, les sorties et les perturbations du processus. Les données pour modéliser la serre en utilisant l'aspect de modélisation physique des serres ont été exploitées. [40]

Le capteur est le premier maillon de toute chaîne de mesure. Il est l'organe de saisie de l'information concernant la grandeur à mesurer. Dans cette expérimentation trois types de capteurs ont été mis en place :

#### **a- Capteur de température**

C'est un capteur est utilisé pour mesurer la température dans les serres.

#### **b- Capteur d'humidité**

Le capteur utilisé pour la mesure de l'humidité, il assure la mesure de la température et de l'humidité.

#### **c- Capteur d'éclairage**

Le capteur mesure le rayonnement incident en photons entre 400 et 700 nm. La lumière dans cette bande passante est utilisée pour la photosynthèse.[40]

**II.3.5. La ferme connectée**

Les fermes connectées auront des capteurs intégrés à chaque étape du processus agricole et sur chaque équipement. Les capteurs installés dans les champs collecteront des données sur les niveaux de luminosité, les conditions du sol, l'irrigation, la qualité de l'air et les conditions météorologiques.

Ces données seront retournées à l'agriculteur ou directement aux capteurs sur le terrain. Des équipes de robots sillonneront les champs et travailleront de manière autonome pour répondre aux besoins des cultures et effectueront des fonctions de désherbage, d'arrosage, de taille et de récolte, guidées par leur propre collection de capteurs, de navigation et de données de culture. Les drones parcourent le ciel pour obtenir une vue à vol d'oiseau de la santé des plantes et des conditions du sol, ou généreront des cartes qui guideront les robots et aideront les agriculteurs à planifier les prochaines étapes de la ferme. Tout cela contribuera à augmenter la production agricole et à augmenter la disponibilité et la qualité des aliments.[41]

Smart Farming vise à identifier et adopter, à l'aide des nouvelles technologies, des systèmes de productions capables de mieux répondre aux besoins des agriculteurs :

- Augmentation de la production et des revenus des agriculteurs.
- Soutien du développement durable et de la sécurité alimentaire.
- Augmentation de la résilience/adaptation des agriculteurs face au changement climatique et autres aléas naturels ou économiques.
- Bonne gestion des ressources naturelles (terre et eau).

- Répondre à la demande changeante de la population, de l'aval de la chaîne de la production (transformateur). [41]

**Les caractéristiques d'un Smart Farming :**

- la collecte de données sur les exploitations agricoles;
- la simplification du travail opérationnel des agriculteurs;
- un réseau de fermes connectées: l'optimisation des activités et des interactions sur l'ensemble de la chaîne de valeur.
- Une aide pour les agriculteurs : Contrairement aux pratiques d'intensification ou de standardisation, le Smart Farming offre la possibilité de mettre en place une approche customisée pour chaque culture, plante et animal sans alourdir la charge de travail, tout en réduisant les intrants.

L'utilisation des technologies numériques dans le secteur de l'agriculture est un moyen pour produire plus avec moins d'intrants et moins d'efforts en liant les pratiques agricoles aux besoins personnalisés des cultures et du bétail.[42]

**II.4. Les capteurs**

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse, luminosité, ...). Le capteur est l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques.[43]

**II.4.1. Définition d'un capteur**

Système qui sert à détecter, sous forme de signal souvent électrique, un phénomène physique afin de le représenter.[44]

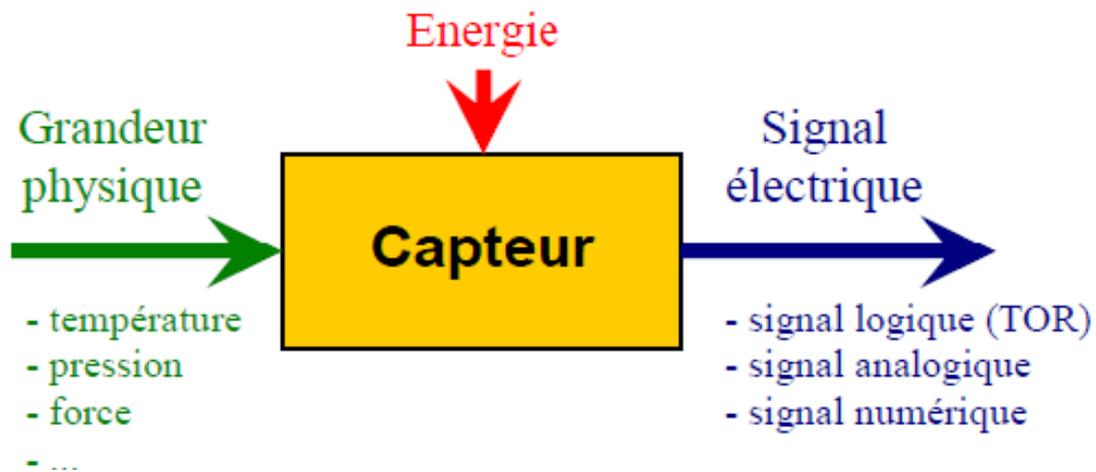


Figure 4.1 : Représentation fonctionnelle de capteur [44]

## II.4.2. Classification des capteurs

On peut classer les capteurs en 3 groupes et ce en fonction de la nature de l'information délivrée en sortie :

### II.4.2.1. Les capteurs analogiques

La sortie est une grandeur électrique dont la valeur est une fonction de la grandeur physique mesurée par le capteur. La sortie peut prendre une infinité de valeurs continues. Le signal des capteurs analogiques peut être du type sortie tension, sortie courant, règle graduée, cadran, jauge (avec une aiguille ou un fluide), etc.[45]

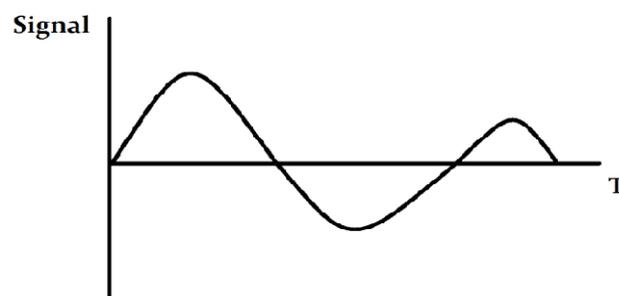


Figure 4.2 : Signal analogique [45]

### II.4.2.2. Les capteurs numériques

La sortie est une séquence d'états logiques qui, en se suivant, forment un nombre. La sortie peut prendre une infinité de valeurs discrètes. Le signal des capteurs numériques peut être du type train d'impulsions, avec un nombre précis d'impulsions ou avec une fréquence précise, code numérique binaire, bus de terrain, etc.[45]

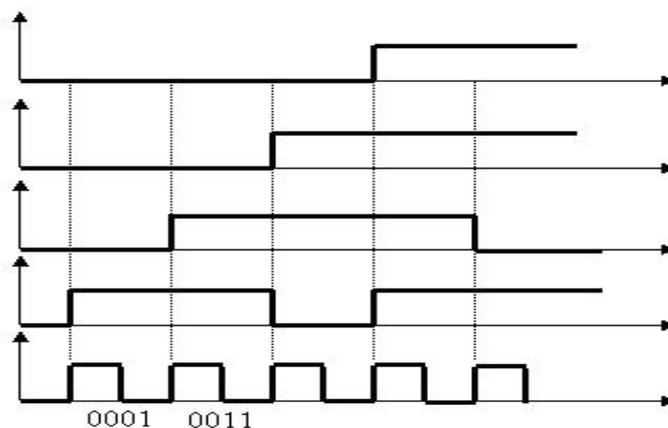


Figure 4.3 : Signaux numériques [45]

### II.4.2.3. Les capteurs logiques

Ou capteurs TOR. La sortie est un état logique que l'on note 1 ou 0. La sortie peut prendre ces deux valeurs. Il y a 4 types de capteurs logiques, le courant présent/absent dans un circuit, potentiel souvent 5 V/0 V, DEL allumée/éteinte, signal pneumatique (pression normale/forte pression), etc.[45]

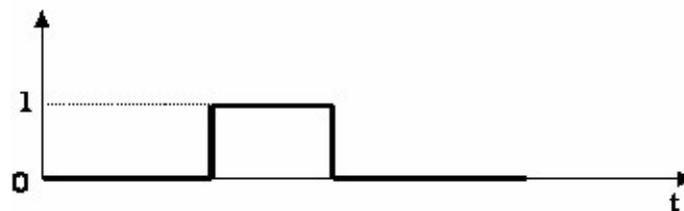


Figure 4.4 : Valeurs logique [45]

### II.4.3. Caractéristiques des capteurs

Les capteurs sont distingués par les caractéristiques suivantes [46] :

- **Étendue de mesure (Pleine 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 valeur 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.

### II.4.4. Critères de choix du capteur

Le choix d'un capteur peut être adopté des points suivants : [48]

- Le type de l'évènement à détecter ;
- La nature de cet évènement ;

- La grandeur de l'évènement ;
- L'environnement de l'évènement ;
- L'efficacité, la qualité et la précision du capteur ;
- La disponibilité dans le marché.
- etc.

#### II.4.5. Exemples de capteurs

En raison du développement technologique rapide qui a connues le monde dans tous les domaines surtout dans le domaine électronique, cela a contribué à l'existence d'une grande variété de modèles pour chaque type de capteur, parfois on les trouve combinés dans un seul capteur.

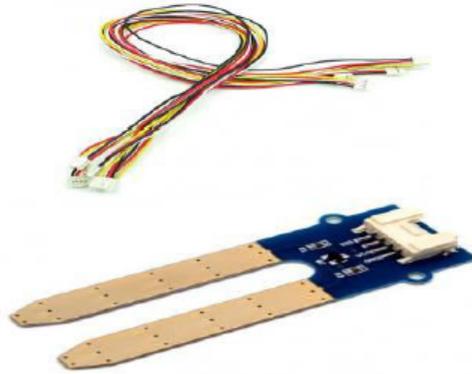
Nous présentons quelques exemples, à savoir :

- **Capteur d'Humidité :**

On a choisis deux types :

##### **Capteur Grove**

- Ce capteur d'humidité peut être utilisé pour détecter l'humidité du sol ou comme détecteur de niveau d'eau. Il est idéal pour créer un objet connecté qui indique si une plante a soif.
- Un câble au standard Grove est fourni avec ce module (Compatible de l'interface Grove, longueur : 50 cm, nombre de pins : 4).
- Compatible de l'interface Grove
- Dimension : 20mm x 60mm



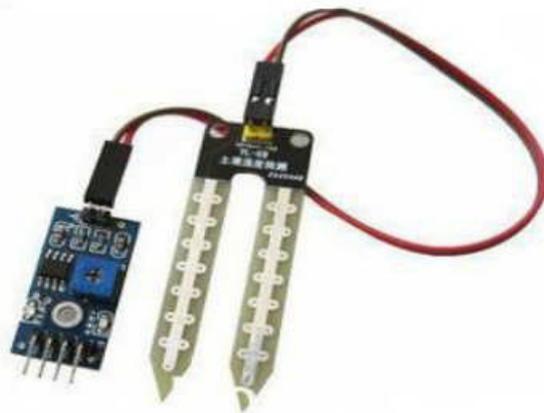
**Figure 4.5 : Capteur d'humidité - Grove [47]**

### Capteur hygrométrie du sol

Ceci est un capteur d'humidité simple qui peut être utilisé pour détecter lorsque qu'un sol est en déficit d'eau (niveau haut) et vice versa (niveau bas). Ce module peut être utilisé pour réaliser des systèmes d'arrosage automatique.

Le capteur d'hygrométrie est très sensible à l'humidité ambiante. Il est généralement utilisé pour mesurer le taux d'humidité dans les sols.

- ✓ VCC: .3 V-5V
- ✓ GND: GND
- ✓ DO: digital output interface (0 ou 1)
- ✓ AO: Analog Output Interface



**Figure 4.6 : Capteur hygrométrie du sol [49]**

### Capteur d'Eau

Ce module va vous permettre de détecter une présence d'eau. Constitué de plusieurs lamelles sur le circuit entre la masse GND et le pin SIG. Une résistance de pull up de  $1M\Omega$  permet de protéger le circuit. Ce circuit peut être connecté à une broche analogique de votre carte Arduino UNO.

Un câble au standard Grove est fourni avec ce module.

### Caractéristiques

- ✓ Compatible de l'interface Grove
- ✓ Faible consommation d'énergie
- ✓ Dimension : 20mm x 60mm
- ✓ Haute sensibilité

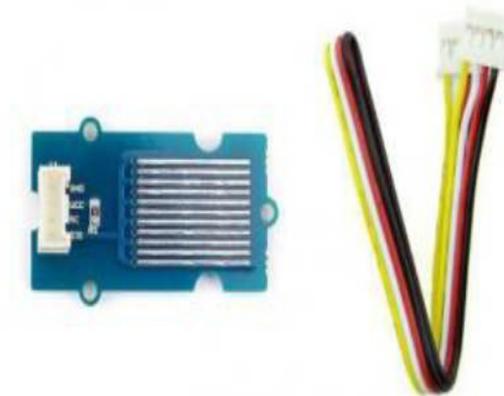


Figure 4.7 : Capteur d'Eau- Grove [47]

### Capteur de niveau d'Eau

Capteur de niveau d'eau facile à utiliser, bon rapport qualité / prix. L'utilisation en parallèle de plusieurs capteurs ouvre la porte à de grandes installations automatisées. L'utilisation des pistes parallèles sur la Board permettent de détecter le niveau d'eau de manière analogique, facile à convertir en numérique pour le Arduino.

**Caractéristiques**

- ✓ Tension de fonctionnement: 3-5Vdc
- ✓ Courant en fonctionnement: moins de 20mA
- ✓ Type de capteur: analogique
- ✓ Dimension de la zone de détection: 40 x 16mm
- ✓ Carte de type: FR4 double face HASL
- ✓ Température de fonctionnement: 10-30°
- ✓ Humidité ambiante: 10-90% (Sans condensation)
- ✓ Taille de la carte: 62mmx20mmx8mm
- ✓ Connexions:
  - Vcc
  - GND
  - Signal



**Figure 4.8 : Capteur de niveau d'Eau [49]**

**Capteur de température et d'humidité**

Nous présentons trois modèles de ce type de capteur :

**La DHT22** est un capteur à bas cout permettant d'acquérir une température et une humidité ambiante d'une manière numérique. Il utilise un capteur d'humidité

capacitif et une thermistance pour mesurer la température et l'humidité de l'air et la transmettre d'une manière numérique sur un bus série. Les données sont actualisées toutes les 2 secondes.

- La connexion de ce capteur est très simple, il suffit de relier la première pin à gauche à l'alimentation (3V à 5V), le pin centrale sur une pin Arduino déclarée en entrée (INPUT) et le pin de droite à la masse (GND).

### Caractéristiques

- ✓ Bas cout.
- ✓ Alimentation : 3 to 5V alimentation et data
- ✓ Consommation : 2.5mA max pendant la conversion
- ✓ Etendue de mesure humidité : de 0% à 100% avec une précision à 2-5%
- ✓ Etendue de mesure température : de -40°C à 80°C avec une précision  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- ✓ Echantillonnage à 0.5 Hz (toute les 2 seconds)
- ✓ Dimension : 27mm x 59mm x 13.5mm (1.05" x 2.32" x 0.53")
- ✓ 4 pins, 0.1" spacing



**Figure 4.9 : Capteur de température et humidité digital – DHT22 [47]**

### Les capteurs de température et d'humidité Sensiron

Font partie des plus précis que vous pouvez trouver. De plus, avec une liaison I2C pour une utilisation plus aisée. Le capteur SHT31-D permet une mesure d'humidité relative précise à  $\pm 2\%$  et une mesure de température précise à  $\pm 0.3^\circ\text{C}$ .

#### Caractéristiques

- ✓ Utilise les adresses I2C 0x44 ou 0x45
- ✓ Dimensions : 12.7mm x 18mm x 2.6mm / 0.5" x 0.7" x 0.1"
- ✓ Poids : 0.8g

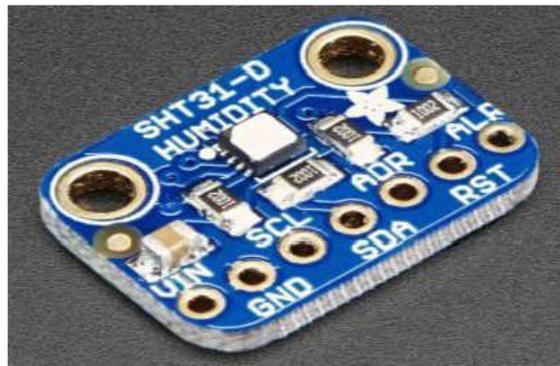


Figure 4.10 : Capteur de température et humidité SENSIRON SHT31-D[47]

Le **module Grove** capteur de température et d'humidité utilise un capteur DHT11. La technologie utilisé par le capteur DHT11 garantie une grande fiabilité, une excellente stabilité à long terme et un temps de réponse très rapide.

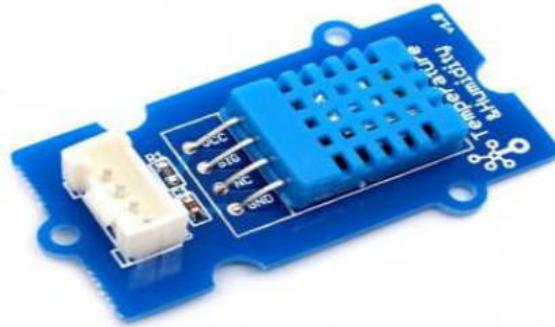
Un câble au standard Grove est fourni avec ce module.

#### Caractéristiques

Compatible de l'interface Grove

Plage de Température :  $0^\circ\text{C}$  à  $50^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$

Plage de d'humidité : 20% à 90% RH  $\pm 2\%$  RH



**Figure 4.11 : Capteur de température et humidité – GROVE [47]**

### **Capteur de température**

Nous présentons les deux modèles suivants :

#### **Capteur LM35DZ**

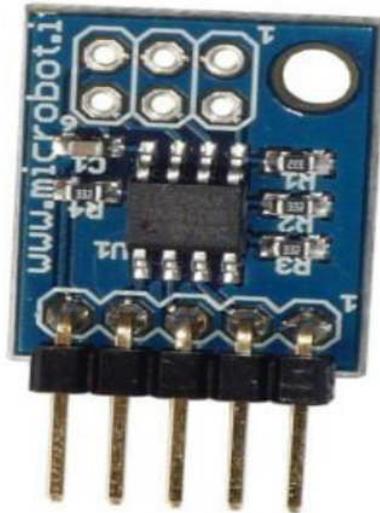
Ce capteur de température permet d'acquérir une température ambiante.

Une fois alimenté, il va délivrer une tension analogique proportionnelle à la température.

#### **Caractéristiques**

- ✓ Tension d'alimentation : 4V à 30V
- ✓ Etendu de mesure : 0°C à 100°C
- ✓ Précision :  $\pm 0,75$  °C (typique)
- ✓ Echelle : 10mV/°C
- ✓ Calibration : 0mV à 0°C, 1000mV à 100°C





**Figure 4.13 : Capteur de température numérique TCN75A [47]**

**Capteur de pression** nous présentons les deux modèles suivants :

**Capteur Freescale MPX4115A**

- ✓ Capteur de pression Freescale à grande sensibilité et linéarité.
- ✓ Faible hystérésis de pression.
- ✓ Réponse rapide.
- ✓ Grande stabilité.
- ✓ Circuit de compensation nécessaire en cas de variation de température.
- ✓ Plage de mesure: 15 à 115 kPa
- ✓ Sensibilité: 45,9 mV/kPa
- ✓ Tension: 4,85 à 5,35 Vcc



**Figure 4.14 : Capteur de pression Freescale MPX4115A [50]**

**Capteur Velleman MM103** basé sur un MPXHZ6115A permettant de mesurer la pression atmosphérique. Il communique avec un microcontrôleur type Arduino ou compatible via une liaison analogique.

Ce circuit est livré avec un cordon et un connecteur à souder en fonction de l'utilisation.

### Caractéristiques

- ✓ Alimentation: 5 Vcc
- ✓ Interface: analogique
- ✓ Plage de mesure: 0,15 à 1,15 bar
- ✓ Température de travail: 0 à 85 °C
- ✓ Pression maxi: 4 bars
- ✓ Temps de réponse: 20 ms
- ✓ Sensibilité: 45 mV/kPa
- ✓ Offset: 0,2 Vcc
- ✓ Dimensions: 22 x 23 x 6 mm



**Figure 4.15 : Capteur de pression Velleman MM103 [50]**

### Capteur de météo

Ce type de capteurs météo comprend **un anémomètre, un pluviomètre, une girouette** ainsi que les accessoires de montage. Il vous permet de mesurer la

vitesse du vent, de connaître sa direction et de mesurer la quantité de pluie. Tous les capteurs sont pourvus d'une sortie sur des interrupteurs ils étanchent et ne contiennent pas de carte électronique.

- ✓ Le pluviomètre donne une impulsion tous les 0,2794 mm de hauteur de pluie et se vide automatiquement.
- ✓ L'anémomètre délivre une impulsion par tour (une vitesse de 2,4 km/h donne une impulsion par seconde).
- ✓ La girouette peut donner la direction du vent sur 16 secteurs (grâce à une combinaison de résistances et 8 ILS).

Tous les capteurs sont équipés d'une prise RJ11 et peuvent se raccorder par exemple sur le shield météo **DEV12081** (regarder le tableau 9 et la figure 22 mentionné auparavant).

### Caractéristiques

- ✓ Anémomètre: 1 impulsion = 2,4 km/h
- ✓ Pluviomètre: 1 impulsion = 0.2794 mm de hauteur
- ✓ Girouette: 16 secteurs sur tension analogique (voir fiche technique)
- ✓ Dimensions: 724 x 203 mm
- ✓ Kit à assembler (câblage très simple)



Figure 4.16 : Capteur de Météo [50]

### Capteur de mouvement

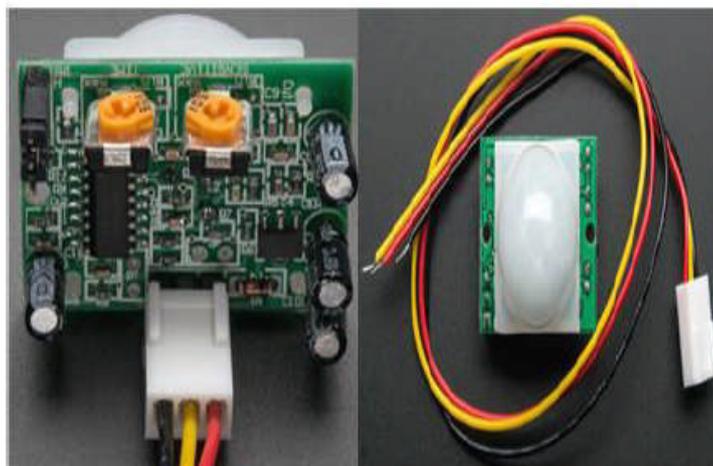
Les **détecteurs de mouvement PIR** sont utilisés pour détecter les mouvements des humains et des animaux dans un rayon de 6 mètres (Ils peuvent détecter également les zombies, mais ce n'est pas garanti). Ce modèle dispose d'un réglage de seuil de détection avant déclenchement de 2 à 4 secondes ainsi que d'un réglage de sensibilité. Un câble avec connecteur de 30 cm est fourni afin de simplifier son câblage.

Il fonctionne sur une alimentation entre 5V et 16V DC, voir même en 3V en soudant juste après le régulateur.

Le signal de sortie est à 3,3V à l'état haut. La portée est d'environ 7m sur 120°.

### Caractéristiques

- ✓ Longueur : 24.03mm / 0.94in
- ✓ Largeur : 32.34mm / 1.27in
- ✓ Espacement trous de fixation : 28mm
- ✓ Diamètre du trou de vis : 2mm
- ✓ Hauteur (avec objectif): 24.66mm / 0.97in
- ✓ Poids : 5.87g / 0,2 oz



**Figure 4.17 : Capteur de mouvement PIR avec réglages [47]**

Le **module Grove** capteur de mouvement va permettre de détecter le moindre mouvement à proximité afin d'activer la sortie SIG à l'état haut.

Le champ de détection est paramétrable avec un potentiomètre (non inclus) jusqu'à 6m et le temps de réponse peut être ajusté entre 0.3s et 25s également avec un potentiomètre (non inclus). Il est nécessaire de souder des potentiomètres sur les empreintes pour disposer de ces fonctions.

Un câble au standard Grove est fourni avec ce module.

### Caractéristiques

- ✓ Compatible de l'interface Grove
- ✓ Alimentation : 3V - 5V
- ✓ Angle de détection : 120°
- ✓ Distance de détection max : 6m
- ✓ Temps de réponse : de 0.3s à 25s
- ✓ Dimension : 20 mm x 40mm
- ✓ Précision : 1,5°C
- ✓ Dimensions: 22 x 23 x 6 mm



**Figure 4.18 : Capteur de mouvement Grove [47]**

**Les actionneurs**

Un actionneur est un objet qui transforme l'énergie qui lui est fournie en un phénomène physique qui fournit un travail, modifie le comportement ou l'état d'un système. Nous pouvons classer les actionneurs selon les trois critères suivants [52] :

- ✓ Energie utilisée : pneumatique, hydraulique, électrique, mécanique, combustible fossile.
- ✓ Phénomène physique utilisable : déplacement ou freinage, chaleur ou Froid, lumière, son.
- ✓ Principe mis en oeuvre : pneumatique(les propriétés de compression et de dilatation sont utilisées), hydraulique (la propriété d'incompressibilité du fluide est utilisée).

La description suivante présente un des types d'actionneurs le plus utilisé :

Une électrovanne, qui est normalement fermée au repos, fonctionne en 12V grâce à un solénoïde qui actionne l'ouverture du flux. Elle est idéale pour vos projets comme de l'arrosage automatique, un mur d'eau, ou tout autre projet nécessitant un contrôle de flux comme l'eau.

**Caractéristiques**

- ✓ Tension de travail : 12VDC
- ✓ Courant max : 450mA
- ✓ Mode de fonctionnement t: normalement fermé
- ✓ Taille d'entrée / sortie : G1 / 2 "
- ✓ Matériaux : nylon / acier inoxydable / Polyoxyméthylène
- ✓ Type Valve : membrane de la vanne (exploité par servo)
- ✓ Filtre : filtre d'entrée en acier inoxydable

- ✓ Température de fonctionnement maximum: 120 ° C
- ✓ Plage de pression de fonctionnement: de 0,02 à 0,8 MPa
- ✓ Durée de vie prévue: 200,000+



**Figure 4.19 : Electrovanne G1/2 12V [47]**

## **II.5. Utilisation des capteurs dans le domaine agricole**

### **II.5.1. Capteur pour plantes et arbres fruités**

Ce capteur d'attache directement à la plante ou au fruit, pour recueillir différents signaux comme son taux de croissance ou son hydratation. Combinées avec d'autres capteurs fournissant les éléments du climat ou l'humidité du sol, ces informations sont analysées et restituées pour fournir un diagnostic sur l'état de la plante et des recommandations.[51]



**Figure 5.1 : Capteur pour plantes et arbres fruités [51]**

### **II.5.2. Arrosage et irrigation automatique**

Les capteurs sans fil sont choisis pour leur coût quasiment faible, leur fiabilité et leur rayon de transmission. En plus, il y a une grande nécessité de maîtriser la technologie et de bénéficier des avantages qu'elles offrent et surtout pour l'irrigation.

Le but principal de ce système est de présenter une solution complète d'irrigation pour l'agriculteur à la base de réseau de capteurs sans fil. Son principe est de créer un système d'irrigation automatisé qui peut réduire dans le même temps les déchets et les eaux efficace, et aussi il possède différents paramètres pour mesurer la quantité efficace de l'eau nécessaire par les plantes. Cette technologie consiste à utiliser des nœuds de capteurs d'humidité du sol et de température à faible coût ayant consommation de puissance réduite placés dans la zone des racines des plantes, selon la valeur que l'irrigation est contrôlée, ceci n'est rien d'autre qu'un système d'irrigation commandé par un programmeur, l'irrigation est déclenchée automatiquement par le programmeur aux jours et heures voulus, pour la durée programmée, sans intervention humaine.[52]

Le système est composé de différents types de nœuds. Dont Chaque nœud est constitué d'un grain et capteurs ou actionneurs adéquats. Nœuds de sol sont des capteurs capables de relever le contenu des sols pour détecter le niveau d'humidité et la température dans le sol. Nœuds météo surveillé la changes, Et les autres nœuds climatique sont connectés aux déclencheurs qui aptes à commander l'ouverture de la soupape si nécessaire d'irrigation. Ceci est très pratique lorsqu'il est bien réglé, il fournit juste la quantité d'eau requise, au bon endroit, pratiquement sans effort pour l'utilisateur.

L'avantage principal de ce système est de résoudre les deux grands problèmes dans l'agriculture : la sous-irrigation et la sur-irrigation, ce qui permet une meilleure production. Et la possibilité de suivre le taux d'humidité de manière à conserver au maximum les plantes en vie, car chaque plante a besoin d'un taux d'humidité spécifique, à un débit adapté pour permettre l'absorption de cette eau.[52]



**Figure 5.2 : Pilotage d'irrigation à distance [52]**

### II.5.3. Surveillance des conditions climatiques

La station à cinq capteurs et son appli dédiée est assortie d'outils d'aide à la décision relatifs aux fenêtres de pulvérisation et au risque maladie de plus de 40 cultures.

La station est Positionnée dans une parcelle, elle mesure la température du sol à 20 cm et 5 cm de profondeur, ainsi que la température et l'humidité à 25 cm de hauteur dans la végétation et à 75 cm de hauteur au-dessus de la végétation. Ces valeurs sont transmises toutes les 30 minutes via le réseau bas fréquence vers une application d'un smartphone ou d'une tablette pour calculer le point de rosée et l'humidité des feuilles. L'application récupère également des données sur la vitesse et la direction du vent, le rayonnement solaire et les précipitations à partir de sources officielles fiables. Les prévisions météorologiques couvrent une période de 14 jours. Différents messages d'alerte sont programmables.

La station intègre un outil d'aide à la décision concernant la protection des cultures et les interventions phytosanitaires. Le module calcule la pression de maladie sur une période de cinq jours et indique les risques en couleur : du vert pour les plus faibles au rouge pour les plus élevés. Plus de 40 cultures et 100 maladies sont stockées.

La station pourra prochainement être couplée à un tensiomètre connecté, fournissant une aide au pilotage de l'irrigation.[53]



**Figure 5.3 : Une station météo est positionnée dans une parcelle [53]**

#### **II.5.4. Surveillance et gestion du bétail**

Grâce à la surveillance du bétail, les éleveurs peuvent utiliser des applications IoT sans fil pour collecter des données concernant la santé, le bien-être et la localisation de leurs bovins. Cette information leur permet d'économiser de l'argent de deux manières:

- Il aide à identifier les animaux malades afin qu'ils puissent être retirés du troupeau, empêchant ainsi la propagation de la maladie.
- Cela réduit les coûts de main-d'œuvre, car les éleveurs peuvent déterminer où se trouve leur bétail.

L'instrumentation du bétail avec des capteurs pose certains problèmes spécifiques. En particulier, il est assez difficile d'équiper un bétail avec un collier. Une autre option consiste à utiliser puce rééquipé sans fil dans le ventre de la vache, qui peut communiquer via Bluetooth avec une étiquette auriculaire.

Un autre défi potentiel auquel les éleveurs sont confrontés lors de la mise en œuvre d'une solution IoT consiste à choisir une technologie sans fil avec une autonomie de batterie suffisante pour durer toute la vie de l'animal.[54]

**II.6. Les applications pour une agriculture connectée**

Il existe aujourd'hui beaucoup d'applications destinées au monde agricole, une gamme complète de logiciels agricoles 100% internet, mobiles & datas qui intègre les bénéfices du big data agricole. Cette nouvelle offre logicielle profite du développement d'un nouveau socle technologique et de la mise en place récente d'une organisation interne plus agile, tournée vers l'innovation.

L'utilisation des technologies mobiles en tant qu'outil d'intervention en agriculture devient de plus en plus populaire. La pénétration des Smartphones renforce l'impact positif multidimensionnel sur la réduction durable de la pauvreté et identifie l'accessibilité comme le principal défi pour exploiter pleinement le potentiel de l'espace agricole. La portée du Smartphone, même dans les zones rurales, a étendu les services TIC (technologie de l'information et de communication) au-delà des simples messages vocaux ou textuels. Plusieurs applications pour Smartphone sont disponibles pour l'agriculture.

Voici quelques exemples d'applications utilisées dans l'agriculture connectée :

**II.6.1. L'application Comsag**

Gérer précisément tout ce qui concerne les parcelles agricoles !

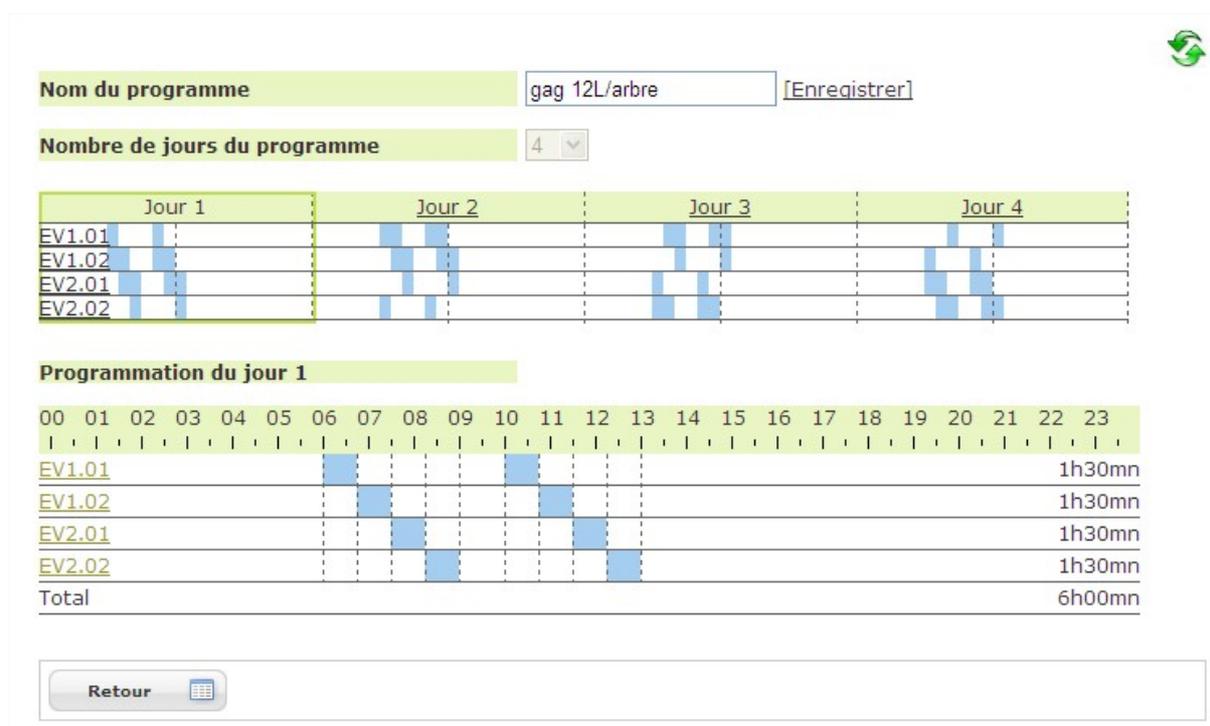
**a- Irrigation connectée**

Depuis le smartphone, on programme, on active et on désactive tout ou partie de l'irrigation, en fonction du bilan hydrique restitué par les capteurs ou encore des contraintes horaires.

- 1- Sur l'interface web, on peut définir différents programmes d'irrigation sur une durée allant jusqu'à 10 jours, pour cela, on attribue une ou

plusieurs plages horaires d'ouverture, pour chaque vanne et pour chaque jour du programme.

- 2- On peut alors visualiser les cycles d'irrigation programmés pour ce réseau, par électrovanne et par jour, avec le cumul horaire d'ouverture de l'électrovanne.
- 3- On passe d'un programme à un autre en quelques clics depuis un pc ou un mobile.



**Figure 6.1 : Tableau de calcul de Comsag [55]**

Le tableau de bord permet de connaître à tout moment le détail du programme en cours ainsi que les heures et durée des prochains cycles. Il faut savoir en temps réel quelles sont les vannes ouvertes sur le réseau. et garder toute la traçabilité des cycles d'irrigation passés.

Programme: gag 12L/arbre  
Jour: 1  
Vanne: EV1.01

Copier le programme : EV1.01 Jour 1 [copier] Durée totale: 1h30mn

00				01				02				03				04				05			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
06				07				08				09				10				11			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																	
12				13				14				15				16				17			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18				19				20				21				22				23			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Validation  Annulation

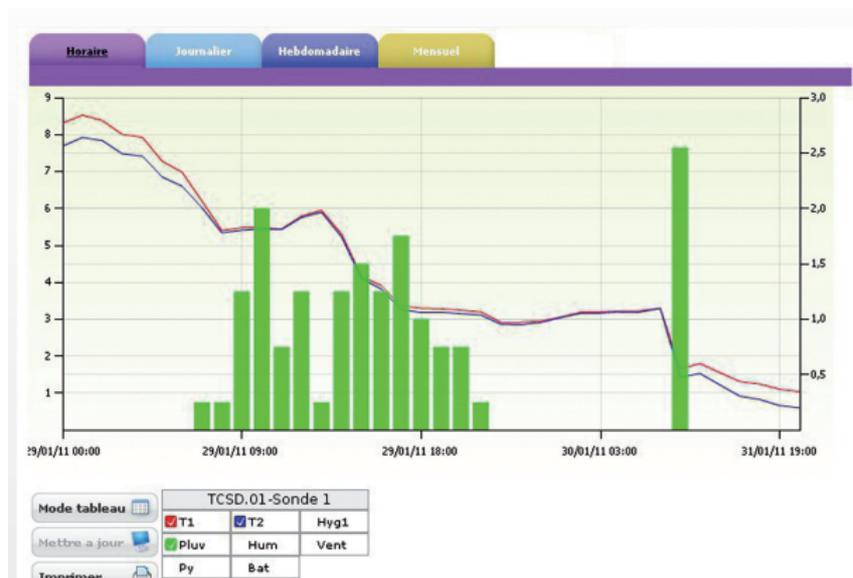
Figure 6.2 : calendrier de Comsag [55]

Un défaut de transmission ou une incohérence de fonctionnement ? Le problème apparaît immédiatement et automatiquement sur le tableau de bord, vous permettant d'intervenir efficacement sur la vanne en défaut.[55]

### b- Traçabilité

Relevées très fréquemment et automatiquement archivées sur un serveur dédié, ces données brutes ont à elles seules un grand intérêt pour la compréhension des diversités au sein même de l'exploitation.

Concentrées et traitées par le Webcomsag, ces données sont nettement valorisées et font du Comsag un véritable atout pour la gestion de votre exploitation.



**Figure 6.3 : Personnalisation de l'affichage des données [56]**

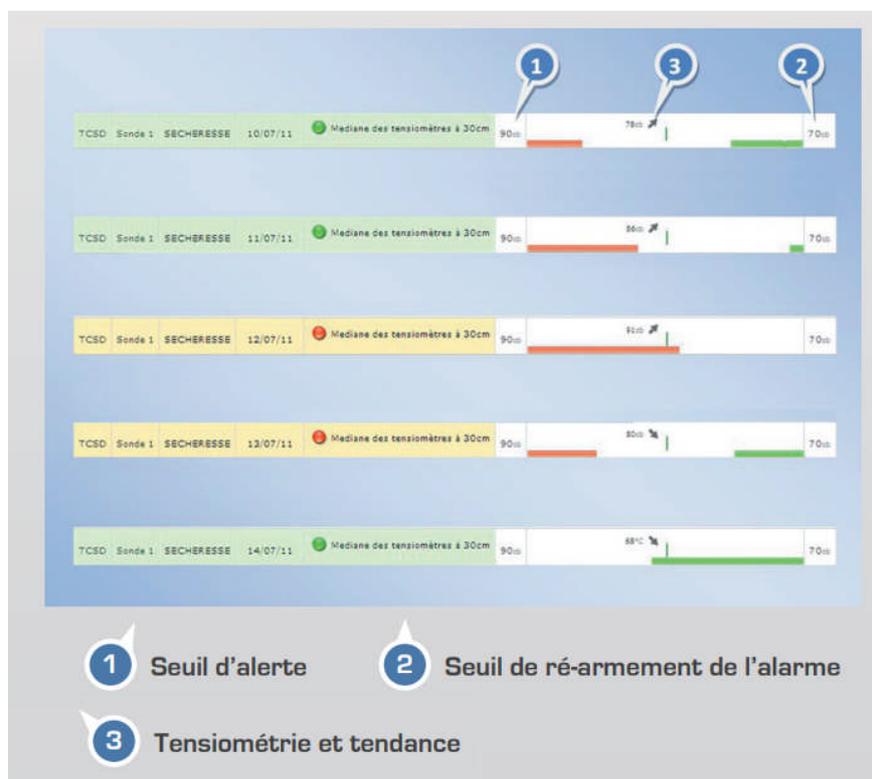
Visualise les mesures en personnalisant l'affichage : on peut choisir la période, les sondes, les capteurs que on souhaite voir apparaitre à l'écran. En un simple clic, le webcomsag propose l'affichage des moyennes horaires, journalières, hebdomadaires, mensuelles ou sur la période choisie.

Un bouton en dessous du tableau permet de passer en mode courbes. Les données de la période précédemment sélectionnée apparaissent alors sur un graphique clair et intuitif. Un système de zoom permet de visualiser une période plus précise.

Le webcomsag permet d'enregistrer des évènements datés qui interviennent sur la parcelle : traitements phytosanitaires, fertilisation, observations de la parcelle, stade végétatif de la culture... Ainsi, ces évènements apparaissent dans la traçabilité (en mode tableau et en mode courbe) pour obtenir le panorama complet de la campagne culturale sur la parcelle équipée.[56]

**c- Le risque de le sécheresse**

L'agriculteur paramètre le seuil de déclenchement de l'alerte en fonction de la culture en place, de son stade végétatif et de la nature du sol. La base COMSAG, installée au domicile de l'exploitant, interroge régulièrement les sondes dans la parcelle. Quand le seuil critique est atteint, l'alarme d'avertissement retentit au niveau de la base Comsag. L'agriculteur sait que sa parcelle est en risque sécheresse et qu'il doit rapidement mettre en route l'irrigation pour éviter de stresser sa culture.[57]



**Figure 6.4 : Exemple d'une parcelle équipée de 6 sondes tensiométriques Watermark (3 à 30 cm de profondeur et 3 à 60 cm de profondeur).[57]**

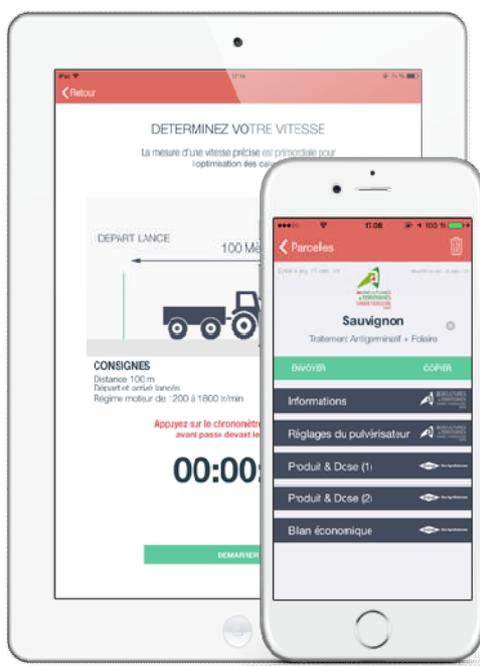
Equipé du DepComD, l'agriculteur peut se déplacer au sein de son exploitation tout en suivant l'état hydrique de ses parcelles. Si une parcelle est en risque sécheresse, le DepComD l'en avertira immédiatement.

L'agriculteur peut également recevoir l'alerte sur son téléphone mobile ou sur son i-pad. Il peut donc surveiller ses parcelles où qu'il se trouve.[57]

L'application Comsag a beaucoup plus d'options comme : L'application Comsag, Cartographie des sols, Cumul des températures.....

### II.6.2. L'application Desherb-Top

Outil conçu pour les agriculteurs, spécialisée dans la création d'applications pour smartphone et tablette. Cette application facilite le désherbage localisé tant au niveau technique qu'économique. Elle prend en compte les spécificités de chaque utilisateur: largeur de plantations, largeur de traitement, volume/ha, etc., elle est utilisable hors-connexion, ce qui apporte davantage de praticité sur le terrain et ses données seront synchronisables, outil de gestion parcellaire proposé par les Chambres d'agriculture.[58]



**Figure 6.5 : Application mobile gratuite d'aide au désherbage localisé en viticulture et arboriculture pour iOS et Android [58]**

**Ses caracteristiques**

- Créez autant de parcelles que vous désirez et envoyez toutes les informations par mail.
- Choix du volume hectare, de la partie à désherber et prévision du nombre de cuves pour votre traitement.
- Choix des buses, pression et débit l'application vous fournit tous les calculs automatiquement.
- Retrouvez les produits Dow AgroSciences et Bayer avec les doses hectare recommandées.
- Coût et comparaison entre un désherbage localisé et en plein.
- Conseils, réglementations, évaluation des risques et choix de protection.[59]

**II.6.3. application de surveillance l'état des plantes**

Diagnostiquer la maladie de ses plantes via un Smartphone et y découvrir la ou les solutions de lutte.

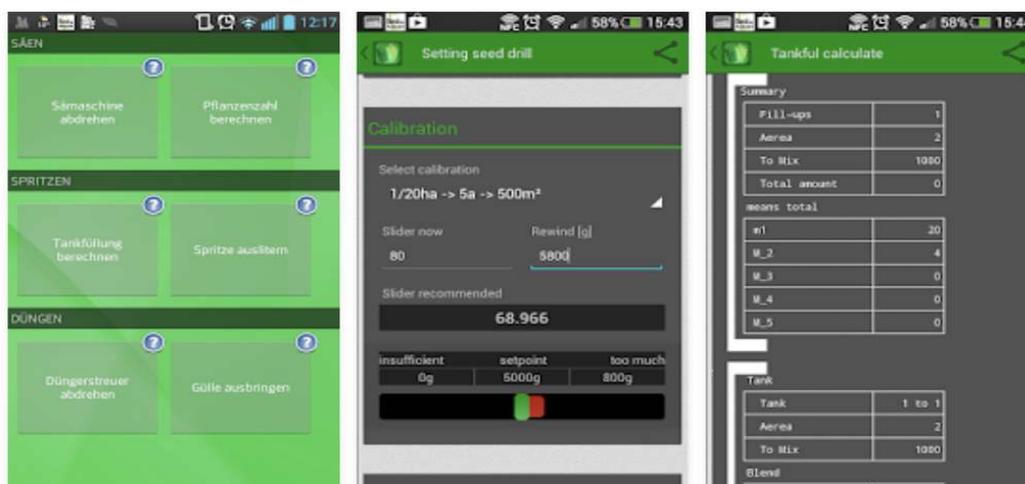
Des chercheurs phytopathologistes développent depuis quinze ans site web et applications sur Smartphone au service de la santé des plantes. Des applis qui concilient expertise scientifique et sciences participatives.[60]



**Figure 6.5: Application de surveillance de l'état de santé des plantes via un Smartphone [60]**

#### II.6.4. La calculatrice des agriculteurs

L'outil permettra de calculer l'épandage d'engrais mais également le volume de pesticides par baril mélangés à l'eau. L'application offre en outre la possibilité de déterminer le nombre de plants possibles sur une parcelle en fonction de leur nature et de la taille du terrain. [61]



**Figure 6.7 : La calculatrice des agriculteurs [61]**

**II.6.5. Météo agricole**

S'il existe pléthore d'applications météo, Météo agricole se distingue car strictement pensée pour les agriculteurs. Pour obtenir les prévisions, il suffit d'entrer son code postal. Les données sont rafraîchies toutes les heures. L'utilisateur retrouvera les prévisions de précipitations, d'humidité, de température, des directions du vent, ou encore de la pression atmosphérique et des mouvements nuages. Météo Agricole est disponible sur iOS et Android.[61]

**II.7. Avantages et les inconvénients d'internet d'objet dans le domaine de l'agriculture****II.7.1 Avantages de l'internet d'objet dans le domaine de l'agriculture**

- La raison pour laquelle les pratiques agricoles modernes sont si importantes est que sans eux, les agriculteurs ne seraient jamais en mesure de répondre à la demande de nourriture en raison de la population croissante.
- L'utilisation efficace de l'eau est importante pour les agriculteurs et l'environnement. Des innovations telles que les pratiques de conservation de l'eau et la technologie des semences hybrides aident les cultures à être résilientes en cas de sécheresse.
- Les pratiques agricoles modernes aident à prévenir l'érosion des sols, car les sols les plus fertiles des terres agricoles.
- Les machines modernes peuvent réduire les efforts des agriculteurs.
- Les machines sont utiles pour semer les graines.

- La lutte chimique contre les ravageurs à l'aide des drones
- Augmenter le prix et la demande des produits.
- Réduire l'impact sur l'écosystème.
- La sécurité alimentaire et lutter contre la pauvreté.
- Augmentation de la productivité et amélioration des conditions de travail et des revenus des agriculteurs.
- Surveillance des cultures, des animaux et des conditions météorologiques pour transformer les paramètres disponibles en données utiles.
- Améliorer l'efficacité du travail grâce à une meilleure planification basée sur des données collectées.
- Améliorer la résilience en atténuant les vulnérabilités aux catastrophes environnementales (sécheresses, inondations, incendies de forêt, réchauffement de la planète, etc.), aux ravageurs et aux pollutions.[62]
- Des tonnes de données collectées par des capteurs intelligents pour l'agriculture, telles que les conditions météorologiques, la qualité du sol, la progression de la croissance des cultures ou la santé des bovins. Ces données peuvent être utilisées pour suivre l'état de votre entreprise en général, ainsi que les performances du personnel, l'efficacité des équipements, etc.
- Meilleur contrôle des processus internes et, par conséquent, réduction des risques de production. La possibilité de prévoir le rendement de votre production vous permet de planifier une meilleure distribution du

produit. Si vous savez exactement combien de récoltes vous allez récolter, vous pouvez vous assurer que votre produit ne restera pas invendu.

- Gestion des coûts et réduction des déchets grâce au contrôle accru de la production. En étant capable de détecter les anomalies dans la croissance de la culture ou la santé du bétail, vous serez en mesure d'atténuer les risques de perte de rendement.[63]
- Efficacité commerciale accrue grâce à l'automatisation des processus. En utilisant des appareils intelligents, vous pouvez automatiser plusieurs processus tout au long de votre cycle de production, par exemple l'irrigation, la fertilisation ou la lutte antiparasitaire.
- Amélioration de la qualité et des volumes du produit. Obtenez un meilleur contrôle du processus de production et maintenez des normes plus élevées en matière de qualité des cultures et de capacité de croissance grâce à l'automatisation.[64]

### **II.7.2. Les inconvénients de l'internet d'objet en agriculture**

La plupart des inconvénients de la technologie en agriculture sont liés à l'impact de la technologie sur l'environnement comme l'utilisation de machines lourdes sur le sol qui entraîne une perte de qualité du sol par compactage du sol, perte de la structure du sol, etc.

- l'utilisation de produits chimiques dans le cadre du développement technologique, nous aurions des problèmes tels que la destruction de l'habitat des organismes et des micro-organismes, perturbant l'écosystème.
- Coût élevé - puisqu'il s'agit d'une nouvelle technologie, les entreprises ont tendance à investir davantage, plutôt que de faire en sorte que les gens fassent un travail peu coûteux.

- Les pratiques agricoles modernes aident à prévenir l'érosion des sols, car les sols les plus fertiles des terres agricoles sont éliminés en raison d'un apport d'eau excessif. Cela conduit à la perte de sol riche en nutriments qui entravait la productivité. Il provoque également le réchauffement climatique car le limon des masses d'eau induit la libération de carbone dans le sol à partir de la matière organique particulaire.[64]
- Une technologie telle que les téléphones portables peut être nocive pour notre corps ou notre cerveau en raison des radiations. Tout appareil électrique peut toujours être défini comme étant l'homologie.[65]
- Effet sur l'emploi et l'économie: L'utilisation de la technologie signifie que les emplois peu qualifiés seront remplacés, entraînant la perte d'emplois entraînant une hausse du taux de chômage. Certains diront que s'il s'agit d'un travail peu qualifié, il aurait quand même dû être remplacé, mais il y a aussi un effet sur l'économie. Les gens paient des taxes, jusqu'à ce qu'il y ait une taxe sur les robots ou moins, il y aura donc moins d'argent payé si la technologie, telle que les robots, remplace les personnes. Le coût de la technologie elle-même est coûteux et doit être récupéré.
- Toute technologie devenant connectée le rend vulnérable au piratage, les dispositifs de sécurité peuvent être piratés et désactivés par des criminels, ou ils peuvent être utilisés par des criminels pour espionner les autres, un criminel n'a besoin que de pirater votre réseau sans fil pour pouvoir accéder à et contrôler l'un des dispositifs intelligents de votre application, afin qu'ils puissent causer toutes sortes de problèmes. [65]

**I.7. Conclusion**

Dans ce 2<sup>me</sup> chapitre, nous avons cité quelques applications d'internet des objets dans le domaine de l'agriculture et les moyens de la technologie moderne utiliser comme les drones ,les robots ,les capteurs ... qui seront utile pour améiore la quantité et la qualité de production et la Surveillance et gestion du bétail et de l'états de sante des plantes et de sol.... et nous savons aussi cites quelques avantages et les inconvénients d'internet d'objets dans le domaine de l' agriculture .

# *Chapitre III*

*Agriculture connectéé*

*en Algérie*

### III.1. Introduction

En Algérie, l'agriculture va devoir veiller à améliorer sa production, notamment. Comme partout dans le monde, l'agriculture algérienne va également devoir travailler son attractivité auprès des jeunes générations, en réduisant par exemple la pénibilité du travail agricole ou en offrant la possibilité aux agriculteurs d'avoir plus de temps .

Promouvoir l'agriculture connectée à grande échelle pour les grandes cultures nécessite une volonté politique, des ressources (humaines, financières et technologiques) et une organisation fluide et flexible au niveau de l'administration agricole.

### III.2. L'état de l'agriculture en Algérie

Depuis les années 2000, l'agriculture est devenue l'une des priorités du gouvernement afin de diversifier son économie, encore dominée par la production pétrolière.

Un travail conjoint de communication sur l'ensemble des thématiques de l'agriculture de précision entre les diverses Chambres d'agriculture et les Directions des services agricoles est de nature à susciter un intérêt auprès de la corporation des producteurs agricoles algériens pour peu que la rentabilité du capital investi soit mise en avant.

Or, il s'avère que l'agriculture de précision est toujours rentable et que les investissements qui lui seront consacrés seront dans tous les cas amortis. Et de ce fait, elle sera appelée, à connaître un essor dans notre pays en vertu du constat qu'«une nouvelle technologie ne sera adoptée de façon généralisée que si elle améliore la rentabilité moyenne ou réduit le risque moyen»

### II.2.1. L'agriculture au Sahara

Depuis la découverte de son grand potentiel hydrique et la baisse des coûts de sa mobilisation, le Sahara, où existait une agriculture oasienne en difficulté, est considéré comme l'espoir de l'agriculture algérienne. L'accès massif à l'eau souterraine a, dans certaines régions, profondément modifié le paysage des oasis.

Comme dans beaucoup de pays du Sud, le développement de l'accès à l'eau souterraine a favorisé l'émergence de modèles d'agriculture plus intensifs et souvent basés sur des cultures à haute valeur ajoutée. Ce développement a été porté par la diffusion des techniques de forage et d'irrigation, le développement de marchés porteurs et par des politiques publiques ambitieuses en matière d'irrigation, d'énergie et de développement d'infrastructures. Ce développement a également été favorisé par l'émergence de dynamiques économiques locales, souvent informelles, en marge de l'action publique.

Ce développement conduit à une pression très forte sur les ressources en eau, classant les pays d'Afrique du Nord, et l'Algérie en particulier, parmi les principales régions d'utilisation intensive des eaux souterraines pour l'agriculture.

Malgré le potentiel appréciable de croissance dont elles disposent encore, du moins à moyen terme, les nouvelles agricultures suscitent beaucoup d'interrogations sur leur avenir, notamment à cause de la non-maîtrise de la nouvelle technologie. Ce développement est un des facteurs clé de la durabilité et de la robustesse de ces modes d'agriculture, c'est-à-dire de leurs capacités d'adaptation et de maintien. La robustesse de ces systèmes basés sur l'exploitation d'une ressource naturelle avec une telle technologie promettent un riche avenir à l'agriculture algérienne.

### III.3. Problème de l'agriculture connectée en Algérie

Nul besoin d'être spécialiste pour comprendre que troquer du pétrole contre du blé, ce n'est plus possible pour l'Algérie. Mais la recherche de solutions intelligentes est possible. Réinventer un autre modèle économique est possible. Avec 1 600 000 étudiants, c'est d'abord et avant tout le talent, la construction de la société de la connaissance et l'innovation qui peuvent être nos remparts face à la crise pétrolière. [66]

Construire un système de production agricole durable et compétitif aujourd'hui, c'est pouvoir maîtriser non seulement la grande diversité des disciplines auxquelles il fait appel, mais également la complexité de leurs interactions. Voilà toute la difficulté à laquelle est confronté le système de production agricole en Algérie, qui demeure trop archaïque et loin de la technologie du vivant.[66]

Accompagner les agriculteurs algériens dans leurs démarches fédératives en vue de fonder des entreprises coopératives agricoles ainsi que dans leur volonté de créer (structurer) des chaînes de valeur agricoles performantes nous semble être un passage obligé.

### III.4. Agriculture connectée en Algérie

#### III.4.1. Les drones

Le 4e drone "Amel-4" de fabrication 100 % algérienne conçu par le Centre de recherche en technologies industrielles (CRTI) est testé en fin 2018.

Approché par l'APS, en marge de l'ouverture des travaux de la 6ème conférence internationale sur les technologies de soudure et l'industrie des matériaux tenue à l'université de Skikda, on relevé que les chercheurs et ingénieurs du CRTI

apportent les ultimes retouches à ce drone après le succès des trois précédentes versions “Amel-1”, “Amel-2” et “Amel-3”.

Plus petit et plus léger par rapport aux premiers prototypes, ce drone présente une envergure de 1,7 mètre, prend son vol sitôt lancé manuellement et est contrôlé à distance, les essais de ce prototype dont la conception a nécessité 500.000 DA devraient avoir lieu à la base de Sidi Bel Abbès.

Destiné à un usage civil, ce drone peut servir à la surveillance des terres agricoles, la pulvérisation de pesticides, l’élaboration de cartes et en topographie.

La commercialisation de ce modèle, doté de plusieurs caméras, nécessite un partenaire économique pour sa production à grande échelle, a ajouté le même responsable qui a souligné qu’«un projet de loi est en étude pour encadrer la mise en vente de drones».[68]

#### **III.4.2. Plateforme numérique destinée aux agriculteurs**

On a peu créer une plateforme qui pourrait accompagner l'agriculteur de l'amont jusqu'à l'aval de son activité, cette plateforme numérique, fera l'intermédiation entre les agriculteurs et opérateurs du secteur et les quatorze (14) laboratoires du centre de recherche et développement de cette société, qui prodigueront des recommandations, des conseils et informations spécifiques à chaque exploitation agricole.[69]

Ces exploitations agricoles peuvent être connectées à ces laboratoires à travers des équipements numériques qui permettront aux équipes d'experts agricoles de cette entreprise d'obtenir, en temps réel, les informations relatives notamment à la nature du climat, à l'environnement et à la terre de l'exploitation agricole.

Une fois ces informations recueillies à partir de l'exploitation géo-localisée, les experts du centre détermineront le protocole technique que doit suivre l'agriculteur en fonction des besoins des différentes étapes de son activité.

Ces laboratoires de recherche seront chargés de procéder à l'analyse des sols, des semences, de l'eau de l'irrigation, de l'analyse phytopathologique (détection de bactéries...).

De ce fait, l'agriculteur ayant adhéré à ce dispositif numérique aura un accompagnement personnalisé en fonction des spécificités de son exploitation agricole et du produit qu'il cultive, depuis la préparation de la terre jusqu'à la commercialisation des produits.[69]

### **III.4.3. Applications mobiles pour communiquer avec les agriculteurs**

Au total, trois (3) applications mobiles seront mises en service : ECD agri (pour la production agricole d'amont en aval), EDC agri logistics (pour les différents étapes de logistique de transport et d'acheminement de la production) et ECD agri e-Market (pour ce qui concerne la mise sur le marché national ou étranger et le placement).

Sur le plan commercial, on a expliqué que la production de ces agriculteurs sera totalement vendue à sa société avant d'être calibrée, conditionnée et commercialisée sur le marché national ou exportée, ajoutant que l'agriculteur n'aura aucun invendu de sa récolte.

Cette plateforme aidera les agriculteurs à appliquer les nouvelles technologies et les avancées scientifiques dans leur exploitation pour un meilleur rendement.[69]

### III.5. Des suggestions pour améliorer notre agriculture de précision

Après la révolution portée par la mécanisation de l'agriculture, l'enjeu aujourd'hui est l'application des TIC à la mécanique. Autre enjeu fondamental, mais cette fois du numérique qu'il soit dans l'agriculture comme dans les autres secteurs : aider nos agriculteurs dans leurs prise de décisions.

Cette révolution agricole portée par les nouvelles technologies doit obliger notre gouvernement à s'adapter au plus tôt à l'agriculture numérique et à la rendre accessible à tous les types d'exploitants.

Il devra s'atteler à des défis considérables, comme :

- l'infrastructure haut débit pour connecter non seulement tous les agriculteurs à internet, mais aussi les machines et tous les outils technologiques ;
- le développement des connaissances numériques des agriculteurs par le lancement de programmes de formation ;
- le Big Data qui enclenche sur le long terme un cercle vertueux : plus on perfectionne les données, plus elles s'affinent.

En définitive, vu le retard considérable que nous accusons sur l'agriculture de précision, il est urgent de la promouvoir et de la soutenir pour inciter la nouvelle génération connectée d'agronomes à saisir les opportunités d'investissements offertes par cette révolution et à s'y consacrer pleinement.

#### III.5.1. Une ferme de 30 000 hectares en plein Sahara

Il s'agit du projet "Ennahda", dans la région de Mguiden, 500 km Nord d'Adrar. Cette ferme d'une superficie de 30 000 hectares est financée par des investisseurs privés pour un montant estimé de quelques 162 millions d'euros. 70 % du projet est déjà réalisé. La ferme sera divisée en 8 lots et sera consacrée

à différentes cultures : blé dur (50 %), maïs (26 %), soja (8 %), palmiers dattiers, maraîchage, etc. 10 000 hectares de cultures céréalières pourraient être semés prochainement. L'irrigation se fera par pompage des nappes hydriques souterraines. 300 forages, 5 bassins de stockages d'une capacité totale d'un million de m<sup>3</sup> d'eau, 450 pivots d'arrosage et un réseau d'irrigation par goutte-à-goutte. Cette exploitation agricole hors normes devrait permettre la création de 300 emplois (ingénieurs, techniciens, travailleurs permanents, et saisonniers).[70]

Un projet fort et immense à qui on recommande qui sera beaucoup plus bénéfique si sera doté de la technologie de l'internet des objets.

L'irrigation de précision, sur la base de données précise, permet d'améliorer la fiabilité des récoltes au sahara avec de réels avantages économiques pour les agriculteurs, leur famille, les économies nationales respectives et l'ensemble du continent. Grâce à ces approches novatrices en matière d'irrigation, les agriculteurs sahariens peuvent accroître leur productivité et utiliser la technologie mobile pour faire pousser diverses cultures. Il est donc urgent de promouvoir et de diffuser auprès des agriculteurs sahariens ces pratiques d'irrigation et de gestion de l'eau au sein des exploitations. L'adoption de ces pratiques devrait être facilitée par le fait que les capteurs d'agriculture de précision sont fiables et puissants. Ils pourront donc être déployés dans d'autres toute la parcelle saharienne.

### **III.5.2. Des robots récolteurs d'olives et des fruits**

La cueillette des olives en Algérie et encore manuelle, c'est la technique la plus ancienne et la seule utilisée encore en Algérie. Elle est réalisée par chute naturelle du fruit, à la main ou encore avec de simples instruments de gaulage. Il est conseillé d'utiliser les filets de récolte pour recueillir les fruits car ils

amortissent la chute des fruits et limitent les dégâts dus à la rupture de l'épicarpe en contact avec le sol et améliore les rendements de récoltes.[73]

La meilleur solution de gagner plus de temps, de fore et de l'argent le Abundant Robotics est prototype cueilleur de fruits qui utilise l'intelligence artificielle pour déterminer le moment optimal pour cueillir les fruits lorsqu'il aspire le produit dans un bac de récupération.[71]

La machine est actuellement testée sur des pommes, mais les fondateurs de la société prévoient de se lancer dans d'autres fruits à l'avenir.

Abundant Robotics est sur le point de perturber les méthodes agricoles traditionnelles de récolte, y compris les olives.

Bien que l'entreprise se concentre actuellement sur les vergers de pommiers aux États-Unis et en Australie, sa technologie de récolte sous vide pourrait également s'avérer utile pour les olives, qui sont traditionnellement cueillies à la main en raison de leur peau délicate.[71]

À l'aide d'algorithmes complexes, le robot de récolte d'Abundant peut distinguer un fruit des feuilles environnantes. Ensuite, à l'aide d'un certain nombre de variables visuelles, le robot peut déterminer si le fruit a atteint sa maturité optimale et prendre la décision de le cueillir.

La cueilleuse aligne ensuite son vide et retire le fruit de l'arbre. La machine peut récolter 24 heures sur 24, en utilisant une technologie d'imagerie spéciale la nuit.[71]

L'arrivée de la récolte automatisée en Algérie pourrait avoir un impact très favorable sur la production des olives et plus de grand bénéfice pour les producteurs d'huile d'olive.

À mesure que les robots sur le terrain continuent à progresser et que de plus en plus de concurrents arrivent sur le marché, le prix des abatteuses automatisées deviendra de plus en plus concurrentiel. Pour les producteurs d'huile d'olive qui comptent sur la rapidité et l'efficacité pour presser, mettre en bouteille et livrer un produit de haute qualité à leurs clients, le prix optimal pour un robot capable de travailler jour et nuit avec une précision quasi parfaite peut arriver plus tôt que tard.[71]

### III.5.3. Aquasafe ouvre l'Algérie à l'internet des objets

L'aquaculture est un secteur d'avenir. La production mondiale de poissons issus de l'aquaculture a augmenté à un rythme annuel moyen de 6,2% sur la période 2000-2012 selon une étude du FAO, l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, publié en 2012. [72]

Elle permet d'assurer une veille continue sur la qualité des eaux à l'aide de sondes et de capteurs. Les données sont transmises en temps réel via le réseau GPRS. Une deuxième version fonctionne à travers le réseau GPS. Un troisième produit enfin permet d'effectuer des tâches à distance, telle que l'ouverture et la fermeture de vannes.

Mais les entreprises privées n'étaient pas intéressées, quant aux organismes gouvernementaux, ils ont reconnu l'intérêt et la qualité du produit mais ont refusé de passer à l'action.[72]

### III.6. Recommandation

Il y a lieu de noter que l'agriculture algérienne a thématiquement avancée ces dernières vingtaines d'années, mais avec les recommandations des experts en agriculture ont à l'unanimité plaidé pour la nécessité d'introduire les nouvelles technologies dans l'agriculture, il faut adopter toute solution qui peut améliorer la productivité et qui permettra aussi de mettre à la disposition du consommateur un produit à un meilleur prix, dans les années à venir nous serons plus nombreux, plus exigeants sur l'alimentation, nous devons donc produire plus, mieux et avec moins de ressources, Cela ne peut pas se faire sans l'intégration de nouvelles technologies.

### III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous essayer de trouver quelques solutions pour les agricultures algériennes, nous avons démontré que l'adoption de accueil de ces Les nouvelles technologies telles que les robots, les capteurs, les drones ne peut qu'améliorer leur vie.

L'agriculture connectée est une tendance qui tend à se démocratiser dans le monde agricole. Les bénéfices ne sont plus à démontrer : économies, empreinte écologique réduite sans altérer les rendements grâce à l'optimisation des ressources.

Les objets connectés ont leur place dans le quotidien des agriculteurs. Ce sont de véritables outils d'aide à la décision. L'avenir sera connecté, autant tirer avantage de ce que nous offrent les avancées technologiques de demain.

*Conclusion*

*Générale*

L'agriculture connectée représente une solution complémentaire, pour répondre aux enjeux du secteur. Sites d'achat en ligne de matériels et produits agricoles, systèmes de gestion d'exploitation, systèmes de guidage des machines par GPS... Autant d'outils numériques aux nombreux avantages. Deux tiers des agriculteurs y voient l'amélioration de leurs conditions de travail et la réduction de la pénibilité. Et la moitié souligne le fait que l'agriculture connectée permet un meilleur respect de l'environnement, favorise la qualité des productions, et suscite un regain d'intérêt pour leur métier, auprès des futurs agriculteurs et du grand public. Cependant, un tiers des producteurs met en garde sur les difficultés à déployer cette agriculture connectée.

Toutefois, les agriculteurs pointent les freins au développement de l'agriculture connectée : la prise de risques notamment financiers, entre l'avant et l'après, et le manque de conseils techniques adéquats.

# ***Bibliographie***

## Sites webs

- [1] - <http://www.leprogrammeurmarocain.com/iot-introduction/>
- [2] - <https://www.androidpit.fr/internet-des-objets-c-est-quoi>
- [3] - <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-definition>
- [4] - <https://blog.octo.com/modeles-architectures-internet-des-objets/>
- [5] - <https://medium.com/iot-makers/les-4-fondamentaux-de-linternet-des-objets-3da39a18ae0>
- [6] - <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-technologies>
- [7] - <https://www.domotique-info.fr/technologies-domotique/zigbee/>
- [8] - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>
- [9] - <https://www.springcard.com/fr/blog/news/everything-you-need-to-know-about-bluetooth-smart-or-bluetooth-low-energy>
- [16] - <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-technologies>
- [17] - <https://drsport.fr/sport-technologie-objet-connecte/>
- [19] - <http://www.alpwise.com/fr/conception-objets-connectes/solution-iot/objets-connectes/smart-city/>
- [23] - <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-applications>
- [24] - <https://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/iot-for-education-solutionbrief-fr.pdf>
- [25] - <http://connected-vet.com/lituus-aide-decision-pour-elevages-bovins-base-sur-objets-connectes>
- [31] - <https://www.generationrobots.com/fr/402366-raspberry-pi-3-modele-b.html>
- [32] - <http://www.trop-libre.fr/les-enjeux-de-l'agriculture-connectée/>
- [33] - <https://www.abot.fr/drone-agricole/>

[34] - <https://www.digitalwallonia.be/fr/publications/smart-farming>

[35] - <https://www.cioreview.com/news/agribots-revolutionizing-the-farming-industry-nid-28280-cid-205.html>

[37] - <http://www.iotboulevard.com/blog/10-objets-connectes-pour-l-agriculture-et-l-elevage.htm>

[38] - <https://www.digitalwallonia.be/fr/publications/smart-farming>

[39] - <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/16653/Smart-FarmingAutomated-and-Connected-Agriculture.aspx>

[40] - <http://by-automatique.over-blog.com/article-controle-du-climat-d-une-serre-1-64868604.html>

[41] - <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/16653/Smart-FarmingAutomated-and-Connected-Agriculture.aspx>

[42] - <https://www.slideshare.net/luxembourgcreative/luxembourg-creative-2018-smart-farming>

[43] - <http://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/32/Capteurs1/index.html?Introduction.html>

[44] - <https://www.notrefamille.com/dictionnaire/definition/capteur/>

[45] - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur>

[51] - <http://www.iotboulevard.com/blog/10-objets-connectes-pour-l-agriculture-et-l-elevage.htm>

- [52] - <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/8119/1/REalisation-d-un-prototype-d-un-reseau-de-capteurs-sans-fil-dedie-a-lagriculture-de-precision.pdf>
- [53] - <https://www.pleinchamp.com/machinisme/actualites-machinisme/une-station-meteo-au-catalogue-de-lemken>
- [54] - <https://www.link-labs.com/blog/iot-agriculture>
- [55] - <https://tcsd.fr/irrigation-connectee/>
- [56] - <https://tcsd.fr/wp-content/uploads/2019/04/2-LE-RISQUE-SECHERESSE.pdf>
- [57] - <https://tcsd.fr/wp-content/uploads/2019/04/2-LE-RISQUE-SECHERESSE.pdf>
- [58] - <https://www.techelevage.fr/lagriculture-connectee/>
- [59] - <http://www.desherb-top.com>
- [60] - <https://agriculture.gouv.fr/ces-applis-qui-revolutionnent-la-sante-des-plantes>
- [61] - <https://www.futura-sciences.com/tech/questions-reponses/informatique-agriculture-5-applications-ios-android-indispensables-quotidien-8486/>
- [62] - <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-5-technology-use-cases-for-smart-farming-and-4-challenges-to-consider/>
- [63] - <https://indeema.com/blog/iot-application-in-agriculture--5-real-examples>
- [64] - <https://www.quora.com/What-are-the-advantages-and-disadvantages-of-technology-in-agriculture>

- [65] - <https://www.quora.com/What-are-the-disadvantages-of-technology>
- [66] - <https://www.djazairess.com/fr/elwatan/1504665>
- [67] - <http://www.actuel-dz.com/index.php/component/k2/item/272-agriculture-de-precision-en-algerie-ou-comment-atteindre-le-graal>
- [68] - [https://www.huffpostmaghreb.com/entry/le-4e-drone-de-fabrication-100-algerienne-sera-teste-avant-fin-2018\\_mg\\_5be3e0dde4b0769d24c92988](https://www.huffpostmaghreb.com/entry/le-4e-drone-de-fabrication-100-algerienne-sera-teste-avant-fin-2018_mg_5be3e0dde4b0769d24c92988)
- [69] - <http://www.aps.dz/sante-science-technologie/68821-lancement-prochain-d-une-plateforme-numerique-destinee-aux-agriculteurs>
- [70] - <https://www.willagri.com/2017/09/21/algerie-ferme-de-30-000-hectares-plein-sahara/>
- [71] - <https://www.oliveoiltimes.com/fr/olive-oil-business/robotic-olive-harvesters-might-horizon/57896>
- [72] - <https://www.wamda.com/fr/memakersge/2016/05/aquasafe-ouvre-algerie-internet-objets>
- [73] - <https://www.itafv.dz/dg/manif/633.pdf>

### Livres

- [10] - P.-J. Benghozi, S. Bureau, F. Massit-Folléa, C. Waroquiers, and S. Davidson, L'internet des objets: quels enjeux pour l'Europe, Éd. de la Maison des sciences de l'homme éd., 2009, 66 p.
- [12] - M. Han and H. Zhang, "Business intelligence architecture based on internet of things " Journal of Theoretical & Applied Information Technology, vol. 50, no. 1, pp. 90-95, 2013.

- [13] - J. A. Stankovic, "Wireless sensor networks," IEEE Computer Society, vol. 41, no. 10, pp. 92-95, 2008.
- [14] - N. Daniel, R. Marcel, and K. Daniel, Livre blanc Machine To Machine enjeux et perspectives: Orange Business Services, Syntec informatique, Fing, 2006, 40 p.
- [15] - Gil de Sousa, Etude en vue de la réalisation de logiciels bas niveau dédiés aux réseaux de capteurs sans fil : microsysteme de fichiers, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2008, P 14.
- [18] - R.ACHOUR, N.Makhloufi, Authentification dans l'internet des objets . Université A/MIRA de Bejaia, 2017.
- [20] - Gil DE SOUSA, Etude en vue de la réalisation de logiciels bas niveau dédiés aux réseaux de capteurs sans fil: microsysteme de fichiers, Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal – Clermont II, 2008, p 15.
- [21] - Hidjeb Ali, Mémoire de fin de Cycle Master 2 Informatique Professionnel, Implémentation d'un protocole d'élection d'un serveur d'authentification dans l'internet des objets, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, 2016/2017, P 08.
- [22] - HALLAB SAAD, JRAIDI AMEL, Développement d'un Système de surveillance de l'environnement à base d'un réseau de Capteurs sans fils, Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme Nationale De licence Appliqué En Informatique, 1013, P 15.
- [28] - JLASSI, Khaled. Microprocesseurs et Microcontrôleurs Représentation de l'information en numérique. Tunis : Université virtuelle de Tunis , 2008, 18p.

[48] - SANOGO, Yacouba. [15] MELITI Nedjema. Conception et fabrication de capteurs et de leurs techniques d'interrogation pour des applications dans Les domaines de la santé et de l'environnement. Thèse de doctorat. Physique. France : laboratoire de photonique quantique et moléculaire, 2013, 180 p.

## Mémoires

[27] -ADJIBA, Brahim, CHALGHOUM, Abdelmonaim. Commande des équipements électriques par microcontrôleurs "Simulations et Réalisations". Mémoire de Master académique, Commande Électrique. d'El-Oued: Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2015, 51p.

## Revues

[11] - les experts Ooreka, "Système RFID : définition et fonctionnement d'un système RFID ", 22 déc. 2015; <http://rfid.comprendrechoisir.com/comprendre/systeme-rfid>.

[26] IoT Agenda. [en ligne]. Disponible sur : < <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcontroller> > (Consulté le 10/02/2018)

[29] Techno-Science. Microcontrôleur. [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.technoscience.net/?onglet=glossaire&definition=6737> > (Consulté le 11/02/2018)

[36] - Avanade.Smart Agriculture, quand le digital travaille avec les agriculteurs pour nourrir la planète smartagri smartfood <http://ow.ly/wCAz30g6191>, P 8.

[46] - ASCH, Georges, POUSSERY Bernard. LES CAPTEURS EN INSTRUMENTATION INDUSTRIELLE. 8e éd. Dunod : 1983, 2006, 2010,

[47] - La Boutique. [en ligne]. Disponible sur : < <https://boutique.semageek.com/fr/> >.

2017, 919 p. ( ISBN : 978-2-10-076020-6). Disponible sur : <[https://www.dunod.com/sites/default/files/atoms/files/Feuilletage\\_57.pdf](https://www.dunod.com/sites/default/files/atoms/files/Feuilletage_57.pdf)>. [PDF].

[49] - Letmeknow. [en ligne]. Disponible sur : < <https://letmeknow.fr/shop/6-arduino> >.

[50] - GO TRONIC. Robotique et composants électroniques. [en ligne]. Disponible sur : < <https://www.gotronic.fr/cat-capteurs-1114.htm> >. (Consulté le 17/02/2018)

[30] - Cours de RMSE système embarque année 2018-2019 avec Mr Hamdani université de Tizi-Ouzou

## **Introduction**

La demande croissante de denrées alimentaires, à la fois en quantité et en qualité, a accru la nécessité d'intensifier et d'industrialiser le secteur agricole.

L'Internet des objets est une famille de technologies très prometteuse, capable d'offrir de nombreuses solutions pour la modernisation de l'agriculture.

Les groupes scientifiques et les instituts de recherche, ainsi que l'industrie, se lancent dans une course pour proposer de plus en plus de produits d'internet des objets aux acteurs du secteur agricole et jettent les bases d'un rôle clair pour que l'Internet devienne une technologie dominante.

Dans le même temps, l'internet, qui est déjà très populaire, et le big data fournissent suffisamment de ressources et de solutions pour maintenir, stocker et analyser les énormes quantités de données générées par les appareils connectés à l'internet. La gestion et l'analyse des données de l'internet des objets peuvent être utilisées pour automatiser des processus, prévoir des situations et améliorer de nombreuses activités, même en temps réel.

En effet, l'IoT permet désormais aux exploitations agricoles d'augmenter leur efficacité opérationnelle en automatisant et optimisant les chaînes de production. L'IoT apporte également des bénéfices indéniables pour la gestion des exploitations. Notre mémoire est organisé en trois (3) chapitres :

## **Chapitre I**

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques technologies de communication de l'internet des objets, leur fonctionnement, leur évolution technologique ainsi que leur architecture. Nous avons aussi cités quelques secteurs où l'internet des objets a eu un impact très important.

Nous avons montré – en plus – que cette technologie a contribué d'une façon efficace au développement et à rendre la vie des hommes plus aisée, elle est

devenue surtout pour les pays développés un outil dont on ne peut plus s'en passer du fait que les choses qu'on voit et qu'on utilise dans notre vie de tous les jours sont désormais douées d'une intelligence remarquable dont on a cité dans ce chapitre.

### **Chapitre II :**

Dans ce 2<sup>me</sup> chapitre, nous avons cité quelques applications d'internet des objets dans le domaine de l'agriculture et les moyens de la technologie moderne utiliser comme les drones ,les robots ,les capteurs ... qui seront utile pour améliore la quantité et la qualité de production et la Surveillance et gestion du bétail et de l'états de sante des plantes et de sol.... et nous savons aussi cites quelques avantages et les inconvénients d'internet d'objets dans le domaine de l' agriculture .

### **Chapitre III :**

Et en fin, dans ce chapitre, nous avons essayé de trouver quelques solutions pour les agricultures algériennes, nous avons démontré que l'adoption de accueil de ces Les nouvelles technologies telles que les robots, les capteurs, les drones ne peut qu'améliorer leur vie.

L'agriculture connectée est une tendance qui tend à se démocratiser dans le monde agricole. Les bénéfices ne sont plus à démontrer : économies, empreinte écologique réduite sans altérer les rendements grâce à l'optimisation des ressources.

Les objets connectés ont leur place dans le quotidien des agriculteurs. Ce sont de véritables outils d'aide à la décision. L'avenir sera connecté, autant tirer avantage de ce que nous offrent les avancées technologiques de demain.

### **Conclusion :**

L'agriculture connectée représente une solution complémentaire, pour répondre aux enjeux du secteur. Sites d'achat en ligne de matériels et produits agricoles, systèmes de gestion d'exploitation, systèmes de guidage des machines par GPS... Autant d'outils numériques aux nombreux avantages. Deux tiers des agriculteurs y voient l'amélioration de leurs conditions de travail et la réduction de la pénibilité. Et la moitié souligne le fait que l'agriculture connectée permet un meilleur respect de l'environnement, favorise la qualité des productions, et suscite un regain d'intérêt pour leur métier, auprès des futurs agriculteurs et du grand public. Cependant, un tiers des producteurs met en garde sur les difficultés à déployer cette agriculture connectée.

Toutefois, les agriculteurs pointent les freins au développement de l'agriculture connectée : la prise de risques notamment financiers, entre l'avant et l'après, et le manque de conseils techniques adéquats.