

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERIE DE TIZI OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

# Mémoire de fin d'études de Master Académique

Domaine: **Mathématiques et Informatique**

Filière: **Informatique**

Spécialité: **Conduite de Projets Informatiques**

Réalisé par: **Hanène Guedmim**

## Thème

# Conception et réalisation d'une serre agricole connectée

---

Mémoire soutenu le 16/12/2020 à 9h devant le jury composé de :

**Président: M<sup>F</sup> M. Daoui**

**Examineur: M<sup>F</sup> F. Oualouche**

**Encadré par: M<sup>F</sup> M. Laghrouche**

Promotion: 2019/2020

# *Remerciements*

Au terme de ce travail,

Nous tenons, en premier lieu, à remercier le Bon Dieu pour le courage et la patience qu'il nous a donné afin de mener ce projet à terme.

Nous remercions vivement notre promoteur M<sup>f</sup> Laghrouche d'avoir accepté de nous encadrer et de nous aider, ainsi que pour son travail encourageant et ses conseils judicieux.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos amis « Sedik Guellal » et « Hamza Kahil » pour leurs conseils et leur aide.

Nous remercions également nos parents et tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Sans oublier de remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère...

A mon père, échole de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années d'études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner de l'aide et à me protéger.

Que dieu les garde et les protège.

A mes chères frères : Mounir et Nacer.

A mes chères sœurs : Nassira et Nadia.

A mon binôme : Rafik Taieb.

A tous mes ami(e)s.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

*Hanène*

## *Sommaire*

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

### **Chapitre I: Internet des objets**

1	Introduction.....	3
2	Définition de l'IOT .....	3
3	Caractéristiques d'un système d'Internet des objets (IOT).....	4
4	Avantages et inconvénients de l'IOT.....	4
4.1	Avantages .....	4
4.2	Inconvénients.....	6
5	Les composants de l'IOT .....	6
5.1	Les objets (capteurs).....	7
5.2	Le réseau.....	7
5.3	Les données .....	11
5.4	Les informations .....	11
5.5	Applications d'exploitation .....	11
6	Les protocoles M2M .....	11
7	Les protocoles utilisés dans l'IOT .....	12
7.1	Le protocole HTTP .....	12
7.2	Les WebSockets .....	13
7.3	XMPP .....	13
7.4	MQTT.....	13
8	La sécurité dans l'IOT.....	14
9	Domaines d'application de l'IOT .....	15
10	Exemples d'objets connectés.....	17
11	Conclusion.....	17

## **Chapitre II: Généralités sur les serres agricoles**

1	Introduction.....	18
2	Agriculture intelligente .....	18
3	Technologies utilisées dans l’Agriculture Intelligente.....	18
4	Domaines de l'agriculture intelligente .....	19
4.1	Agriculture de précision .....	19
4.2	Contrôle du bétail .....	20
4.3	Serres Intelligentes .....	21
5	Les serres agricoles .....	22
5.1	Définition.....	22
5.2	Importance de la serre.....	22
5.3	Avantages de la production sous serre .....	23
5.4	Les types de serre .....	23
5.4.1	La serre chapelle.....	23
5.4.2	La serre tunnel .....	24
5.5	Conditions environnementales dans les serres .....	24
5.6	Contrôle des conditions environnementales .....	25
5.6.1	Contrôle de lumière .....	25
5.6.2	Gaz carbonique.....	25
5.6.3	Humidité de l'air .....	25
5.6.4	Température .....	25
6	Quelques équipements utilisés dans une serre .....	26
7	Conclusion .....	30

## **Chapitre III: Réseaux de neurones et classification d’images**

1	Introduction.....	31
---	-------------------	----

2	C'est quoi une image .....	31
2.1	Image numérique .....	31
2.2	Codage de couleur .....	32
3	Traitement d'images .....	32
4	Méthodes de classification d'images .....	33
4.1	Arbre de décision.....	33
4.2	K plus proche voisin (KNN).....	33
4.3	Les réseaux de neurones .....	34
5	Réseaux de neurones artificiels.....	35
5.1	Topologie du réseau de neurones .....	35
5.1.1	Réseau multicouches .....	35
5.1.2	Réseau à connexions locales .....	35
5.1.3	Réseau à connexions récurrentes.....	36
5.1.4	Réseau à connexion complète .....	36
5.2	Neurone formel.....	37
5.2.1	Structure d'un neurone artificiel.....	37
5.2.2	Fonction d'activation.....	38
5.3	Les approches d'apprentissage .....	39
5.3.1	Apprentissage supervisé.....	39
5.3.2	Apprentissage non supervisé.....	40
5.4	Rétro propagation: (Back propagation) .....	40
5.5	Fonction de coûts.....	40
5.6	La Descente de Gradient.....	40
6	Les réseaux de neurones Convolutif : CNN.....	40
6.1	Fonctionnement des CNN .....	41

6.2	Architecture d'un CNN .....	42
7	Conclusion .....	44

## **Chapitre IV: Conception du système**

1	Introduction.....	45
2	Présentation du projet .....	45
3	Choix de la solution technologique.....	47
4	Partie commande.....	47
4.1	Les microcontrôleurs .....	47
4.2	Choix du microcontrôleur.....	47
4.2.1	Présentation générale de l'Arduino .....	48
4.2.2	Présentation de la Raspberry Pi.....	49
5	Objectifs et description du système à réaliser.....	52
6	Présentation des capteurs utilisés.....	53
6.1	Capteur de température et d'humidité de l'air : DHT11 .....	53
6.2	Capteur de qualité de l'air : MQ-135.....	54
6.3	Photorésistance .....	55
6.4	Capteur de niveau d'eau .....	58
6.5	Capteur d'humidité du sol .....	58
6.6	Module caméra .....	59
7	Partie actionneurs.....	60
7.1	L'extracteur .....	60
7.2	La pompe d'arrosage .....	61
7.3	Le servomoteur .....	61
7.4	Les LEDS .....	62
7.5	Relais .....	62

8	Module GPS GSM GPRS SIM808 .....	63
9	Les organigrammes de fonctionnement .....	65
10	Conclusion.....	68

## **Chapitre V: Réalisation du système**

1	Introduction.....	69
2	Installation d'un système d'exploitation.....	69
3	Arduino IDE.....	70
4	Le serveur web .....	70
4.1	Installation du serveur web « Apache Server » .....	70
4.2	Langage PHP .....	70
4.3	Système de gestion de base de données : MySQL .....	71
5	Langage Python .....	71
6	Présentation de la maquette .....	72
7	Etapas d'implémentation du modèle de traitement d'image.....	77
7.1	Les bibliothèques utilisées.....	77
7.1.1	Le Framework Tensorflow .....	77
7.1.2	API Keras .....	77
7.1.3	OpenCV.....	78
7.2	Préparation et Traitement du dataset .....	78
7.2.1	Augmentation des données.....	79
7.2.2	Redimensionnement des images .....	81
7.3	Implémentation du CNN .....	81
7.3.1	La durée moyenne de l'entraînement.....	83
7.3.2	Evaluation de notre CNN .....	84
7.4	Résultats des testes du modèle.....	85

8	Les emails et les SMS d'alerte .....	86
9	Réalisation de l'application web .....	87
9.1	Technologies utilisées.....	87
9.2	Présentation des interfaces.....	87
10	Conclusion.....	89
	Conclusion générale .....	90

## *Liste des figures*

Figure 1: L'Internet des Objets .....	3
Figure 2: Composants de l'IOT .....	7
Figure 3: Architecture d'un réseau LPWAN .....	8
Figure 4: Architecture de l'IOT .....	10
Figure 5: IOT VS M2M .....	12
Figure 6: Fonctionnement du protocole http .....	13
Figure 7: Domaines d'application de l'IOT .....	15
Figure 8: AIRINOV .....	18
Figure 9: ECOROBOTIX.....	19
Figure 10: Agriculture de précision .....	19
Figure 11: Contrôle du bétail .....	20
Figure 12: Serre intelligente.....	21
Figure 13: Serre agricole .....	22
Figure 14: Serre chapelle.....	23
Figure 15: Serre tunnel.....	24
Figure 16: Ecran .....	26
Figure 17: Système de réfrigération .....	27
Figure 18: Chauffage d'air .....	27
Figure 19: Chauffage d'eau.....	28
Figure 20: Extracteur.....	28
Figure 21: Brasseur d'air.....	29
Figure 22: Fertirigation .....	29
Figure 23: Image d'une tomate .....	31
Figure 24: Distance euclidienne entre X et les éléments des deux classes Gr1 et Gr2.....	34

Figure 25: Réseau multicouches .....	35
Figure 26: Réseau à connexion local.....	36
Figure 27: Réseau à connexions récurrentes .....	36
Figure 28: Réseau à connexion complète.....	36
Figure 29: Correspondance entre neurone formel et neurone biologique .....	37
Figure 30: Structure d'un neurone artificiel.....	38
Figure 31: Architecture d'un CNN.....	42
Figure 32: Réduction de la taille des images.....	43
Figure 33: Fonctionnement de la couche ReLU.....	43
Figure 34: Schéma bloc du système à réaliser .....	46
Figure 35: Arduino UNO .....	48
Figure 36: Emplacement des différents composants du Raspberry Pi modèle 3 B+ .....	50
Figure 37: Broches de la Raspberry PI.....	52
Figure 38: Capteur DHT11 .....	54
Figure 39: Schéma de câblage du DHT11 .....	54
Figure 40: Capteur MQ-135 .....	55
Figure 41: Une photorésistance avec son symbole .....	56
Figure 42: Exemples de valeurs relevées par la photorésistance .....	57
Figure 43: Schéma de câblage d'un capteur de niveau d'eau .....	58
Figure 44: Schéma de câblage d'un capteur d'humidité du sol .....	59
Figure 45: Le port CSI sur la Raspberry Pi.....	59
Figure 46: Type d'extracteur utilisé dans notre serre.....	60
Figure 47 : Pompe d'arrosage utilisée.....	61
Figure 48: Servomoteur.....	61
Figure 49: Une Led .....	62

Figure 50: La carte Relais .....	63
Figure 51: Module SIM808.....	64
Figure 52: Organigramme de fonctionnement du capteur de température DHT11 .....	65
Figure 53: Organigramme de fonctionnement du capteur d'humidité du sol .....	66
Figure 54: Organigramme de fonctionnement de la photorésistance.....	67
Figure 55: Organigramme de fonctionnement du capteur de niveau d'eau .....	68
Figure 56: Organigramme de fonctionnement du capteur de niveau d'eau .....	69
Figure 57: Logo Python.....	71
Figure 58: La maquette conçue pour le teste.....	72
Figure 59: Branchement des cartes et des capteurs.....	73
Figure 60: Branchement Raspberry PI SIM808 .....	73
Figure 61: L'état actif du ventilateur.....	74
Figure 62: L'état non actif du ventilateur.....	74
Figure 63: Fenêtre ouverte .....	75
Figure 64: Fenêtre fermée .....	75
Figure 65: L'état ON des leds .....	76
Figure 66: L'état OFF des leds.....	76
Figure 67: Schéma du dataset utilisé.....	79
Figure 68: Augmentation des données .....	79
Figure 69: Technique du zoom.....	80
Figure 70: Retournement horizontal et vertical.....	80
Figure 71: Différentes rotations d'une image .....	80
Figure 72: Exemple de redimensionnement d'image.....	81
Figure 73: Modèle séquentiel .....	82
Figure 74: Architecture de notre modèle.....	82

Figure 75: Résumé du nombre de paramètres entrainable du modèle .....	83
Figure 76: Courbe de l'évolution de la précision du CNN .....	84
Figure 77: Courbe de l'évolution de l'erreur du CNN .....	85
Figure 78: Email d'alerte réservoir .....	86
Figure 79: Email d'alerte capteur .....	86
Figure 80: Les SMS d'alerte.....	87
Figure 81: Connexion de l'utilisateur.....	88
Figure 82: Intervalles des paramètres de la serre .....	89
Figure 83: Paramètres prélevés et contrôle semi-automatique des différentes actions.....	89

### *Liste des tableaux*

Tableau 1 : Interprétation des valeurs données par une photorésistance [53] .....	57
Tableau 2 : Caractéristiques du module camera .....	60
Tableau 3 : Temps d'entraînement avec différents hardware.....	83

## *Les Acronymes*

**API:** Application Programmable Interface  
**ARM:** Advanced RISC Machine  
**CPU:** Central Processing Unit  
**CSS:** Cascading Style Sheet  
**CNN:** Les réseaux de neurones Convolutif  
**CO2:** Dioxyde de Carbone  
**EEPROM:** Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory  
**EPROM:** Erasable Programmable Read-Only Memory  
**GPS:** Global Positioning System  
**GPRS:** Le General Packet Radio Service  
**GSM:** Global System for Mobile Communications  
**GPIO:** General Purpose Input/Output  
**GPU:** Graphics Processing Unit  
**GNU:** GNU's Not Unix  
**GND:** Ground  
**HTML:** HyperText Markup Language  
**HDMI:** High-Definition Multimedia Interface  
**HTTP:** Hyper Text Transfer Protocol  
**IP:** Internet Protocol  
**I2C:** Inter-Integrated Circuit  
**IHM:** Interface Homme Machine  
**IOT:** Internet Of Things  
**IDE:** Integrated Development Environment  
**KNN:** K-Nearest Neighbor  
**LDR:** Light-Dependent Resistor  
**LED:** Light Emitting Diode  
**LPWAN:** Low Power Wide Area Network  
**M2M:** Machine to Machine  
**MVC:** Model View Controller  
**MQTT:** Message Queuing Telemetry Transport  
**PHP:** Hypertext Preprocessor  
**PWM:** Pulse-Width Modulation

**RFID:** Radio Frequency Identification

**RGB:** Red Green Blue

**RNA:** Réseau de Neurone Artificiel

**RAM:** Random Access Memory

**SMS:** Short Message Service

**SGBD:** Système de gestion de base de données

**SQL:** Structured Query Language

**SRAM:** Static Random Access Memory

**TCP:** Transmission Control Protocol

**TLS:** Transport Layer Security

**TIC:** Technologie de l'Information et de la Communication

**USB:** Universal Serial Bus

**VCC:** Common Collector Voltage

**WiFi:** Wireless Fidelity

**XMPP:** eXtensible Messaging and Presence Protocol

### Introduction générale

L'agriculture d'aujourd'hui doit faire face à plusieurs enjeux: un monde de plus en plus chaud, dû aux dérèglements climatiques, l'explosion démographique, des cultures plus intensives, l'épuisement des ressources fossiles, les enjeux environnementaux (protection de la biodiversité, lutte contre les pollutions, ...) et sanitaires, qui imposent un besoin immédiat d'adaptation, et un changement de modèle pour tendre vers plus de durabilité.

La culture sous serre, permet de lutter contre, ces différents obstacles, car, les serres permettent : une diversité des cultures, la prolongation des saisons, la protection des plantes contre les maladies et un meilleur rendement.

Afin de faire face à un marché de plus en plus concurrentiel, les systèmes de production sous serre deviennent considérablement sophistiqués. C'est pourquoi, il faut maîtriser les conditions de production, par le contrôle des paramètres climatiques qui correspond aux besoins visés, et pour améliorer la rentabilité, nous devons faire croître les cultures dans des environnements optimaux.

Dans ce cadre, ce projet de fin d'études, a pour finalité, la réalisation d'un système d'automatisation d'une serre agricole.

Le but principal de notre système est d'aider un simple agriculteur en lui fournissant un équipement très simple et facile à manipuler. L'objectif est de contrôler, intelligemment, une serre agricole et d'apporter un suivi et un automatisme, sans un effort conséquent.

#### ❖ Le mémoire se divise en cinq chapitres :

**Chapitre 1:** Nous parlerons sur les concepts généraux de l'IoT (Internet of Things, Internet des objets), ainsi que ses différents domaines d'applications.

**Chapitre 2:** Premièrement, nous allons expliquer qu'est ce que c'est que l'agriculture intelligente, puis nous verrons, un peu plus en détails, les serres agricoles avec leurs types, avantages et les différents paramètres, à prendre en compte, pour avoir un environnement adéquat au développement des cultures.

**Chapitre 3:** Nous parlerons sur la classification d'images, en commençant par définir ce qui est une image et son traitement, ensuite, nous allons aborder les réseaux de neurones avec leurs topologies et algorithmes, enfin nous détaillerons le fonctionnement des réseaux de neurones convolutifs.

**Chapitre 4:** Nous allons faire une étude conceptuelle, qui est une étape très importante pour fixer les choix techniques et pour préparer l'implantation du projet.

**Chapitre 5:** Enfin, nous passerons à l'implémentation et réalisation de notre système, où nous allons décrire la démarche que nous avons suivie pour aboutir aux résultats, ainsi que la démonstration des différents tests réalisés sur notre serre prototype.

# **Chapitre I**

L'Internet des Objets

## 1 Introduction

De nos jours, l'IOT (acronyme de Internet of Things, en français « internet des objets ») est devenu l'une des technologies les plus importantes du 21<sup>ème</sup> siècle. Maintenant que nous pouvons connecter des objets du quotidien (appareils électroménagers, voitures, thermostats...) à internet par l'intermédiaire de dispositifs intégrés, des communications sont possibles en toute transparence entre les personnes, les processus et les objets. Il devient l'outil le plus puissant jamais inventé par l'homme pour créer, modifier et partager des informations, cela montre pourquoi il est considéré comme une extension du réseau internet. Plus de 7 milliards d'appareils IOT sont déjà connectés aujourd'hui, et les experts estiment que ce chiffre va augmenter à 22 milliards d'ici à 2025 [1]. Dans ce présent chapitre, nous allons parler de l'IOT en évoquant ces différents concepts et utilisations.

## 2 Définition de l'IOT

Le terme IOT est apparu la première fois en 1999 dans un discours de Kevin ASHTON, un ingénieur britannique. L'IOT servait à étendre le réseau internet et les échanges de données, aux objets du monde physique : voiture, appareils électroménagers, fauteuil roulant, etc... L'IOT désigne l'ensemble des objets et équipements connectés à Internet, ainsi que toutes les technologies qui s'y rapportent. En d'autres termes, l'IOT regroupe tout ce qui peut être connecté à Internet, pour recevoir et/ou émettre des données.

Tout objet qui peut se connecter à internet est un objet connecté. C'est dans ses usages qu'il trouve son utilité, usages définis par les programmes embarqués, des algorithmes ou par des solutions déportées sur des serveurs (dans le cloud) qui reçoivent des informations venant des objets, des capteurs par exemple, les stockent, les analysent, les traitent et automatisent des actions qui sont renvoyées vers les objets. [2]

Donc l'IOT construit une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel.



Figure 1: L'Internet des Objets

### 3 Caractéristiques d'un système d'Internet des objets (IOT)

Les caractéristiques fondamentales de l'IOT sont les suivantes [3] :

- **Inter-connectivité** : Tout peut être interconnecté avec l'infrastructure globale d'information et de communication.
- **Services liés aux objets connectés**: L'IOT est capable de fournir des services liés aux objets dans les limites des contraintes, telles que, la protection de la vie privée et la cohérence sémantique entre les choses physiques et leurs objets virtuels associés.
- **Hétérogénéité**: Les périphériques de l'IoT sont hétérogènes en fonction des plateformes matérielles et des réseaux. Ils peuvent interagir avec d'autres appareils ou plates-formes de services via différents réseaux.
- **Changements dynamiques**: L'état des dispositifs change dynamiquement, par exemple dormir et se réveiller, être connecté et / ou déconnecté ainsi que le contexte des dispositifs, y compris l'emplacement et la vitesse. De plus, le nombre d'appareils peut changer de façon dynamique. [4]
- **Énorme échelle**: Le nombre de périphériques qui doivent être gérés et qui communiquent entre eux, sera d'au moins, un ordre de grandeur supérieur à celui des périphériques connectés à Internet. Encore plus critique, sera la gestion des données générées et leur interprétation à des fins d'application. Cela concerne la sémantique des données, ainsi que la gestion efficace des données.
- **Sécurité**: Comme nous gagnons des avantages de l'IoT, nous ne devons pas oublier la sécurité. En tant que créateurs et destinataires de l'IoT, nous devons concevoir des mécanismes assurant la sécurité. Cela inclut la sécurité de nos données personnelles et la sécurité de notre bien-être physique. La sécurisation des points de terminaison, des réseaux et des données qui les traversent signifie la création d'un paradigme de sécurité qui évoluera.
- **Connectivité**: La connectivité permet l'accessibilité et la compatibilité du réseau. L'accessibilité se met sur un réseau alors que la compatibilité fournit la capacité commune de consommer et de produire des données. [5]

### 4 Avantages et inconvénients de l'IOT

#### 4.1 Avantages

La capacité de l'IOT à fournir des informations issues de capteurs, ainsi qu'à permettre aux appareils de communiquer entre eux, rend possible une vaste palette d'applications. Nous allons citer ci-dessous les bénéfices principaux de l'IOT : [6]

➤ **Communication :**

Les objets connectés sont en mesure d'échanger des informations avec les utilisateurs et les systèmes d'informations.

Ils sont capables de communiquer sur leur état (charge de batterie, état global de fonctionnement), de fournir des informations sur l'état de santé d'une personne en se basant sur des capteurs... Avec l'IOT les objets eux-mêmes communiquent, il n'est plus nécessaire d'aller chercher les informations, elles sont communiquées automatiquement, à intervalle réguliers.

Comme on trouve de multiple applications, telles que le suivi automatique des patients d'un hôpital, ou encore la localisation en temps réel des colis en cours de livraisons, et de leur températures dans le cas de transport réfrigéré.

➤ **Contrôle et automatisation :**

Il est possible de contrôler les objets connecté à distance, comme ajuster la température d'un local, éteindre ou allumer un équipement distant, déverrouiller sa voiture ou démarrer sa machine à laver. Un objet connecté, une fois programmé, pourra également envoyer une alerte lorsqu'il détecte une anomalie ou un dysfonctionnement, et fournit une réponse automatique au problème. Nous pouvons imaginer un organe du système de freinage d'un véhicule, qui repère une anomalie et qui l'as signale, automatiquement, de façon à programmer une maintenance le plus tôt possible.

➤ **Réduction des coûts :**

Enfin l'un des bénéfices de l'IOT, immédiatement visible pour les entreprises, est la réduction des coûts. Les objets connectés vont être en mesure de fournir des données exactes. Les industriels perdent énormément d'argent à cause de défaillances survenues sur des équipements critiques. Avec la communication permanente de l'état des différents éléments de la chaîne industrielle, les entreprises pourront davantage anticiper et planifier les opérations de maintenance, de façon à les optimiser et à minimiser les risques de défaillance, ainsi que leurs éventuelles conséquences.

Il peut, également, s'agir de données de mesures, comme par exemple le comportement des conducteurs au volant et la vitesse, qui permettront d'optimiser la consommation de carburant et l'usure des pneus et des consommables, ou encore, les habitudes de consommation énergétique à la maison ou au bureau.

## 4.2 Inconvénients

### ➤ Manque de sécurité [7]

L'IOT gère nos données personnelles, depuis plusieurs années maintenant, les objets connectés sont de plus en plus nombreux, ils produisent de grandes quantités d'informations et le traitement de ces données implique de nouvelles préoccupations, notamment, autour de la confidentialité et de la sécurité, une fois que l'objet connecté est piraté, celui-ci dépend des commandes reçus par l'attaquant, ce qui entraîne des vols de données de santé ou d'informations personnelles...

### ➤ La gestion des capteurs [8]

Selon une équipe de l'ETH de Zurich, du fait des smartphones puis du nombre croissant d'objets connectés, en dix ans (2015-2025), 150 milliards d'objets devraient se connecter entre eux, avec l'Internet et avec plusieurs milliards de personnes. La gestion des capteurs, deviendra donc problématique.

### ➤ La consommation électrique [9]

Les objets connectés consomment beaucoup d'énergie. D'ici à 2050, le nombre d'objets connectés en circulation, deviendra considérable, par conséquent, la réponse à leurs besoins énergétiques sera difficile.

### ➤ La gestion des données [9]

L'IOT tend à créer un océan de data gérable uniquement grâce à l'Intelligence Artificielle. Par exemple, sur un avion de ligne, il y a 20 000 capteurs et une simple turbine d'A380, fournit 10G de données à chaque vol, de ce fait, y aura des problèmes de gestion de ces milliards de données.

## 5 Les composants de l'IOT

Une solution d'IOT s'articule autour de 5 composants essentiels qui sont : [10]

1. Les objets (capteurs)
2. Le réseau
3. Les données
4. L'information
5. Les applications d'exploitation



Figure 2: Composants de l'IOT

## 5.1 Les objets (capteurs)

Ce sont des dispositifs permettant de collecter, stocker, transmettre et traiter des données issues du monde physique. Chaque objet connecté est équipé de capteur, qui permet de transformer une grandeur physique (température, pression, luminosité...) en un signal électrique. Ce dernier est ensuite numérisé pour être transmis au système informatique. [11]

Il existe plusieurs modes de classification des capteurs. Nous en citons deux :

❖ Classification selon la nature du signal de sortie : [12]

- Capteurs ANALOGIQUES : donnent à la sortie une valeur analogique.
- Capteurs LOGIQUES : donnent à la sortie un '0' ou '1'.
- Capteurs NUMERIQUES : donnent à la sortie un mot binaire ex : '10010100'

❖ Classification selon le principe de fonctionnement : [13]

- Les objets passifs : ils utilisent généralement un tag (puce RFID). Ils embarquent une faible capacité de stockage (de l'ordre du kilo-octet) leur permettant d'assurer un rôle d'identification.
- Les objets actifs : ils peuvent être équipés de plusieurs 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.

## 5.2 Le réseau

Les réseaux IOT se sont focalisés sur la performance énergétique pour augmenter : [14]

- La durée de vie des objets sur batterie,
- La distance de communication pour diminuer les coûts d'infrastructure,
- Le coût de service pour permettre de connecter plus d'objets.

Un réseau sera choisi en fonction de nombreux critères tels que : disponibilité, déploiement, maturité, espérance de vie, débit de données, distance et type de communication, objets fixes ou mobiles, localisation des objets, niveau de sécurité, type d'opérateur de réseau et durée de vie des batteries... etc

➤ Deux grandes catégories de réseaux existent sur le marché : [15]

### 1. Les réseaux de longue portée:

Comme Sigfox, LoRa ou encore les technologies cellulaires (GSM, 2G, 3G, 4G...), sont capables de faire transiter des data d'un appareil à l'autre sur de vastes distances. Ils sont utilisés par les entreprises qui veulent connecter des kilomètres d'infrastructures à Internet.

#### 1.1.LORA et SIGFOX :

Ce sont deux technologies de même catégorie, qui sont utilisées dans les LPWAN (Low Power Wide Area Network), qui permettent de réaliser des réseaux à longue portée, faible consommation d'énergie et faible débit.

Il s'agit de réseaux permettant d'envoyer des messages de petite taille, de l'ordre de l'Octet (12 pour Sigfox et 24 pour LoRa).

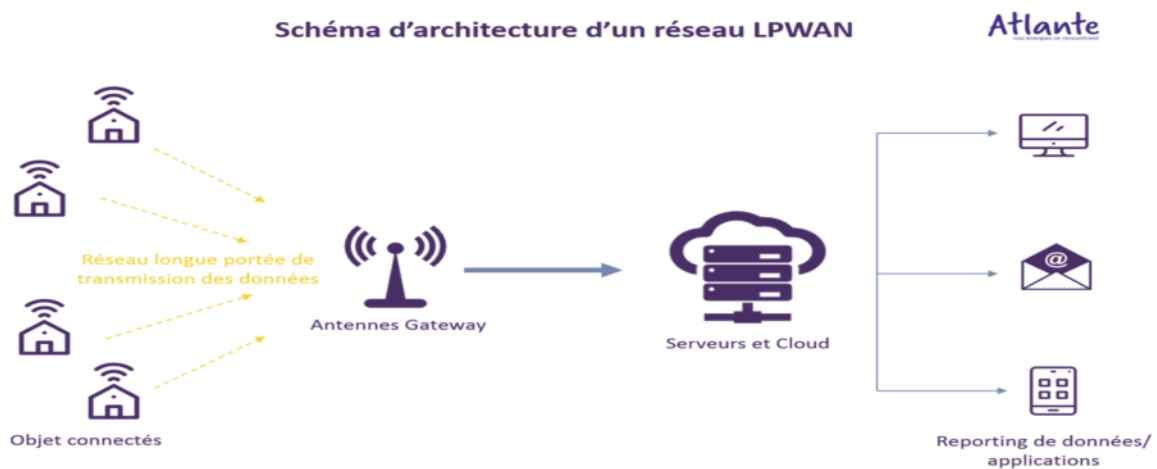


Figure 3: Architecture d'un réseau LPWAN

#### 1.2.Réseaux cellulaires (GSM, 2G, 3G, 4G):

Fournis par les opérateurs télécoms traditionnels, ils permettent de transférer d'importantes quantités de données (pour faire transiter 83 mégabits, il faut 22 secondes en 3G et 1 seconde en 4G, selon l'opérateur), très gourmands en énergie, ces réseaux sont à réserver à des appareils branchés au secteur.

Le prix des abonnements est nettement plus élevé que ceux de Sigfox et LoRa. Par ailleurs, il faut prévoir un espace sur l'objet connecté pour insérer une carte SIM.

## 2. Les réseaux à courte portée:

Comme le Wifi, le Z-Wave, le ZigBee, ou encore le Bluetooth Low Energy (BLE), permettent de transférer des données sur de faibles distances. Un bracelet connecté n'est jamais très loin du téléphone auquel il transfère ses datas.

### 2.1. Bluetooth:

Le Bluetooth, est une technologie radio, connue et très maîtrisée de moyenne portée (environ 10m) qui permet d'envoyer des messages de grande taille et en grande quantité. Il s'agit d'un moyen de communication disposant d'un grand débit, puisqu'il repose sur la bande de fréquence 2,4 GHz, tout comme le Wifi.

### 2.2. WiFi [16]

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, il permet de transférer rapidement beaucoup de données.

### 2.3. Zigbee [16]

Zigbee est un protocole de communication radio développé spécifiquement pour les applications de domotique. D'une portée moyenne de 10 mètres, il utilise une faible bande passante, idéal pour le transfert de données en faible volume. Peu énergivore et conçu pour des échanges de données à bas débit, le dispositif Zigbee convient aux appareils alimentés par une pile ou une batterie, et en particulier aux capteurs. Il est conçu pour fonctionner en réseau maillé : chaque nœud reçoit, envoie et relaie des données. Il est par exemple utilisé par certains détecteurs de fumée.

### 2.4. Z-Wave [17]

Protocole de communication sans fil, destiné à la domotique. Il a, à la base, une portée de 30 mètres en intérieur et de plus de 100 mètres en extérieur.

C'est un réseau maillé, c'est-à-dire, qu'il permet à 2 composants électroniques Z-Wave de discuter ensemble pour échanger des informations.

### 2.5.La RFID (radio frequency identification) :

La RFID ou radio-identification, est une technologie qui permet de sauvegarder et récupérer des données à distance sur ce que l'on appelle des puces ou tags RFID ou encore des radio-étiquettes.

Un des usages les plus évidents se situe dans les univers de la logistique et de la vente : les produits équipés d'une puce RFID peuvent être tracés de l'entrepôt au magasin, une fois le produit en rayon, la puce RFID devient à la fois un antivol et un système d'identification en caisse. La RFID est également beaucoup utilisée dans les bibliothèques pour la traçabilité et la protection des livres. [18]

#### ➤ Architecture de l'IOT [13]

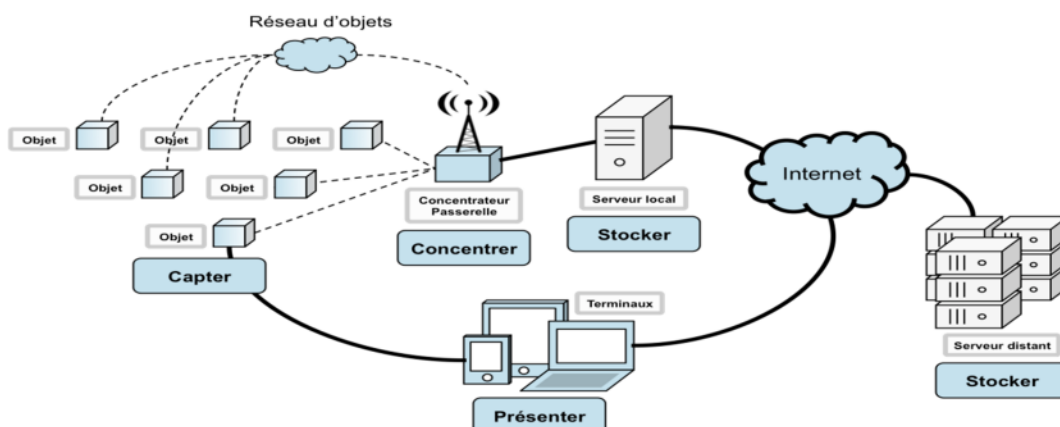


Figure 4: Architecture de l'IOT

Rôle des différents processus présentés sur le schéma:

- **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.

- Traitement des données: Intervient à tous les niveaux de la chaîne, depuis la capture de l'information à sa restitution. Consiste à stocker l'information dans sa forme intégrale.
- Transmission des données: est un processus qui intervient à tous les niveaux de la chaîne. Les supports de transmission utilisés sont les deux catégories de réseaux cités plus haut (les réseaux à longue portée et les réseaux à courte portée).

### 5.3 Les données

Il s'agit des éléments bruts récoltés par les objets (capteurs d'humidité, température, lumière...). Pour créer de la valeur à ces données, il est nécessaire de les stocker, archiver et sauvegarder dans des bases de données et de correctement structurer cette dernière.

### 5.4 Les informations

Les informations sont les résultantes des données traitées, corrélées et analysées. Ces informations doivent elles-aussi être stockées, archivées et sauvegardées dans des bases de données.

Voici un exemple :

1. Le capteur de votre porte d'entrée donne une donnée : porte ouverte ou fermée
2. Nous disposons d'une donnée universelle : l'heure

L'information sera d'alerter l'utilisateur: « votre porte est ouverte et à cette heure, ce n'est pas normal ». Il ya eu corrélation entre deux données, le capteur de porte et l'heure, pour générer une information.

### 5.5 Applications d'exploitation

Ce sont des interfaces Homme-machine (IHM), dans lesquelles l'utilisateur peut visualiser les données sous forme de tableaux ou de graphes.

Ces interfaces possèdent des mécanismes complémentaires tels que l'alerting par mail ou SMS, afin d'intervenir sur des incidents ou pour des dépassements de seuils. Il ya aussi d'autres mécanismes de comparaison entre les mesures reçues et des constantes ou entre un jeu de mesures...

## 6 Les protocoles M2M

M2M (Machine To Machine, communication inter-machines) désigne l'ensemble des outils TIC (technologies de l'information et de la communication), déployés pour permettre à des machines d'échanger des données entre elles sans intervention humaine. [19]

➤ Différence entre IOT et M2M :

Les systèmes M2M et IOT reposent sur les technologies permettant la communication parmi les machines, mais ces deux concepts sont distincts

- Le M2M applique une logique de communication point à point en utilisant un réseau cellulaire ou sans fil à courte distance, pour connecter des machines à un réseau. Ces machines exécutent des opérations spécifiques sans avoir besoin d'intervention humaine.
- L'Internet des Objets (IOT) est une version plus étendue du Machine to Machine et surtout plus ouverte, dans le sens où, le traitement et la transmission des informations sont dématérialisés et sortent du cercle interne de l'usine en passant par Internet. Les données captées en masses, sont envoyées sur une plateforme de type Cloud. Donc, les objets (les machines) interagissent avec leur environnement et communiquent dans un réseau beaucoup plus élargi. Au sein de ce système, les machines connectées sont généralement identifiées par une adresse IP.

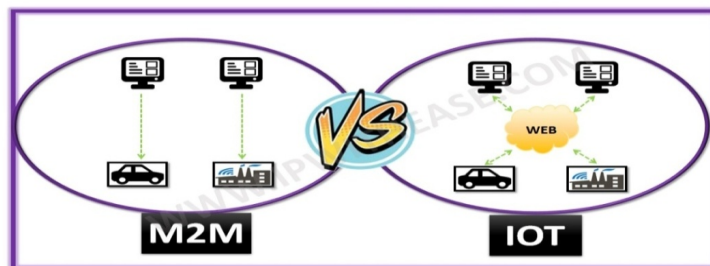


Figure 5: IOT VS M2M

## 7 Les protocoles utilisés dans l'IOT

### 7.1 Le protocole HTTP

HTTP (HyperText Transfer Protocol, en français « protocole de transfert hypertexte »), est un protocole de communication entre un client et un serveur pour le World Wide Web. HTTPS (« S » pour secured, sécurisé) est un protocole de communication Internet qui protège l'intégrité, ainsi, que la confidentialité des données, lors du transfert d'informations entre l'ordinateur de l'internaute et le site. Les données envoyées à l'aide du protocole HTTPS, sont sécurisées via le protocole TLS (Transport Layer Security).

HTTP est un protocole de la couche application, 7ème couche du modèle OSI. Il peut fonctionner sur n'importe quelle connexion fiable, dans les faits, on utilise le protocole TCP comme couche de transport. Un serveur HTTP utilise par défaut le port 80.

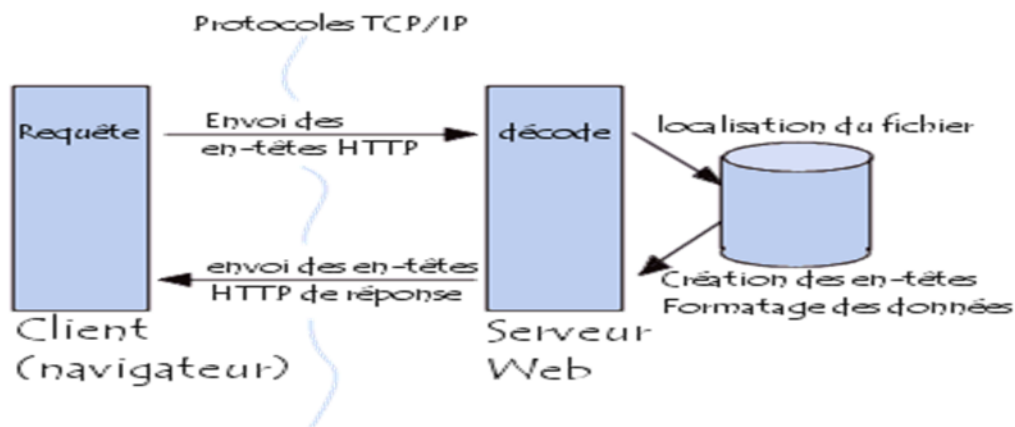


Figure 6: Fonctionnement du protocole http

## 7.2 Les WebSockets

WebSocket est un protocole réseau de la couche application, qui permet une communication full-duplex sur une seule connexion TCP, sur laquelle les messages peuvent être envoyés entre le client et le serveur. [20]

## 7.3 XMPP

Fondé sur le langage XML (eXtensible Markup Language), XMPP (eXtensible Messaging and Presence Protocol, en français « Protocole extensible de messagerie et de présence ») est un protocole destiné à la messagerie instantanée et à la détection de présence en ligne. Il fonctionne entre ou parmi des serveurs et facilite les opérations en quasi temps réel. Le protocole permet, aussi, aux internautes d'envoyer des messages instantanés à toute autre personne sur Internet, quels que soient les systèmes d'exploitation et navigateurs utilisés. [21]

## 7.4 MQTT

Protocole de messagerie conçu pour une communication machine à machine (M2M) légère, et principalement utilisé pour les connexions à faible bande passante vers des emplacements distants. MQTT utilise efficacement la bande passante, accueille toutes les données et est en permanence informé de l'état de la session, car il utilise le protocole TCP. Il est destiné à minimiser les besoins en ressources de l'appareil, tout en essayant d'assurer une fiabilité et un certain degré d'assurance de livraison. [22]

## 8 La sécurité dans l'IOT

- **Authentification:** L'authentification peut être définie comme le processus de prouver une identité revendiquée. Lorsqu'il existe une seule preuve de l'identité (mot de passe), on parle d'authentification simple, lorsque cette dernière nécessite plusieurs facteurs, on parle alors d'authentification forte.
- **Confidentialité:** La confidentialité est le fait de s'assurer que l'information n'est accessible qu'à ceux dont l'accès est autorisé, permet de garder la communication des données privée entre un émetteur et un destinataire. Le chiffrement des données est la seule solution pour assurer la confidentialité des données. Ceux dont l'accès est autorisé, permet de garder la communication des données privée entre un émetteur et un destinataire.
- **Intégrité:** L'intégrité permet de garantir que les données sont bien celles que l'on croit être, donc permet de garantir la protection des données contre les modifications et les altérations non autorisées.
- **Disponibilité:** La disponibilité est un service réseau qui permet de donner une assurance, aux entités autorisées d'accéder aux ressources réseaux. L'objectif est d'éviter les attaques de type Déni de service.
- **Non-répudiation:** Non-répudiation permet de garantir qu'une transaction, ne peut être niée, et qu'un message a bien été envoyé par un émetteur, et reçu par un destinataire, aucun des deux ne pourra nier l'envoi ou la réception du message.

❖ Les vulnérabilités les plus fréquemment rencontrées sur les objets connectés:

- **Mises à jour non sécurisées:** absence de chiffrement et de signature pour les mises à jour des micros logiciels,
- **Utilisation de secrets par défaut:** définition de clés et de mots de passe connus, en environnement de production,
- **Communications non-sécurisées:** absence ou faiblesse du chiffrement et du contrôle d'intégrité par signature numérique, sur les communications,
- **Stockage de données en clair:** absence de chiffrement sur le stockage local des données,
- **Présence des interfaces de débogage:** possibilité de prendre le contrôle des composants matériels de l'objet.

## 9 Domaines d'application de l'IOT

Plusieurs domaines d'application sont touchés par l'IOT, parmi ces principaux domaines nous citons: le domaine de sécurité, le domaine du transport, l'environnement, l'infrastructure et les services publics....etc. [23]

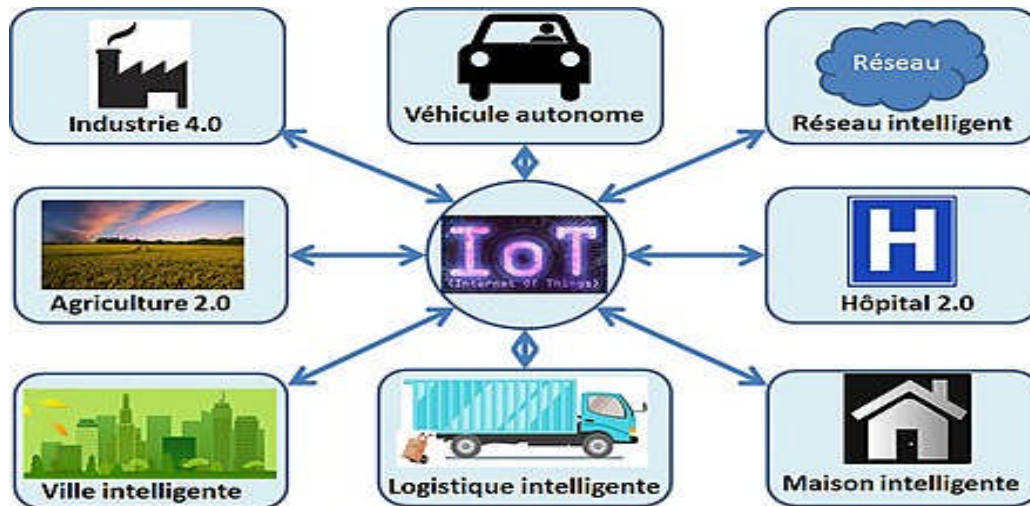


Figure 7: Domaines d'application de l'IOT

Suite à cette figure, nous pouvons citer quelques exemples :

- **La santé:** Machines à rayons X et imagerie, moniteurs connectés, compteurs d'énergie... 60 % des hôpitaux mondiaux utilisent déjà l'Internet des Objets, pour augmenter leur productivité et améliorer les soins apportés aux patients.

Les objets connectés sont utilisés au quotidien pour :

- La surveillance au sein des établissements médicaux et la maintenance,
- Les opérations chirurgicales et le contrôle à distance,
- Les services de géo localisation.

- **La domotique ou maison connecté:** La domotique regroupe l'ensemble des technologies permettant l'automatisation des équipements d'un habitat. Elle vise à apporter des fonctions de confort: commandes à distance, gestion d'énergie (optimisation de l'éclairage et du chauffage... etc.), sécurité (comme les alarmes), communication (contacts et discussion avec des personnes extérieures).

- **L'industrie connecté:** Dans le cadre des problématiques rencontrées dans le domaine industriel, l'usage des objets connectés est très spécifique et répond à des besoins :

- d'optimisation (chaîne logistique);
- de transformation des processus d'entreprise;
- d'amélioration de l'efficacité et de la productivité;
- de traçabilité et de sécurité.

➤ **Smart retail (des supermarchés branchés):** On retrouve, parmi les concepts de « smart retail », la technologie d'identification par radiofréquence (RFID), qui permet de renforcer l'expérience client en offrant un parcours client ultra personnalisé. Outre les applications mobiles, des concepts de chariots connectés ont déjà été pensés, pour faciliter les courses en supermarché : liste de courses intégrée, parcours guidé pour optimiser le temps de course, calcul automatique du montant du panier,...

Les commerçants investissent également dans les applications mobiles pour fidéliser et attirer les clients vers les boutiques physiques, par le biais, par exemple, de notifications sur les promotions / soldes en cours, lors du passage d'un client près d'une boutique.

➤ **Villes intelligentes (smart cities):** Au sein des villes intelligentes, la gestion de la consommation du particulier est mieux gérée, tout comme le traitement à plus large échelle des consommations de la ville (coût et pollution des transports en communs et déplacement urbains, traitement des déchets, gestion de l'électricité...). En outre, l'IOT permet aussi la gestion des stationnements, l'optimisation des flux de circulation, la gestion de l'éclairage public, la gestion des consommations énergétiques...etc

➤ **L'agriculture intelligente:** D'ici 2050, la productivité agricole devra augmenter de 70 % pour répondre à la demande mondiale. Les agriculteurs ont, déjà, mis à profit des drones, afin de récolter, en temps réel, des informations essentielles à la gestion de l'exploitation: humidité de la terre, état des plantations, climat, etc.

Les données récoltées sont transférées aux tracteurs connectés (parfois autonomes). Cela permet de doser, finement, le niveau d'engrais et d'arrosage sur telle ou telle parcelle et de réduire les coûts, financiers et énergétiques.

Ce secteur est l'objet de notre étude, plus précisément, nous allons traiter les serres agricoles, nous verrons tout ça dans le chapitre suivant.

## 10 Exemples d'objets connectés

- **Diagnoplant** [24]

Une suite d'applications de L'INRA (l'Institut national de la recherche agronomique), dédiées à divers produits agricoles : courgette, tomate, vigne, salade...

Chacune d'elles, permet d'identifier et diagnostiquer les maladies susceptibles d'abimer telle ou telle culture. Les utilisateurs peuvent détecter les problèmes via des images ou par une liste de noms latins destinés aux plus expérimentés. Chacune des maladies connues est ensuite expliquée et détaillée.

- **iCropTrak** [24]

iCropTrak est une application d'assistance dans la gestion d'une ferme. Celle-ci collecte l'ensemble des données relatives aux fermes et aide dans la plantation, la pulvérisation, les engrais, l'irrigation et l'échantillonnage. Fonctionnant en cloud, elle permet « la collaboration et la synchronisation des données de l'ensemble de votre équipe, tout en offrant la flexibilité, pour mettre en œuvre vos propres formulaires de données » explique la société éditrice sur son site.

- **Bioconnect** [25]

C'est une application web, accessible via un ordinateur, un smartphone ou une tablette. Concrètement, elle permet de détecter rapidement les complications liées à la chimiothérapie. Les patients peuvent, alors, alerter le médecin grâce à la collecte de plusieurs données, comme la température, les symptômes tels que les frissons, ou encore, un essoufflement important.

## 11 Conclusion

Jusqu'ici, nous avons présenté une vision générale de l'IOT, sa définition, ses avantages et inconvénients, son architecture, les technologies utilisées et ses domaines d'applications. A travers ce contenu, nous pouvons dire que l'IOT est conçu pour offrir une meilleure qualité de vie, par l'automatisation des gestes quotidiens, en fonction des besoins et des attentes de l'utilisateur.

# **Chapitre II**

## Généralités sur les serres agricoles

## 1 Introduction

La population mondiale et Algérienne, a doublé depuis la fin des années 70. Les besoins, de ces populations, en produits agricoles sains et riches, ont aussi doublé, ce qui entraîne un risque de pénurie alimentaire. C'est ici que rentre en jeu, le Smart Farming, ou l'Agriculture Intelligente.

## 2 Agriculture intelligente

L'agriculture intelligente est une révolution de l'agriculture classique, qui implique la réorientation des systèmes agricoles, afin de soutenir efficacement le développement alimentaire. Le principal objectif de l'agriculture intelligente est d'accroître la productivité et les revenus agricoles. [26]

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

## 3 Technologies utilisées dans l'Agriculture Intelligente

Toutes les technologies sont utilisées à ce niveau là, en passant des drones aux robots désherbeurs, voici quelques exemples :

- ❖ Fondée en 2010, Airinov [27] est aujourd'hui un des leaders du marché français, avec 10.000 utilisateurs et 150.000 hectares couverts. Les associés ont mis au point des drones, capables de calculer le poids du colza ou le taux de chlorophylle du blé, grâce aux longueurs d'onde émises par la plante. Airinov détermine, ensuite, les besoins en azote de chaque mètre carré de parcelle.

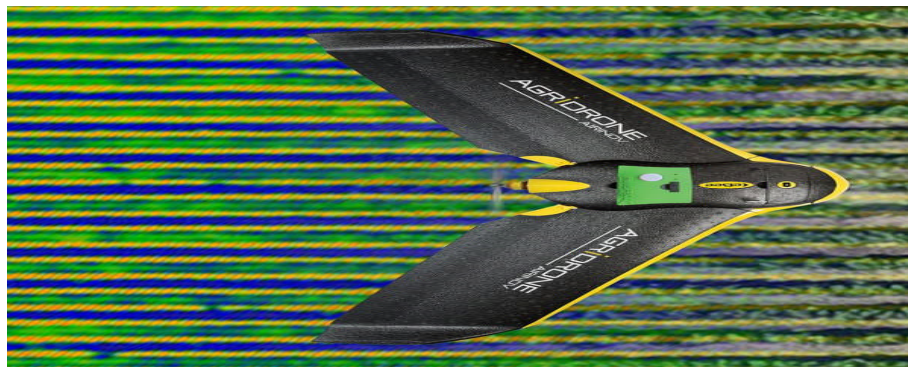


Figure 8: AIRINOV

- ❖ Ecorobotix [28]: robot autonome désherbant, grâce à son système de vision et d'intelligence artificielle, il peut suivre la position des lignes de cultures et les limites du champ, il peut aussi détecter la présence et la position des mauvaises herbes.



Figure 9: ECOROBOTIX

## 4 Domaines de l'agriculture intelligente

### 4.1 Agriculture de précision



Figure 10: Agriculture de précision

L'agriculture de précision est un principe de gestion des parcelles agricoles, qui vise l'optimisation des rendements et des investissements, en cherchant à mieux tenir compte des variabilités, des milieux et des conditions entre parcelles différentes, ainsi qu'à des échelles intra-parcellaires. [29]

Elle s'intéresse à l'intégration et l'utilisation des technologies de l'information et de divers éléments, tels que, les capteurs, les systèmes de contrôle, les robots et les véhicules autonomes, pour faciliter la gestion de l'élevage et de la croissance des cultures.

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

- Capteurs de sol, qui recueillent des données sur la teneur des sols en azote;
- Capteurs d'irrigation, qui mesurent le niveau d'eau et informent automatiquement le système d'irrigation et d'arrosage;
- Capteurs d'inondation, qui surveillent, également, les niveaux d'eau et peuvent être réglés pour fermer automatiquement les vannes responsables d'un arrosage excessif des plantes, et envoyer, simultanément, une alerte vers une adresse e-mail spécifiée;
- Capteurs de gel, qui permet de détecter et d'alerter, automatiquement, les utilisateurs lorsque les conditions météorologiques laissent présager un gel susceptible d'endommager les plantes sensibles.

#### 4.2 Contrôle du bétail

L'internet des objets peut aider, également, à contrôler les bétails. Les grandes exploitations peuvent tirer parti des applications Internet sans fil, pour collecter des données sur l'emplacement, le bien-être et la santé de leurs animaux, ce qui les aide à identifier les animaux malades et à les séparer du troupeau, évitant, ainsi, la propagation de la maladie. Avec l'aide de capteurs basés sur Internet [30].



Figure 11: Contrôle du bétail

### 4.3 Serres Intelligentes

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

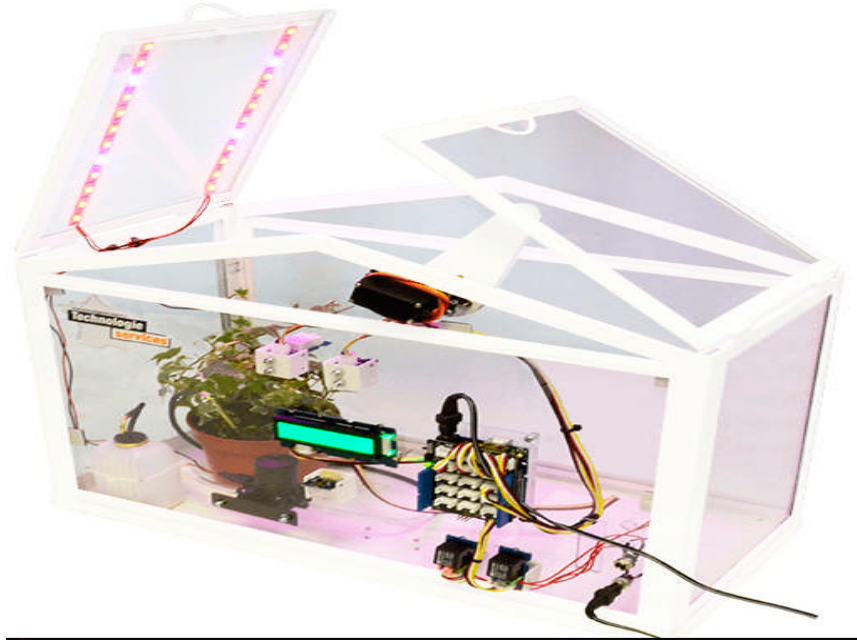


Figure 12 : Serre intelligente

Pour contrôler la serre, différents capteurs (connectés à internet ou non) sont utilisés pour mesurer les normes environnementales, en fonction des exigences de chaque plante. Ceci élimine la nécessité d'une surveillance statique dans les serres. Ces capteurs fournissent des informations sur les niveaux de lumière, de pression, d'humidité et de température, qui contrôlent automatiquement les déclencheurs pour ouvrir la fenêtre, allumer les lumières, contrôler le chauffage et allumer le ventilateur.

Ce domaine constitue l'objet de notre étude, nous allons parler, dans ce qui suit, des serres agricoles.

## 5 Les serres agricoles

### 5.1 Définition

Une serre est une structure qui peut être parfaitement close translucide, en verre ou en plastique, soutenue par une structure métallique ou en bois destinée, en général, à la production agricole. Elle vise à créer un environnement favorable au développement des cultures, en tirant parti de l'influence du climat, en créant un micro climat, pour une meilleure gestion des besoins des plantes, pour en accélérer la croissance et pour les produire indépendamment des saisons. [31]



Figure 13: Serre agricole

### 5.2 Importance de la serre

La serre de culture offre la possibilité de s'affranchir des contraintes climatiques extérieures (pluie, vent, froid). Elle est conçue pour recréer un environnement donné (microclimat). Elle permet le chauffage de l'air et des racines, le contrôle de l'irrigation et de la fertilisation, l'enrichissement en CO<sub>2</sub> et le contrôle de l'humidité. Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en hors saison. [32]

La serre permet, ainsi, d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existantes naturellement, et ce par une meilleure qualité du produit. Pour aboutir à ces résultats, il faut répondre, minutieusement, aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenant dans sa croissance et son développement, ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres.

### 5.3 Avantages de la production sous serre

La production sous serre permet de pallier les problèmes rencontrés lors d'une culture en plein air: [33]

- ❖ Les besoins des cultures sont limités dans le climat local.
- ❖ Les conditions climatiques externes entravent la production sous serre.
- ❖ La serre permet de gérer aisément les facteurs climatiques, ce qui n'est pas le cas pour une culture en plein air.

Parmi les avantages majeurs d'une production sous serre, nous citons : [34]

- ❖ Production et rendement satisfaisant.
- ❖ Production hors saisons des fruits, légumes et espèces florales.
- ❖ Diminution notable des maladies nuisible aux plantes grâce à la climatisation.
- ❖ Exploitation réduite des terres agricoles.
- ❖ Qualité et précocité des récoltes.

### 5.4 Les types de serre

La classification des serres est très complexe et plus difficile, elle est souvent faite selon les formes données par les cadres porteurs qui constitue l'assemblage, nous distinguons deux principaux types appartenant à deux grandes familles de serres: Les serres chapelle et les serres tunnels. [35]

#### 5.4.1 La serre chapelle

La chapelle est l'unité de construction de la serre, formée par deux parois latérales verticales (ou très légèrement penchées) et un toit à deux pentes, généralement symétriques. La chapelle est caractérisée par sa largeur, les dimensions courantes sont approximativement entre 3 et 16m.



Figure 14 : Serre chapelle

### 5.4.2 La serre tunnel

En général, la serre tunnel se compose d'une série d'éléments juxtaposés constitués, chacun, par une armature en tube d'acier, assemblé par des boulons. La largeur est de 3 à 9 m. Le film plastique se fixe par divers systèmes de clips.

La serre tunnel est spécialement dédiée aux cultures précoces. Elle est incontournable pour le potager, puisqu'elle permet de prolonger la récolte de fruits et légumes hors saison, voir de permettre des floraisons d'été.



Figure 15: Serre tunnel

## 5.5 Conditions environnementales dans les serres

La progression des plantes dans les serres implique certaines conditions climatiques spéciales.

Dans ce qui suit, nous présentons d'une manière générale ces conditions :

**-Lumière :** La plupart des légumes nécessitent au moins 8 heures de lumière par jour pour produire de manière satisfaisante. Dans des zones très nuageuses ou durant les courtes journées d'hiver, un éclairage supplémentaire est nécessaire.

**-Gaz carbonique :** Les serres commerciales utilisent couramment des générateurs de CO<sub>2</sub> pour maximiser leur production. Lors de la conception d'un système de CO<sub>2</sub>, les rendements n'augmenteront que si le CO<sub>2</sub> est le «facteur limitant». Cela signifie que si toutes les autres variables ne sont pas optimales (lumière, engrais, température / humidité, pH, etc.), les avantages d'une augmentation des niveaux de CO<sub>2</sub> ne seront pas obtenus [36].

**-mouvement de l'air** : Il est aussi un facteur important qui affecte la croissance de la plante, modifiant les transferts d'énergie, la transpiration et l'absorption de CO<sub>2</sub>, ce qui affecte la taille des feuilles, ainsi que la croissance de la tige et le rendement. Le taux de photosynthèse peut être augmenté de 40 % si la vitesse du vent augmente de 10 à 100 cm /s [36].

**-Humidité** : L'humidité de l'air et celle du sol sont deux facteurs importants pour la croissance des plantes.

**-Température** : La température de l'air et celle du sol doit également respecter certaines normes.

## 5.6 Contrôle des conditions environnementales

### 5.6.1 Contrôle de lumière

Le contrôle de la lumière peut concerner les actions suivantes :

- **Renforcement de l'éclairage** : Durant les courtes journées d'hiver ou dans les zones très nuageuses, un éclairage supplémentaire est requis. Le renforcement de l'éclairage peut être réalisé par une source supplémentaire d'éclairage, basé sur des lampes électriques ou par la lumière réfléchi du soleil. La lumière réfléchi est surtout importante dans le cas des jardins urbains.

- **Réduction de l'éclairage** : S'il y a trop de lumière dans la serre, on peut la diminuer.

### 5.6.2 Gaz carbonique

Le contrôle du gaz carbonique peut concerner l'enrichissement en CO<sub>2</sub>. Le taux de CO<sub>2</sub> peut être augmenté en utilisant des générateurs de CO<sub>2</sub>.

### 5.6.3 Humidité de l'air

Le contrôle de l'humidité peut concerner les deux actions suivantes [37] :

- **Diminuer l'humidité élevée** : Ceci peut être réalisé par aérer l'air humide vers l'extérieur.

À chaque fois que la température extérieure est suffisamment chaude, la ventilation vers l'extérieur peut diminuer l'humidité.

- **Augmenter l'humidité** : Il est possible d'augmenter l'humidité en arrosant simplement le sol et en utilisant des climatiseurs. Une autre méthode consiste à utiliser un système de brumisation pour pulvériser le brouillard dans l'air. Cela aidera à refroidir la serre tout en ajoutant de l'humidité à l'air.

### 5.6.4 Température

Le contrôle de température peut concerner :

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

Le principe de refroidissement par évaporation est simple, lorsque les ventilateurs d'extraction expulsent de l'air à l'une des extrémités de la serre, ils aspirent de l'air humide à l'autre extrémité. Le déplacement de l'air humide peut conduire à une évaporation de l'eau et par conséquent, y'aura une absorption de la chaleur. Le refroidissement peut être effectué en utilisant un rideau d'ombrage interne, qui peut être tiré par temps nuageux et étendu (manuellement ou avec de petits moteurs).

- **Chauffage** : Nous pouvons chauffer la serre par un petit système électrique contrôlé par thermostat. Ce système peut délivrer la chaleur uniquement lorsque cela est nécessaire.

Nous pouvons, également, chauffer la serre en utilisant du gaz avec un chauffage central.

## 6 Quelques équipements utilisés dans une serre

Parmi les équipements qui composent une serre agricole, nous en avons : [38]

### ➤ Ecran :

Il permet de contrôler la quantité de lumière, l'humidité et la température à l'intérieur de la serre, ce qui permet d'optimiser les conditions pour la culture et de réduire les coûts énergétiques. L'écran présente une structure flexible qui occupe très peu d'espace une fois replié et qui laisse passer le maximum de lumière.



Figure 16 : Ecran

### ➤ Cooling (Système de réfrigération) :

Ce système de réfrigération par évaporation d'eau, est composé d'extracteurs et de panneaux de refroidissement placés sur les parois opposées de la serre, pour créer une zone de pression négative dans la serre.

Cela permet, que l'air extérieur qui traverse les panneaux humides, en se chargeant avec des molécules d'eau, de se refroidir et de réduire, ainsi, la température à l'intérieur de la serre.



Figure 17 : Système de réfrigération

➤ Chauffage d'air :

Les générateurs d'air chaud sont, spécialement, indiqués lorsqu'il n'existe pas de demande de chauffage importante, de façon continue et comme défense ponctuelle face aux gelées. Avec ce système, il est possible d'obtenir une précocité et productivité majeures, dans les saisons froides, avec un degré de technicité moyen.



Figure 18: Chauffage d'air

➤ Chauffage d'eau :

Il s'agit de systèmes de chauffage qui produisent une chaleur centralisée avec du gaz naturel, gasoil, biomasse ou chaleur géothermique.

L'eau est employée comme élément transporteur de la chaleur. Elle circule à travers un réseau de tuyaux métalliques, en fonction de la température de la source d'eau chaude, des besoins du delta thermique et de la culture.



Figure 19 : Chauffage d'eau

➤ Extracteur :

Les ventilateurs extracteurs, permettent de forcer l'aération dans la serre, lorsque la ventilation naturelle à travers les ouvrants du toit et/ou du périmètre, ne permet pas d'atteindre le taux de renouvellement d'air, désiré.

Ils sont indispensables pour un système cooling avec des panneaux évaporateurs et, souvent aussi, avec des systèmes de brumisation d'eau, afin d'obtenir un certain niveau de réfrigération adéquat.



Figure 20 : Extracteur

➤ Brasseur d'air :

Les brasseurs d'air ou ventilateurs, permettent d'obtenir un mouvement de l'air pour aider à maintenir un climat intérieur homogène, de façon à éviter l'accumulation d'air chaud dans la partie supérieure de la serre, ce qui réduit, considérablement, l'effet de condensation de l'eau et favorise la transpiration et l'absorption de CO<sub>2</sub> par les cultures.



Figure 21 : Brasseur d'air

➤ Fertirigation :

La Fertirigation est l'application, simultanée, d'eau et d'engrais à travers un système d'irrigation, qui fournit au sol ou au substrat tous les éléments nutritifs dont les cultures ont besoin. La fertirigation est spécialement pratique dans le cas de l'irrigation localisée. Avec les équipements automatiques de fertirigation de haute technologie, l'eau et les engrais restent parfaitement localisés dans la zone d'absorption des racines, pour améliorer la vitesse de croissance et la qualité de la culture.



Figure 22 : Fertirigation

## **7 Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'avoir une vue globale sur l'agriculture intelligente, puis nous avons introduit, en détail, les serres agricoles avec leurs types et bénéfices et nous avons cité les conditions environnementales, essentiels, à prendre en compte, pour la réalisation de notre système de contrôle. Enfin nous avons clôturé le chapitre avec quelques équipements utilisés dans la serre.

# **Chapitre III**

Réseaux de neurones et  
classification d'images

## 1 Introduction

Les anciennes méthodes de construction de logiciel (systèmes à base de règles), ont montré leurs limites face à des problèmes, comme, la classification, la reconnaissance des objets..etc. Pour mettre l'accent sur la limite des méthodes basées sur les systèmes de règles, prenons un exemple:



Figure 23 : Image d'une tomate

Cette image représente une tomate, quand nous demandons à des personnes pourquoi c'est une tomate, les réponses et les arguments vont être divers (couleurs, forme...), de plus, il y a un très grand nombre de catégorie de tomates, et même les images qui sont prises de la même tomate, dans ses différents états (en cours de croissance, mûre...) sont différentes. Une telle reconnaissance est difficile à réaliser par un système de règles, voire même impossible.

Pour résoudre ce problème, nous devons apprendre à notre système à reconnaître des tomates sans les mentionner formellement, d'une autre façon, nous devons inculquer un comportement humain au système, ce qui nous entraîne dans le monde de l'intelligence artificielle.

## 2 C'est quoi une image

Une image est la projection d'un ensemble de rayons lumineux, provenant du monde extérieur, sur un plan. Les blocs de construction d'une image sont les pixels. [39]

D'un point de vue humain, une image contient plusieurs informations sémantiques, mais d'un point de vue mathématique, ce n'est qu'une matrice de nombres, représentant un signal.

### 2.1 Image numérique

Une image numérique est défini comme une fonction  $f(m,n,...)$  à valeurs discrètes et finies, et dont les coordonnées  $m,n...$  sont également à valeurs discrètes et finies. [40]

$$f : \mathbb{N}^d \rightarrow \mathbb{R}^b$$

$\mathbb{N}$  : nombres naturels,

$\mathbb{R}$  : nombres réels,

$b$  : nombre de valeurs par pixel,

$d$  : dimension.

$$m, n, \dots \rightarrow f(n, m, \dots)$$

Ainsi par exemple, une image à niveaux de gris correspond à  $d = 2$  (l'image a deux dimensions) et  $b = 1$  (il n'y a qu'une valeur par pixel : le niveau de gris).

Pour une image couleur classique,  $d = 2$  et  $b = 3$  (il y a 3 bandes rouge, vert et bleu).

## 2.2 Codage de couleur

### ➤ Noir et blanc:

Dans ce cas, un pixel d'une image n'a la possibilité d'avoir que deux valeurs distinctes, le 0 pour le noir et le 1 pour le blanc.

### ➤ Niveau de gris:

Le niveau de gris est la valeur de l'intensité lumineuse en un point. La couleur du pixel peut prendre des valeurs allant du noir au blanc, en passant par un nombre fini de niveaux intermédiaires. Donc, pour présenter les images au niveau de gris, nous pouvons attribuer à chaque pixel de l'image une valeur qui correspond à la quantité de lumière renvoyée. Cette valeur peut être comprise entre 0 et 255.

### ➤ Image couleur RGB:

L'œil humain analyse la couleur à l'aide de trois types de cellules photo. Ces cellules sont sensibles aux basses, moyennes, ou hautes fréquences (rouge, vert, bleu). Pour représenter la couleur d'un pixel, il faut donc donner trois nombres, qui correspondent au dosage de trois couleurs de base: Rouge, Vert, Bleu. Nous pouvons, ainsi, représenter une image couleur par trois matrices, chacune correspond à une couleur de base.

## 3 Traitement d'images

Le traitement d'images est une discipline de l'informatique et des mathématiques appliquées, qui étudie les images numériques et leurs transformations, dans le but d'améliorer leur qualité et d'en extraire de l'information.

La compréhension du traitement d'image commence par la compréhension de ce qu'est une image. Le mode et les conditions d'acquisition et de numérisation des images traitées, conditionnent largement les opérations qu'il faudra réaliser, pour extraire de l'information.

## 4 Méthodes de classification d'images

Divers méthodes peuvent être utilisées pour la classification des images, nous citons:

### 4.1 Arbre de décision

En théorie des graphes, un arbre est un graphe non orienté, cyclique et connexe. L'ensemble des nœuds se divise en trois catégories :

- Nœud racine (l'accès à l'arbre se fait par ce nœud),
- Nœuds internes : les nœuds qui ont des descendants (ou enfants), qui sont à leur tour des nœuds,
- Nœuds terminaux (ou feuilles) : nœuds qui n'ont pas de descendant.

Les arbres de décision emploient une représentation hiérarchique de la structure des données, sous forme des séquences de décisions, en vue de la prédiction d'un résultat ou d'une classe. L'apprentissage par arbres de décisions, permet de rendre la compréhension de son fonctionnement plus facile pour l'utilisateur.

Chaque observation, qui doit être attribuée à une classe, est décrite par un ensemble de variables, qui sont testées dans les nœuds de l'arbre. Les tests s'effectuent dans les nœuds internes et les décisions sont prises dans les nœuds feuilles.

### 4.2 K plus proche voisin (KNN)

Le principe de l'algorithme KNN, est de classer les exemples dont la classe est inconnue, en se basant sur leur similarité avec un ensemble d'échantillons de référence.

La similarité est déterminée par un calcul de distance. La distance euclidienne décrite dans l'équation suivante est la plus utilisée:

$$d(X, u) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - u_i)^2}$$

Où

$d$  est la distance euclidienne,  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  est l'élément à classifier.

$u$  est un élément de la base de référence.

$n$  étant la dimension du vecteur de caractéristiques.

La figure III.24 illustre le principe du KNN; pour déterminer la classe d'un échantillon  $X$  à l'aide du classificateur KNN, nous cherchons les plus proches voisins par le calcul de la distance euclidienne entre  $X$  et tous les éléments des deux classes Gr1 et Gr2, l'élément  $X$  est affecté à la classe où le nombre des voisins trouvés est majoritaire.

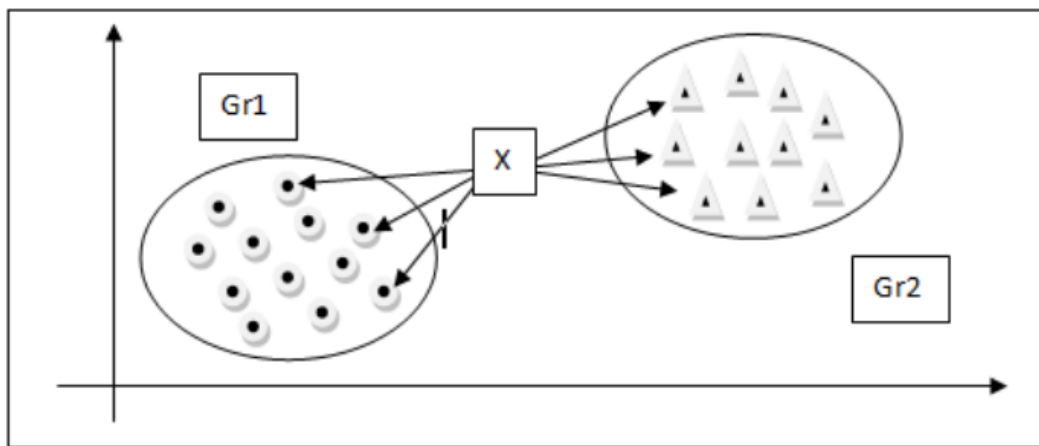


Figure 24 : Distance euclidienne entre  $X$  et les éléments des deux classes Gr1 et Gr2

### 4.3 Les réseaux de neurones

Un réseau de neurones est le produit de l'interconnexion, en un graphe, d'un grand nombre d'éléments simples (neurones), s'organisent généralement en couches superposées, où l'output (sortie) des uns devient l'input (entrée) des autres. Ces éléments ont été inspirés du système nerveux biologique.

Le fonctionnement du réseau de neurones est influencé par la connexion d'éléments entre eux, de ce fait, on peut l'entraîner pour une tâche donnée, en modifiant les poids d'interconnexion des neurones (coefficient attribué à chaque entrée du neurone) qui composent ce réseau. Cet ajustement se fait, en comparant la réponse du réseau et la sortie voulue, jusqu'à ce que la réponse se rapproche, le maximum, du résultat voulu.

Pour notre projet, nous avons utilisé la méthode de classification par réseaux de neurones, nous détaillerons cette dernière dans ce qui suit.

## 5 Réseaux de neurones artificiels

Un réseau de neurones artificiel est un ensemble de processeurs élémentaires, fortement connectés, fonctionnant en parallèle. Chaque processeur (neurone) calcule une sortie à la base des entrées qu'il reçoit.

Mathématiquement, un réseau de neurones artificiel (RNA) est un graphe orienté, chaque nœud (neurone) réalise des calculs élémentaires.

### 5.1 Topologie du réseau de neurones

Les connexions entre les neurones qui constituent le réseau, déterminent la topologie utilisée. Elle peut être quelconque, mais, souvent, il est possible de distinguer une certaine régularité.

#### 5.1.1 Réseau multicouches

Les neurones sont arrangés par couche. Chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante, les connexions de celle-ci, se font qu'avec les neurones des couche avales, il n'y a pas de connexion entre les neurones d'une même couche. [41]

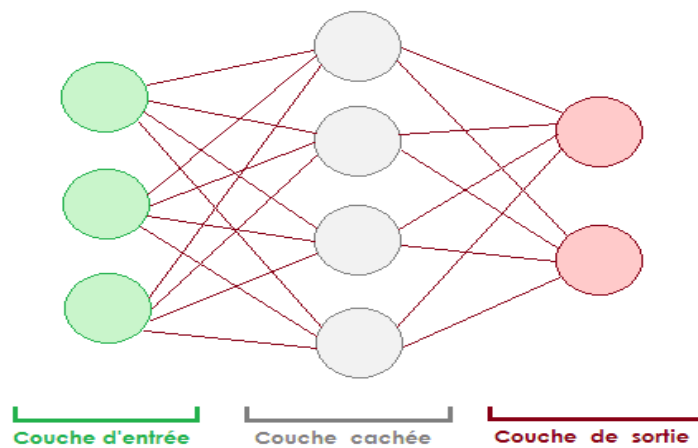


Figure 25 : Réseau multicouches

#### 5.1.2 Réseau à connexions locales

C'est une structure multicouche. Chaque neurone entretient des liaisons avec un nombre réduit de neurones de la couche suivante, de ce fait, les connexions sont moins nombreuses que dans un réseau multicouche classique. [42]

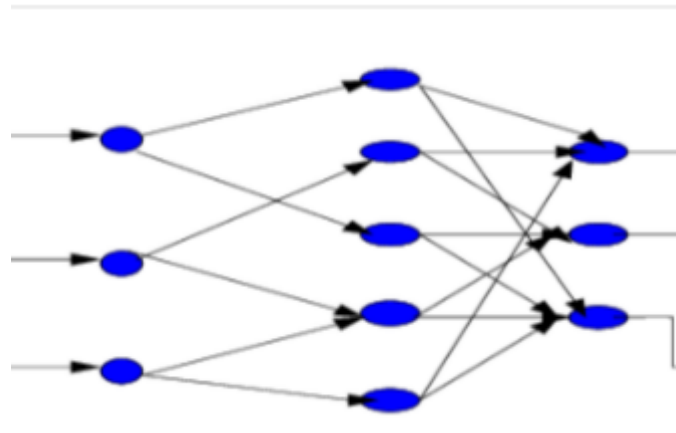


Figure 26 : Réseau à connexion locale

### 5.1.3 Réseau à connexions récurrentes

Les connexions récurrentes ramènent l'information en arrière, par rapport au sens de propagation défini dans un réseau multicouche. Ces connexions sont, le plus souvent, locales. [42]

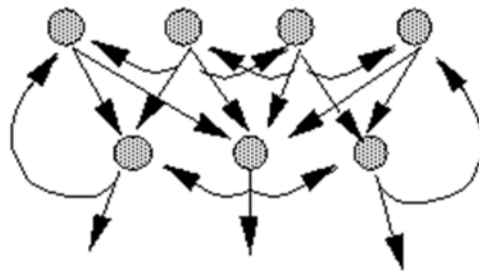


Figure 27 : Réseau à connexions récurrentes

### 5.1.4 Réseau à connexion complète

C'est la structure la plus générale, où chaque nœud est connecté à tous les nœuds qui composent le réseau. [42]

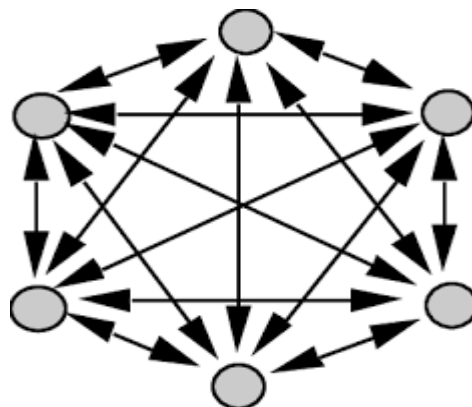


Figure 28 : Réseau à connexion complète

## 5.2 Neurone formel

Un neurone formel (perceptron) est une représentation mathématique du neurone biologique, chaque neurone est un processeur élémentaire qui reçoit en entrée un vecteur d'attributs (les entrées), émet une valeur en sortie et comme indiqué dans le schéma ci dessous, les entrées et la sortie d'un neurone artificiel, correspondent aux dendrites et axone dans le neurone biologique.

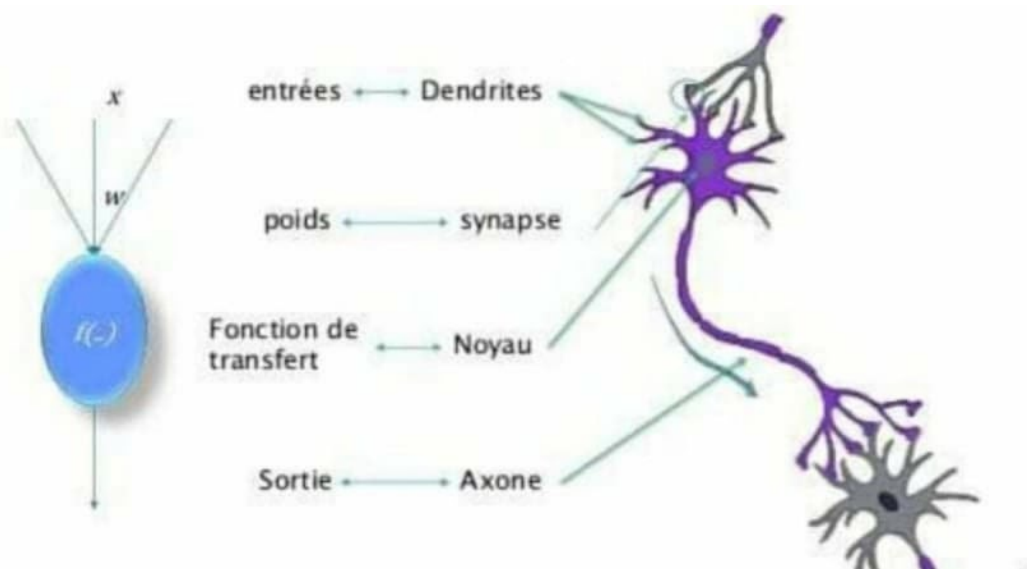


Figure 29 : Correspondance entre neurone formel et neurone biologique

### 5.2.1 Structure d'un neurone artificiel

Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones en amont, et à chacune de ces entrées est associée un poids  $w$  (abréviation de weight), qui représente la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie, ensuite, pour alimenter un nombre variable de neurones avals. Chaque connexion est associée à un poids. [42]

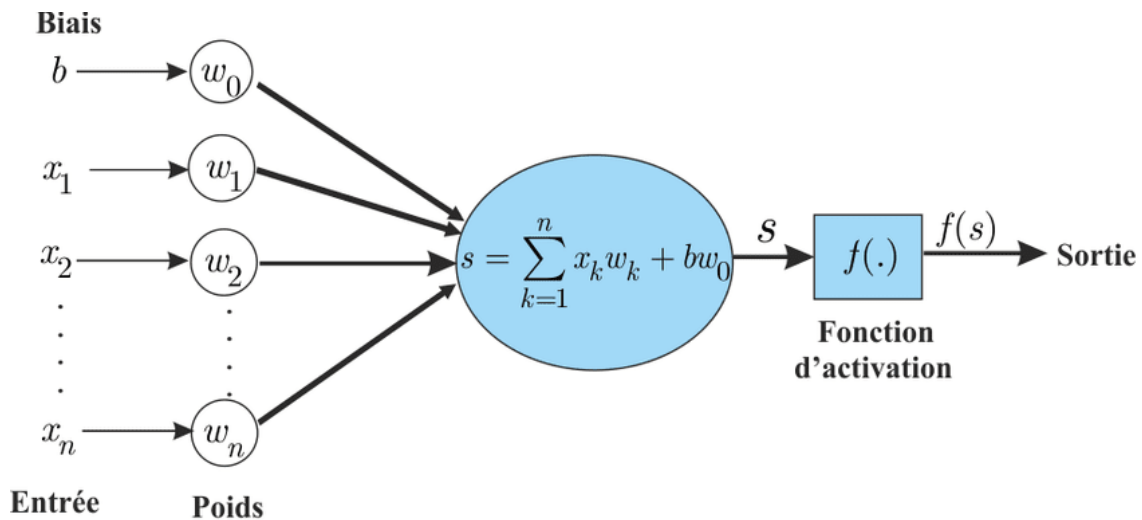


Figure 30 : Structure d'un neurone artificiel

Le fonctionnement du neurone peut être résumé par la formule mathématique suivante:

$$\text{Sortie} = A \left( b + \sum_{i=1}^n x_i * w_i \right)$$

où:

- A Est une fonction d'activation, qui prend en entrée le résultat de la somme des entrées pondérées du perceptron et du biais, et renvoie en sortie une valeur dite d'activation;
- b Il s'agit d'un biais, c'est-à-dire, une constante de correction utilisée afin d'affiner les résultats en sortie du neurone;
- $x_i$  (i allant de 1 à n) correspond à l'ensemble des entrées (inputs) perçues par le perceptron, celles-ci, pouvant être le résultat en sortie d'autres neurones, ou des données brutes perçues en entrée;
- $w_i$  (i allant de 1 à n) est l'ensemble des poids associés aux entrées, où chaque entrée (input) se voit associée un poids unique.

### 5.2.2 Fonction d'activation

Comme vu précédemment, le résultat de la somme des inputs pondérées et du biais, est soumis en entrée à une fonction A, appelée fonction d'activation, elle se charge d'associer un état (neurone activé ou neurone non activé) au neurone, selon les entrées qu'elle reçoit.

Les fonctions d'activation les plus populaires sont:

- La fonction Sigmoidale (logistique) :

Définis par la formule suivante:

$$\forall x \in \mathbb{R} \exists y \in ]0,1[ \text{ tel que } y = S(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

- La fonction tangente hyperbolique (tanh):

Définie par :

$$\forall x \in \mathbb{R} \exists y \in ]-1,1[ \text{ tel que } y = \tanh(x) = \frac{1 - \exp(-2x)}{1 + \exp(-2x)}$$

- La fonction d'unités linéaire rectifiées (ReLU):

$$\forall x \in \mathbb{R} \exists y \in ]-\infty, +\infty[ \text{ tel que } y = \text{ReLU}(x) = \text{Max}(0, X)$$

En d'autre terme:

Si  $x < 0$  alors  $\text{ReLU}(x) = 0$

Et Si

$x > 0$  alors  $\text{ReLU}(x) = x$

Ces fonctions permettent d'ajouter la non linéarité entre les neurones et leurs entrées.

### 5.3 Les approches d'apprentissage

Définir une architecture du réseau est insuffisant pour résoudre un problème donné. Il faut chercher une configuration de poids, pour les différents neurones, adaptée au problème.

A partir de là, on peut définir l'apprentissage comme la modification des poids du réseau dans le but d'avoir un comportement désiré.

Nous distinguons deux approches d'apprentissage, définies par le type de données utilisées dans le réseau de neurones, à savoir:

#### 5.3.1 Apprentissage supervisé

Ce type de solution se base sur le fait d'inculquer à un réseau de neurones une logique d'association, en injectant à la phase d'entraînement des entrées à analyser, tout en indiquant au réseau, les sorties attendues, ensuite, s'il venait à ne pas proposer la solution attendue, on ajuste les poids de connexion du réseau de façon à réduire l'écart entre les 2 valeurs.

Nous pouvons résumer l'apprentissage supervisé comme:

Soit  $x$  en entrée et  $y$  en sortie, trouver  $f(x)$  tel que  $f(x) = y$

### 5.3.2 Apprentissage non supervisé

Le réseau de neurones s'ajuste uniquement en fonction des entrées, celui-ci doit parvenir à identifier des relations entre ces dernières, en fonction des similarités entre les différentes entrées.

### 5.4 Rétro propagation: (Back propagation)

Il est à l'origine de la faculté d'apprentissage des réseaux de neurones, il intervient lors de la phase d'entraînement, et indique aux RNA les ajustements à apporter aux valeurs de l'ensemble de ses poids.

Afin d'aboutir à des résultats qui correspondent aux attentes spécifiées, il intervient couche par couche, en commençant par la couche de sortie, puis, remonter en propageant les changements à apporter, d'où son nom back propagation.

### 5.5 Fonction de coûts

Les fonctions de coût, permettent d'évaluer l'écart entre les résultats attendues pour une entrée proposées au réseau de neurones, et la prédiction de ce dernier; il est à noter, qu'il en existe un certain nombre de variantes, qui selon l'architecture du réseau ou encore le type de problématique abordée, peut, plus ou moins, convenir. Le réseau va s'adapter jusqu'à ce que l'erreur, entre la prédiction et la valeur attendue, soit négligeable.

### 5.6 La Descente de Gradient

C'est un algorithme d'optimisation, qui permet de minimiser la valeur de sortie d'une fonction pondérée, en permettant d'altérer, pas à pas, les valeurs des variables de cette fonction, pour aboutir à un minimum locale ou globale, et cela, en minimisant l'erreur, c'est à dire, que notre réseau de neurones commence à se rapprocher, petit à petit, de la valeur attendue en sortie.

## 6 Les réseaux de neurones Convolutif : CNN

Dans le cadre de notre projet, nous allons concevoir un modèle capable de classier des images d'une culture en deux classes: culture malade, culture en bon état, en utilisant les réseaux de neurones convolutifs (CNN).

Les réseaux de neurones convolutifs (CNN) ont une méthodologie similaire à celle des méthodes traditionnelles d'apprentissage supervisé, ils reçoivent des images en entrée, détectent les features de chacune d'entre elles et entraînent un classifieur dessus.

Ce qui fait leur force, est qu'ils apprennent les caractéristiques (features) de chaque image par eux même. De plus, l'architecture spécifique du réseau permet d'extraire des features de différentes complexités, des plus simples au plus sophistiquées. [43]

### 6.1 Fonctionnement des CNN

**Le premier bloc:** fait la particularité de ce type de réseaux de neurones, puisqu'il fonctionne comme un extracteur de features. Il effectue du template matching en appliquant des opérations de filtrage par convolution.

La première couche filtre l'image avec plusieurs noyaux de convolution, et renvoie des "feature maps", qui sont ensuite normalisées (avec une fonction d'activation) et/ou redimensionnées. Ce procédé peut être réitéré plusieurs fois: on filtre les features maps obtenues avec de nouveaux noyaux, ce qui nous retourne des nouvelles features maps à normaliser et à redimensionner, et qu'on peut filtrer à nouveau, et ainsi de suite. Enfin, les valeurs des dernières feature maps sont concaténées dans un vecteur, ce vecteur définit la sortie du premier bloc, et l'entrée du second.

**Le second bloc:** il se retrouve à la fin de tous les réseaux de neurones utilisés pour la classification. Les valeurs du vecteur en entrée sont transformées (avec plusieurs combinaisons linéaires et fonctions d'activation) pour renvoyer un nouveau vecteur en sortie. Ce dernier contient autant d'éléments qu'il y a de classes. L'élément représente la probabilité que l'image appartient à une classe. Chaque élément est donc compris entre 0 et 1, et la somme de tous vaut 1. Ces probabilités sont calculées par la dernière couche de ce bloc, qui utilise une fonction logistique (classification binaire) ou une fonction softmax (classification multi-classe) comme fonction d'activation.

## 6.2 Architecture d'un CNN

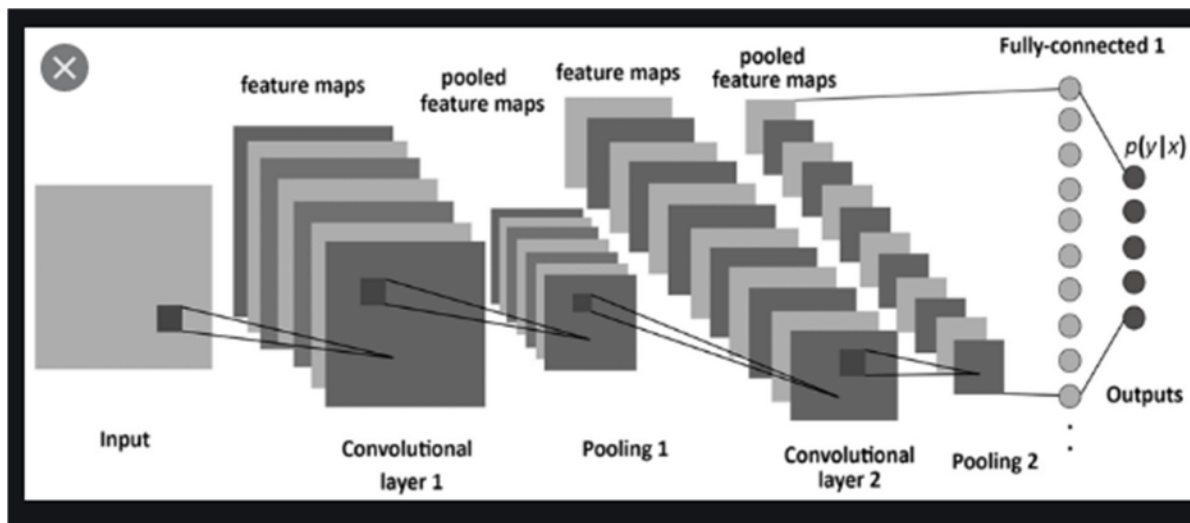


Figure 31 : Architecture d'un CNN

Comme montré dans la figure III.31, il existe quatre types de couches pour un réseau de neurones convolutif: la couche de convolution, la couche de pooling, la couche de correction ReLU et la couche fully-connected. [44]

➤ La couche de convolution:

Le but de cette couche est de repérer un ensemble de features dans les images reçues en entrée.

Pour réaliser un filtrage par convolution, on transpose une fenêtre qui représente la feature sur l'image et on calcule le produit de convolution entre la feature et chaque portion de l'image balayée. Pour chaque paire (image, filtre), on aura une feature map qui nous indique où se situent les features dans l'image.

➤ La couche de pooling:

Ce type de couche est, souvent, placé entre deux couches de convolution : elle reçoit en entrée plusieurs feature maps, et applique à chacune d'entre elles l'opération de pooling, qui consiste à réduire la taille des images, tout en gardant leurs caractéristiques importantes.

On découpe l'image en cellules régulières, puis on garde au sein de chaque cellule la valeur maximale, on prend de petites cellules pour ne pas en perdre des informations. On obtient en sortie le même nombre de feature maps qu'en entrée, mais qui sont de tailles plus petites.

Voici un exemple :

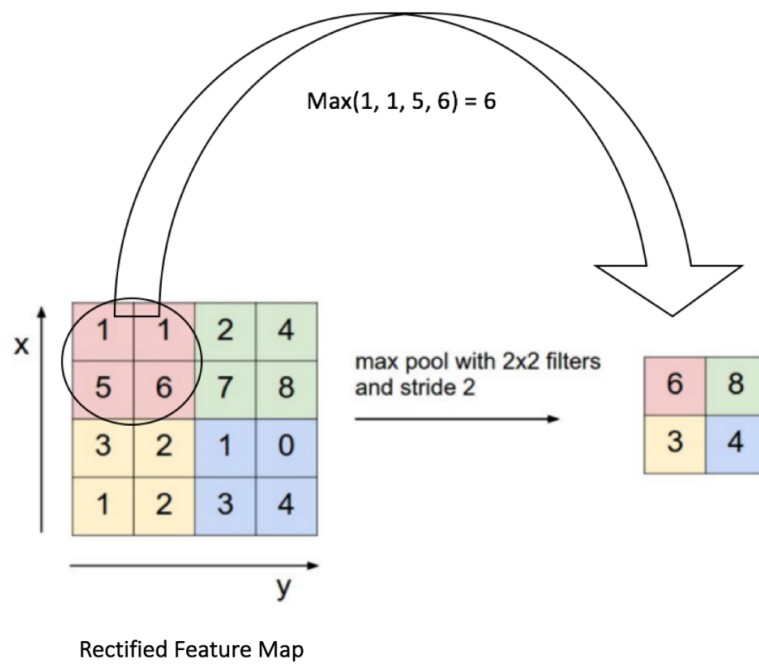


Figure 32 : Réduction de la taille des images

➤ La couche ReLU:

ReLU (Rectified Linear Units) est une fonction réelle non linéaire définie par :

$$\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$$

La couche de correction ReLU remplace toutes les valeurs négatives reçues en entrées par des zéros. Elle joue le rôle de fonction d'activation.

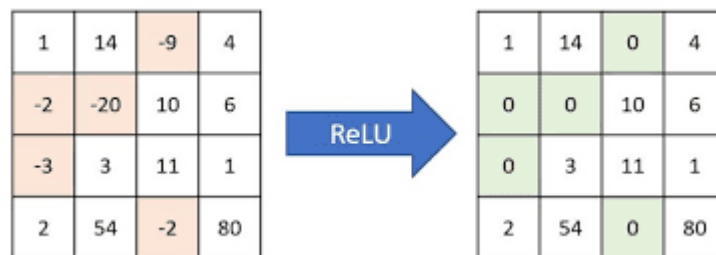


Figure 33 : Fonctionnement de la couche ReLU

➤ La couche fully-connected

Elle constitue la dernière couche de tous les types de réseau de neurones.

Ce type de couche reçoit un vecteur en entrée et produit un nouveau vecteur en sortie. Pour cela, elle applique une combinaison linéaire puis éventuellement une fonction d'activation aux valeurs reçues en entrée.

La dernière couche fully-connected permet de classifier l'image en entrée du réseau: elle renvoie un vecteur de taille  $N$ , où  $N$  est le nombre de classes dans notre problème de classification d'images. Chaque élément du vecteur indique la probabilité pour l'image, en entrée, d'appartenir à une classe.

Pour le calcul des probabilités, la couche fully-connected multiplie chaque élément en entrée, par un poids, fait la somme, puis applique une fonction d'activation: Ce traitement revient à multiplier le vecteur en entrée par la matrice contenant les poids. Le fait que chaque valeur en entrée soit connectée avec toutes les valeurs en sortie, explique le terme fully-connected.

## 7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de comprendre le cadre théorique général du traitement et classification d'images, nous avons présenté, en particulier, les réseaux de neurones convolutifs, vu que, nous les avons utilisés pour créer notre modèle.

# **Chapitre IV**

## Conception du Système

## 1 Introduction

Les systèmes embarqués prennent une place de plus en plus importante dans notre vie, c'est souvent utilisé par le grand public dans la vie de tous les jours, ils ont la capacité de transformer tout les objets du monde physique, du plus petit au plus grand, du plus simple au plus complexe, en objets numériques, intelligents, autonomes et communicants.

Pour la réalisation de notre projet, nous allons faire une étude conceptuelle, qui est une étape très importante pour fixer les choix techniques et pour préparer l'implantation. Afin de bien concevoir un système de contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricole, et de faire un suivi des cultures, il est nécessaire de bien choisir la solution technologique adéquate. Cette solution vise à répondre aux besoins des agriculteurs.

## 2 Présentation du projet

L'objectif dans ce projet, est de créer un système de serre connecté et intelligent. Cette serre est conçue principalement pour établir les conditions nécessaires à la croissance de la culture, cela en mesurant les paramètres suivants: la qualité de l'air, la température et l'humidité de l'air, l'humidité du sol et la luminosité. Suite à ces différentes mesures, des actions seront déclenchées. D'un autre côté, nous allons réaliser un modèle qui classifie les plantes malades de celles qui ne le sont pas, en se basant sur le traitement des images captées de la culture.

La figure IV.34 présente le schéma bloc, englobant les différents modules de base du système à réaliser.

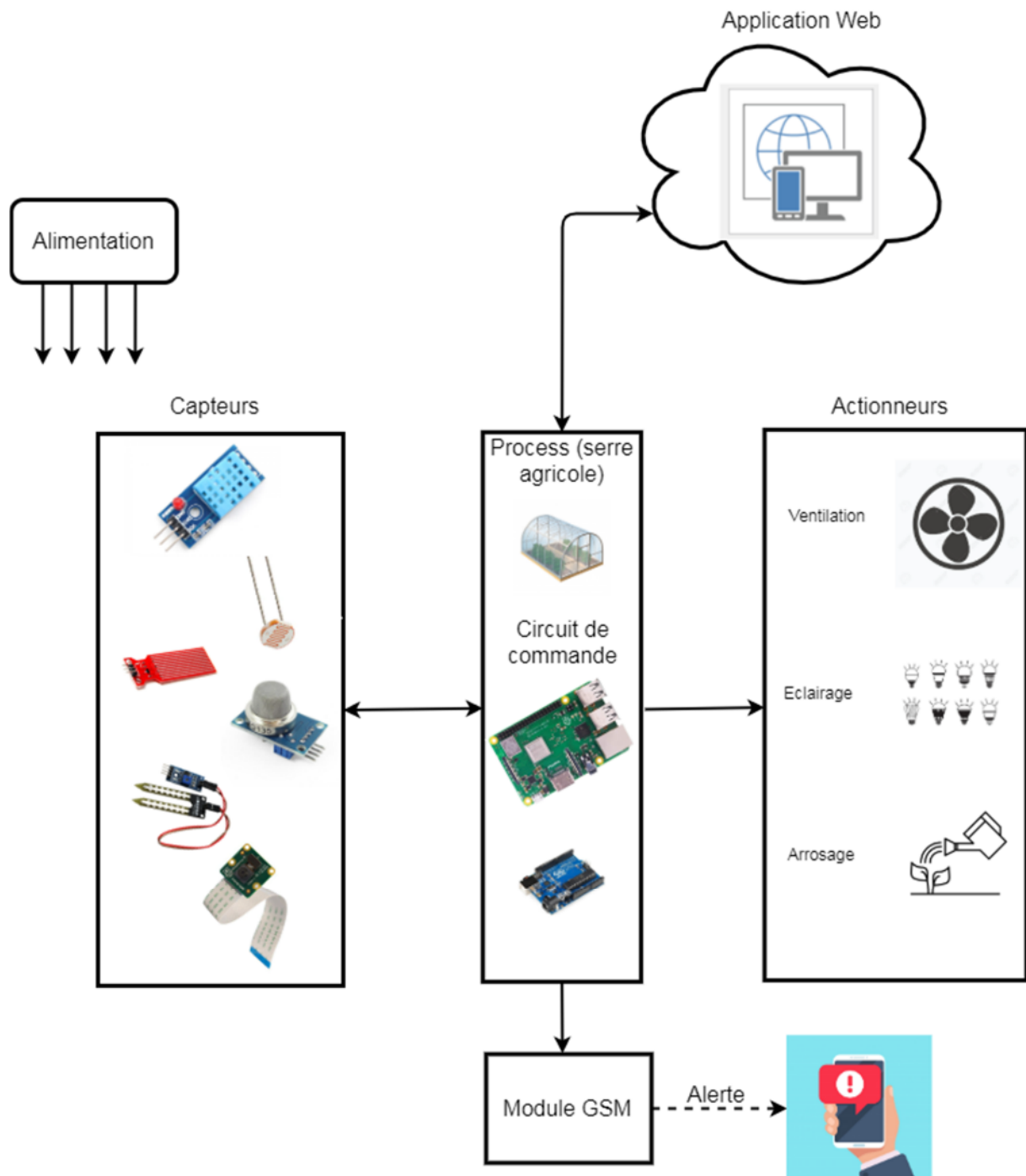


Figure 34 : Schéma bloc du système à réaliser

Le schéma ci-dessus est constitué de :

- Un bloc d'alimentation.
- Des capteurs (humidité, température, photorésistance, caméra etc.) pour la mesure des paramètres.
- Process représente notre serre prototype.

- Circuit de commande sont les cartes Raspberry Pi et Arduino UNO qui constituent l'unité de contrôle du système.
- Des actionneurs (pompe d'arrosage, ventilateur, éclairage) agissant sur les paramètres climatiques de la serre.
- Une application web pour l'affichage des données climatiques, le réglage des différents seuils des différents paramètres et la commande des actionneurs.
- Un module GSM pour l'envoi de messages d'alerte.

### 3 Choix de la solution technologique

Le contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricole nécessite des capteurs appropriés, son état doit aussi être traité par une carte de commande, qui transmet les signaux de commande aux actionneurs.

Pour le choix de la solution technologique, en premier lieu, nous entamons la partie commande puis nous passeront vers la partie actionneurs.

## 4 Partie commande

### 4.1 Les microcontrôleurs

Le Microcontrôleur (en notation abrégée  $\mu c$ , ou uc ou encore MCU en anglais) est un circuit programmable capable d'exécuter un programme, et qui possède des circuits d'interface intégrés avec le monde extérieur. Les microcontrôleurs se caractérisent par un haut degré d'intégration, une faible consommation électrique, des coûts réduits et un système plus fiable.[45]

### 4.2 Choix du microcontrôleur

L'une des étapes les plus importantes à la réalisation du projet, est le choix du microcontrôleur, il est nécessaire de choisir le plus adapté à nos objectifs, Il existe beaucoup de critères de sélection, dont nous devons tenir compte, comme:

- Le nombre d'entrées/sorties analogiques.
- Le nombre d'entrées/sorties numériques.
- Puissance de calcul suffisamment élevée pour gérer des algorithmes en temps réel.
- Taille de la mémoire programmée (pour contenir l'ensemble du programme).
- La taille de la mémoire RAM (pour les calculs que le microcontrôleur doit effectuer).
- La mémoire EPROM (si on a besoin que certaines données soient sauvegardées si l'alimentation se coupe).
- Le prix et la disponibilité du microcontrôleur sur le marché.

- Idéalement: la possibilité de se connecter à internet pour envoyer et recevoir des données depuis un serveur distant.

Pour notre projet, nous avons décidé d'utiliser une Arduino UNO et une Raspberry Pi 3 B+.

#### 4.2.1 Présentation générale de l'Arduino

L'Arduino est une carte programmable simple sur laquelle on branche des composants électroniques, il possède un grand nombre d'entrées/sorties, ce qui permet de brancher beaucoup de composants (capteurs, leds...). Il est, donc, principalement utilisé pour réaliser des interfaces électroniques avec des capteurs et des équipements. Une fois que le programme est chargé, l'Arduino l'exécute en boucle de manière autonome. Les Arduino ont une mémoire de petite taille, une faible puissance de calcul, une faible consommation électrique (peut fonctionner facilement à partir de batteries) et un bon courant de sortie pour alimenter des modules externes. [46]

##### ❖ L'Arduino UNO : [47]

L'arduino UNO est un module/carte de développement avec un microcontrôleur Atmel ATMEGA328, grand public, peu onéreux, qui connaît un grand succès.

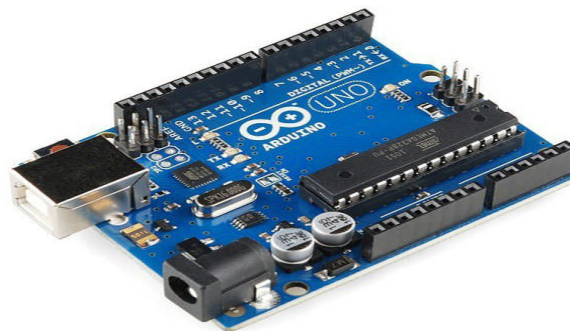


Figure 35 : Arduino UNO

##### ❖ Ses Caractéristiques:

- Version: Rev. 3
- Alimentation:
  - Via port USB ou
  - 7 à 12 V sur connecteur alim 5,5 x 2,1 mm
- Microprocesseur: ATMega328
- Mémoire flash: 32 kB

- Mémoire SRAM: 2 kB
- Mémoire EEPROM: 1 kB
- 14 broches d'E/S dont 6 PWM
- 6 entrées analogiques 10 bits
- Intensité par E/S: 40 mA
- Cadencement: 16 MHz
- Bus série, I2C et SPI
- Gestion des interruptions
- Fiche USB B
- Dimensions: 74 x 53 x 15 mm

#### 4.2.2 Présentation de la Raspberry Pi

La Raspberry Pi est une carte mère d'un mini-ordinateur à processeur ARM, que l'on peut brancher à un écran, à un ensemble clavier/souris et disposant d'interfaces Wi-Fi et Bluetooth pour l'utiliser comme un ordinateur standard. Il est destiné à encourager l'apprentissage de la programmation informatique en plusieurs langages (python, scratch...), il est capable de lire des vidéos à haute définition et même d'installer des jeux vidéo; il permet l'exécution de plusieurs variantes du système d'exploitation libre GNU/Linux-Debian et des logiciels compatibles. Il fonctionne, également, avec les OS Microsoft Windows: Windows 10 IoT et Android. Il est fourni sans boîtier, alimentation, clavier, écran et souris dans le but de diminuer le coût et de favoriser l'utilisation de matériel de récupération. [48]

Donc pour faire démarrer notre Raspberry Pi, nous devons avoir:

- Un câble d'alimentation micro USB standard,
- Carte microSD (nous avons utilisé une carte de 16 GB),
- Un câble RJ45 pour se connecter au réseau,
- Un câble HDMI afin de connecter la Raspberry Pi à un écran ou une télévision,
- Clavier et souris en USB.

Le choix de la version Raspberry Pi 3 B+, est fait par apport à sa puissance et sa rapidité par rapport au Raspberry Pi type B.

❖ **Caractéristiques du Raspberry Pi 3 B+ :**

- **Processeur ARM:** 1.4 GHz, les architectures ARM sont des architectures de processeurs à faible consommation.
- **Mémoire vive RAM:** de 1GB, c'est la mémoire dans laquelle la Raspberry place les données lors de son traitement.
- **4 ports USB 2.0:** Le port « Universal Serial Bus » est un port série qui sert à connecter la Raspberry aux autres périphériques.
- **1 port Ethernet (RJ45):** C'est un port qui correspond au protocole international ETHERNET de réseau local à commutation de paquets.
- **1 port HDMI:** « High Definition Multimedia Interface » permet de relier la Raspberry PI à un dispositif compatible : écran LCD ou un vidéo projecteur...
- **1 sortie audio jack 3,5mm:** C'est une connectique audio-vidéo.
- **1 lecteur de carte microSD:** La Raspberry a besoin d'une mémoire externe supplémentaire pour fonctionner. Ce slot permet de connecter la mémoire externe.
- **40 pins GPIO:** « General Purpose Input/Output » sont des ports d'Entrée/Sortie.
- Interface Bluetooth/Wi-Fi.

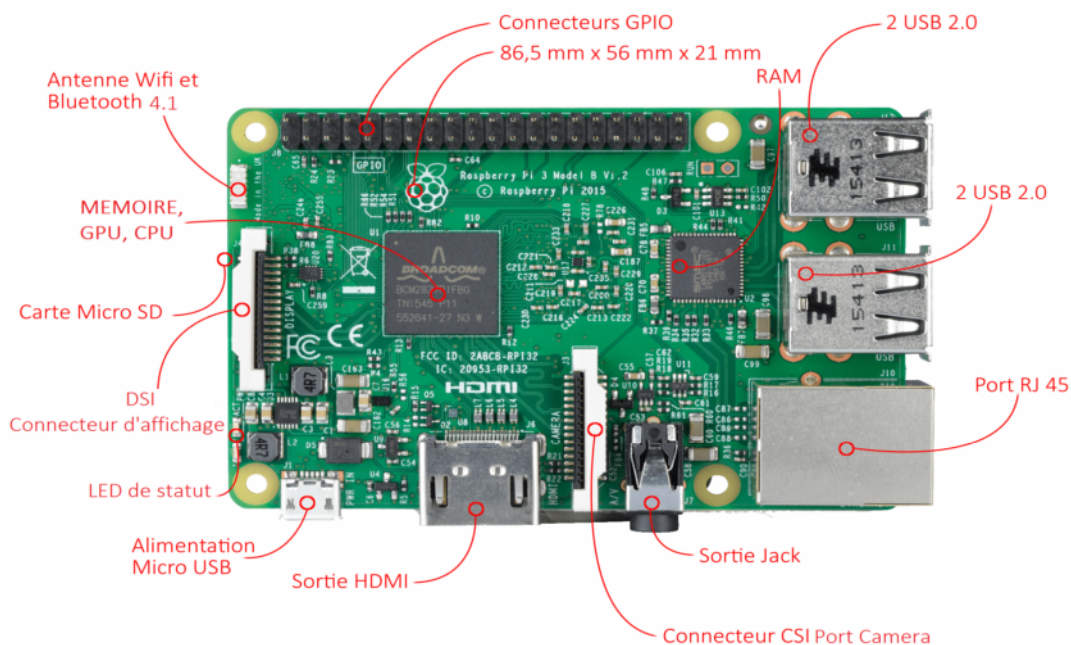


Figure 36 : Emplacement des différents composants du Raspberry Pi modèle 3 B+

**❖ Les ports GPIO:**

Une des caractéristiques de la Raspberry PI, est le nombre de ses GPIOs (General Purpose Input/Output, Entrées/Sorties à usage générales), sur lesquelles on peut connecter du matériels externes (capteurs, moteurs...), pour interagir avec le monde réel.

Il y'a 40 broches, disposées tout au long, du bord supérieur de la carte qui peuvent être utilisées de manières différentes, et se décomposent en plusieurs types :

- Alimentation (PWR): 3,3V – 5V
- Ground (GND): masse 0V.
- I<sup>2</sup>C: Inter Integrated Circuit (Bus de circuit intégré): permet la communication avec de multiples périphériques: un MCP23017 IO expander digital, un microprocesseur ATmega connecté à la Raspberry Pi, etc.
- SPI: Serial Peripheral Interface (Interface périphérique série): permet une communication entre un maître et un ou plusieurs esclaves.
- UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Emetteur récepteur asynchrone universel): c'est le composant utilisé pour faire la liaison entre l'ordinateur et le port série.
- PWM: Pulse-Width Modulation (modulation de largeur d'impulsion) : consiste en un signal carré dont on fait varier le rapport cyclique, en d'autres termes, dont on fait varier la durée de l'état haut, par rapport à l'état bas.
- GPIO: ce sont les ports standards d'entrées /sorties et qui sont numérotés.

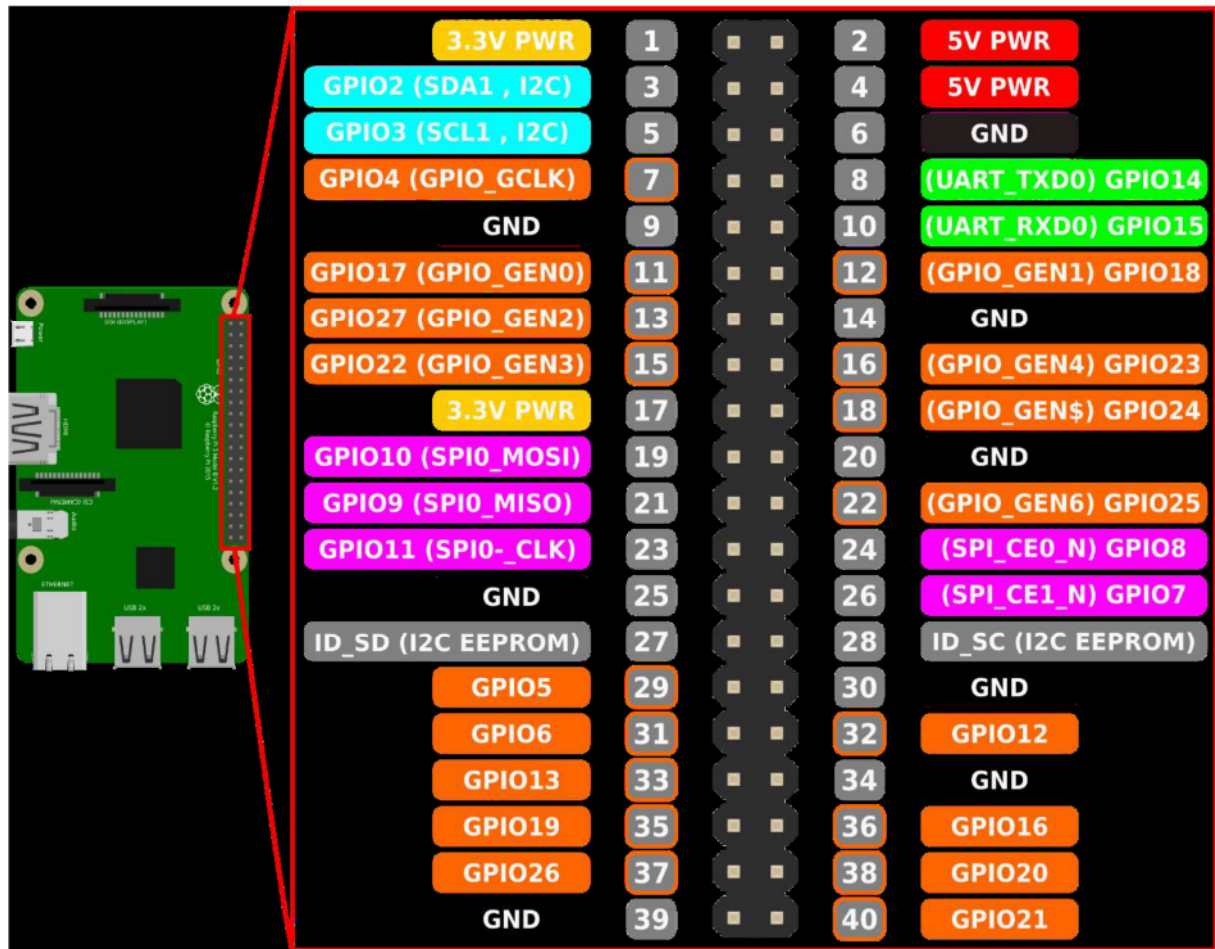


Figure 37 : Broches de la Raspberry Pi

## 5 Objectifs et description du système à réaliser

L'objectif est de réaliser un système d'automatisation d'une serre agricole. Pour se faire, il est primordial, de prendre en compte les paramètres suivants: la température et l'humidité de l'air, l'humidité du sol, la qualité de l'air (le taux de CO2) et le taux de lumière.

L'arduino UNO a pour rôle de contrôler tout ces paramètres à l'aide des capteurs suivants : le capteur de température et d'humidité de l'air, capteur de qualité de l'air, capteur de niveau d'eau, capteur d'humidité du sol et la photorésistance (nous allons voir leur fonctionnement dans le titre qui va suivre) et d'envoyer les données captées vers la Raspberry Pi.

Notre système, contrôlera tous ces paramètres automatiquement, et pourra déclencher, les actions nécessaires. Les différents seuils des différents paramètres, à ne pas dépasser, seront donnés par l'utilisateur, via une interface web, et le système développé les prendra en compte.

Donc les différents rôles de La Raspberry Pi se résument comme suit :

- Elle transmet les données reçues de la carte Arduino UNO à la base de données.
- Elle contrôle le déclenchement des actions suivantes :
  - Si la température dépasse un certain seuil, la climatisation s'enclenche et la fenêtre s'ouvre.
  - Si le taux de CO2 est élevé, la climatisation s'enclenche et la fenêtre s'ouvre pour aérer la serre.
  - Si le taux de lumière n'est pas assez fort, l'éclairage s'enclenche.
  - Si l'humidité du sol est très basse, l'arrosage se déclenche.
  - Une notification sous forme d'email et d'SMS, sera envoyée, à l'utilisateur :
    - \*Dans le cas où le niveau d'eau dans le réservoir a atteint son seuil minimal.
    - \*Dans le cas de détection d'une anomalie ou d'un dysfonctionnement dans un capteur.
    - \*Dans le cas où une culture est malade.
- Elle est le serveur web de notre application, toutes les données lui seront envoyées et seront stockées à ce niveau.

## 6 Présentation des capteurs utilisés

### 6.1 Capteur de température et d'humidité de l'air : DHT11

DHT11 est un capteur de température et d'humidité de l'air « deux en un », il fournit une information numérique proportionnelle à la température et l'humidité mesurée. Il est constitué d'un capteur de température à base de thermistances CTN, d'un capteur d'humidité résistif et un microcontrôleur qui s'occupe de faire les mesures, de les convertir et de les transmettre [49].

Il s'interface grâce au protocole OneWire qui permet de transmettre et de recevoir des données sur un seul fil [50], cette technologie utilisée par le capteur DHT11 garantit une grande fiabilité, une excellente stabilité à long terme et un temps de réponse très rapide.

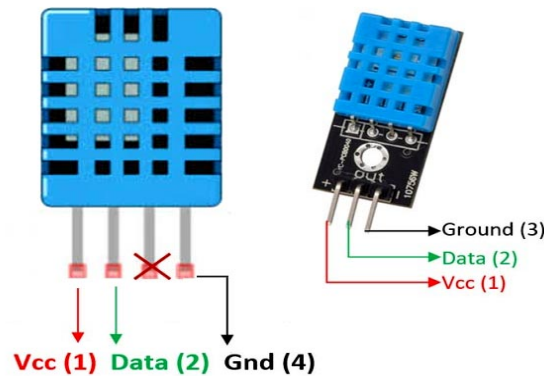


Figure 38 : Capteur DHT11

#### ❖ Caractéristiques techniques du DHT11 : [49]

- Alimentation : 5V
- Consommation : 0.5 mA en nominal / 2.5 mA maximum
- Etendue de la mesure de température : 0°C à 50°C avec une précision de  $\pm 2^\circ\text{C}$
- Etendue de la mesure de l'humidité : 20% à 90% avec une précision de  $\pm 5\%$
- Période de mesure: 2s
- Dimensions: 12x15.5x5.5mm

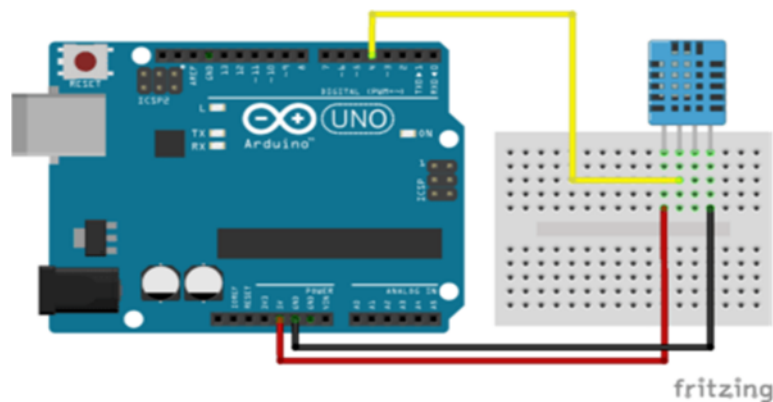


Figure 39 : Schéma de câblage du DHT11

## 6.2 Capteur de qualité de l'air : MQ-135

Le MQ-135 est un capteur qui permet de mesurer la qualité de l'air. Capteur facile à utiliser, pour mesurer la concentration de divers gaz toxiques, tels que le benzène, l'alcool, la fumée et les contaminants en suspension dans l'air. Le capteur a une sensibilité élevée au CO<sub>2</sub>, à l'alcool, au Benzène, à l'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>), à l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et un temps de réponse rapide, de plus, la tension de sortie augmente parallèlement à la concentration des gaz mesurés. [51]



Figure 40 : Capteur MQ-135

**❖ Spécifications :**

- Puissance électrique : 2,5 V ~ 5V
- Dimensions : 40 mm \* 21 mm
- Taille des trous de montage : 2 mm

Les mesures réalisées sont affichés en ppm.

**❖ Acronyme « PPM » [52]**

L'acronyme « ppm » signifie « partie par million ». Il s'agit d'une unité de mesure communément utilisée par les scientifiques, notamment pour calculer le taux de pollution dans l'air et, plus globalement, dans l'environnement. Comme son nom l'indique, le ppm permet de savoir combien de molécules de polluant on trouve sur un million de molécules d'air. Il permet, donc, de rendre compte, de manière assez simple, de la quantité de pollution dans une masse d'air donnée, et de l'impact nocif de ces polluants sur l'atmosphère.

Exemple : Une atmosphère à 400 ppm signifie qu'il y a 400 molécules polluées sur 1 million de molécules d'air.

### 6.3 Photorésistance

C'est une résistance dont la valeur change en fonction de la lumière qu'elle reçoit. Elle se nomme aussi LDR (Light-Dependent Resistor).

Il existe différents types de photorésistances, chacune ayant des valeurs de résistance différentes, en fonction de la luminosité ambiante. Le type le plus classique de photorésistances est de 1M ohms (obscurité) / 12K ohms (pleine lumière). [53]

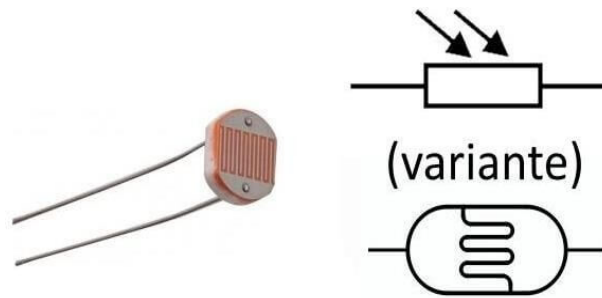


Figure 41 : Une photorésistance avec son symbole

❖ **Principe de fonctionnement de la photorésistance :**

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

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

❖ **Avantages des capteurs LDR :**

- Capteur sensible.
- Larges gammes spectrales.
- De faible coût.
- Facile à mettre en œuvre.

❖ **Inconvénients des capteurs LDR :**

- Non linéaire.
- La vitesse de variation de la résistance avec l'éclairement est faible et non symétrique.

❖ **Exemples d'utilisations très classiques pour une photorésistance :**

- Détection jour / nuit,
- Mesure de luminosité ambiante (pour ajuster un éclairage par exemple),
- Suiveur de lumière (pour panneaux solaires, robots, etc).

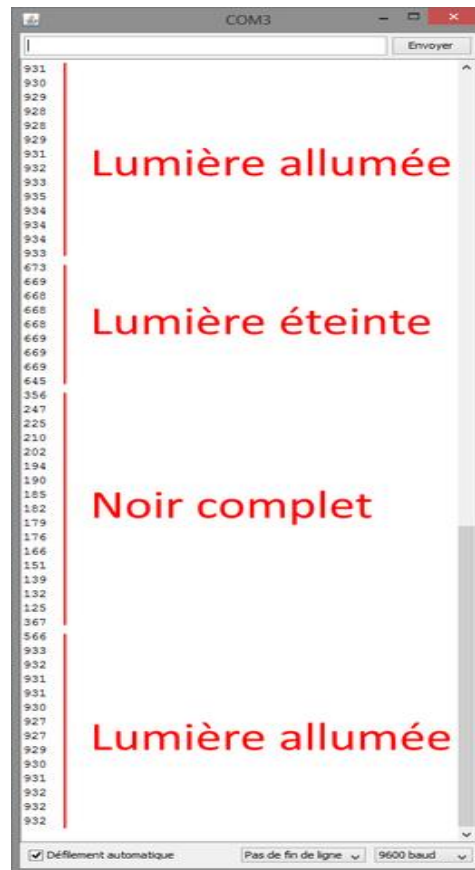


Figure 42 : Exemples de valeurs relevées par la photorésistance

L'unité de mesure est le Lux

Activité ou lieu concerné	Eclairage moyen
Nuit de pleine lune	0.5 lux
Rue de nuit bien éclairée	20 à 70 lux
Local de vie	100 à 200 lux
Appartement bien éclairé	200 à 400 lux
Local de travail	200 à 3000 lux
Stade de nuit	150 à 1500 lux
Extérieur par ciel couvert	500 à 25000 lux
Extérieur en plein soleil	50000 à 100000 lux

Tableau 1 : Interprétation des valeurs données par une photorésistance [53]

## 6.4 Capteur de niveau d'eau

La détection de niveau concerne le réservoir d'eau, pour le maintenir toujours rempli, parce que c'est un élément important dans l'irrigation. Ce capteur mesure 4 cm, capteur à plonger dans le liquide que l'on veut mesurer, il donne le niveau d'eau, correspondant.

### ❖ Spécifications :

- Tension de fonctionnement: 3-5V
- Courant de fonctionnement: moins de 20mA
- Type de capteur: Analogique
- Zone de détection: 40mm x 16mm
- Température de fonctionnement: 10°C-30°C
- Humidité: 10%-90% sans condensation
- Poids: 3.5g

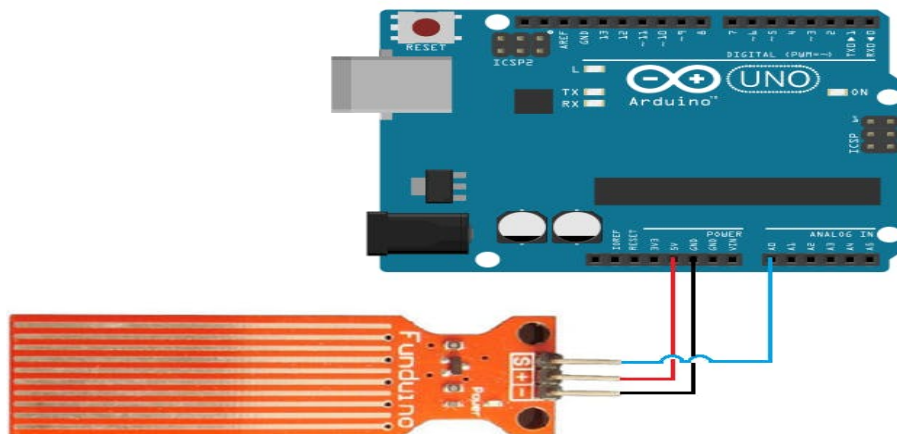


Figure 43 : Schéma de câblage d'un capteur de niveau d'eau

## 6.5 Capteur d'humidité du sol

La surveillance de l'humidité du sol apporte la bonne quantité d'eau aux cultures, au bon moment. Le capteur d'humidité du sol mesure l'humidité du sol à partir des changements de conductivité électrique de la terre (la résistance du sol augmente avec la sécheresse), il est composé d'une platine qui constitue le conditionnement et une fourche résinée qui protège contre l'oxydation et se plante verticalement dans la terre. La figure ci-dessous nous montre son schéma de câblage.

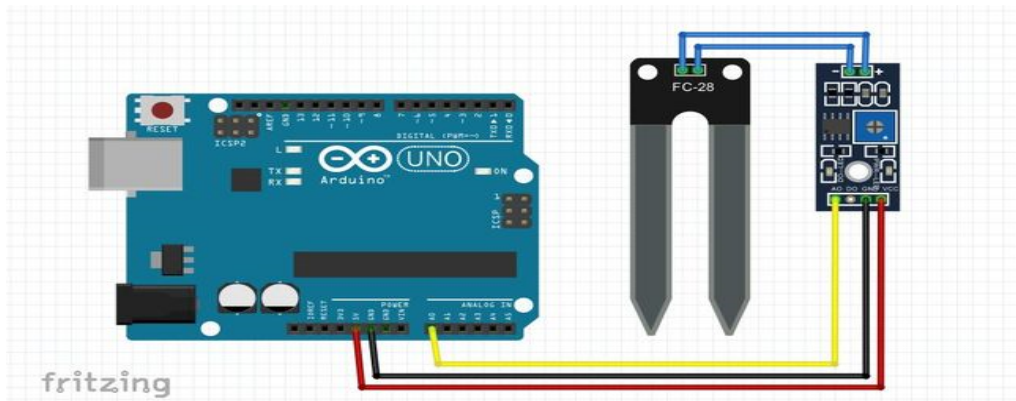


Figure 44 : Schéma de câblage d'un capteur d'humidité du sol

## 6.6 Module caméra

Module de haute définition compatible avec tout les modèles Raspberry Pi. Fournit une haute sensibilité, une faible diaphonie et une capture d'image à faible bruit dans une conception petite et légère. Le module camera se connecte au raspberry Pi via le connecteur CSI, spécialement conçu pour l'interfaçage avec les caméras. [54]

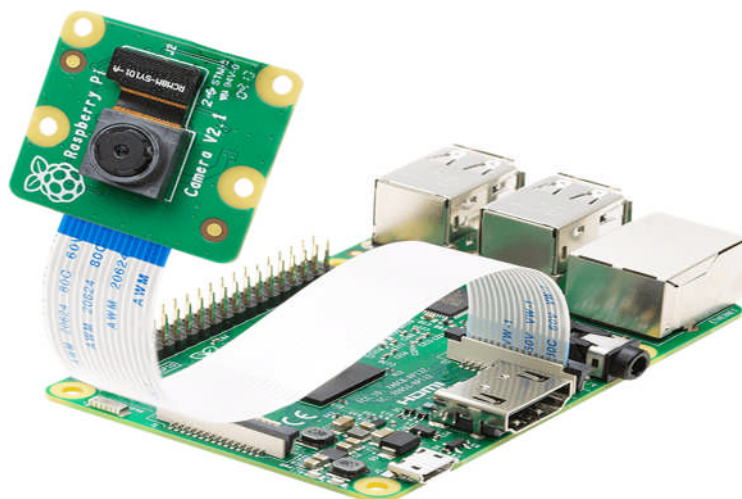


Figure 45 : Le port CSI sur la Raspberry Pi

❖ **Spécifications :**

Capteur d'image	Capteur d'image CMOS Sony IMX 219 PQ dans un module de mise au point fixe.
Résolution	8 méga pixels.
Résolution d'image fixe	3280*2464
Connexion au Raspberry Pi	Câble ruban à 15 broche vers l'interface série dédié à la camera MIPI à 15 broches.
Fonctions de contrôle d'images	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle automatique de l'exposition;</li> <li>• Balance des blancs automatique;</li> <li>• Filtre de bande automatique;</li> <li>• Détection automatique de luminance 50/60 Hz;</li> <li>• Calibrage automatique de niveau de noir.</li> </ul>
Plage de température	-20°C à 60°C
Dimensions	23.86 x 25 x 9mm
Poids	3g

Tableau 2 : Caractéristiques du module camera

Ce module se place à l'intérieur de la serre agricole pour capter des photos de la culture. Ces images captées vont être traité, pour déduire si la culture est malade ou en bon état.

## 7 Partie actionneurs

### 7.1 L'extracteur

Les extracteurs permettent de forcer l'aération dans la serre, afin de garder les paramètres climatiques (température, humidité et taux de CO<sub>2</sub> dans l'air) au voisinage des consignes choisies.

Dans la réalisation de notre prototype, nous avons utilisé un ventilateur 12V.



Figure 46 : Type d'extracteur utilisé dans notre serre

## 7.2 La pompe d'arrosage

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide, il existe plusieurs pompes adaptées à chaque besoin, le choix d'une pompe s'effectue toujours selon son usage et la détermination des paramètres de performances.

Pour le système d'irrigation, nous avons besoin d'une pompe d'arrosage, c'est l'organe qui fournit au sol l'eau dont les plantes ont besoin, pour garder l'humidité du sol.

Nous avons utilisé une pompe d'aquarium, alimentée par une source de tension 220v et contrôlée par un relais.



Figure 47 : Pompe d'arrosage utilisée

## 7.3 Le servomoteur

Les servomoteurs sont pilotés par un signal PWM et alimentés par deux fils. Habituellement, ces fils sont rassemblés dans une prise au format standard.

Pour le projet, nous avons utilisé le servomoteur MG995, qui va servir à ouvrir et fermer les fenêtres.



Figure 48 : Servomoteur

### ❖ Caractéristiques: [55]

- Poids : 55g,
- Dimensions : 40.7 \* 19.7 \* 42.9 mm environ,
- Couple de décrochage : 4.8V, 6V,

- Vitesse de fonctionnement : 0.2 s/60° (4.8 V), 0.16 s/60° (6 V),
- Tension de fonctionnement : 4.8 V à 7.2 V,
- Largeur de bande morte : 5  $\mu$ s,
- Plage de température : 0 °C – 55 °C.

## 7.4 Les LEDS

Une diode électroluminescente (abrégé en LED, de l'anglais : light-emitting diode), est un dispositif optoélectronique, capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.

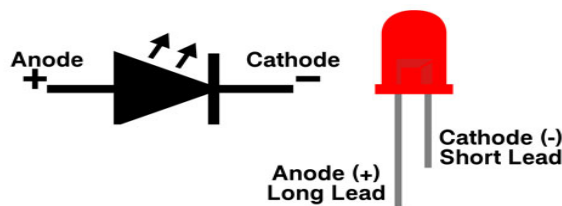


Figure 49 : Une Led

Nous avons utilisé un ensemble de leds qui font office d'éclairage dans la serre agricole, en raison de leurs avantages sur la croissance des plantes, à savoir : une intensité variable, une grande variété de lumière monochromatique ainsi qu'une grande efficacité photosynthétique.

Par ailleurs, les systèmes à base de LED produisent moins de chaleur, ce qui permet de les rapprocher des plantes, favorisant, ainsi, une bonne répartition de la lumière (les plantes ne risquent pas d'être abîmées).

## 7.5 Relais

La carte relais est un commutateur électrique, qui permet de commander un second circuit utilisant, généralement, une tension et un courant bien supérieur à ce qu'un dispositif électronique, comme la Raspberry, pourrait accepter. En gros, c'est un interrupteur qui se ferme, quand on lui place un certain courant ou une certaine tension sur sa patte de commande. Dans notre cas, c'est la tension de l'un des ports GPIO, du Raspberry Pi (3.3v) qui déclenchera cet interrupteur. Voici une image pour bien identifier chaque élément.

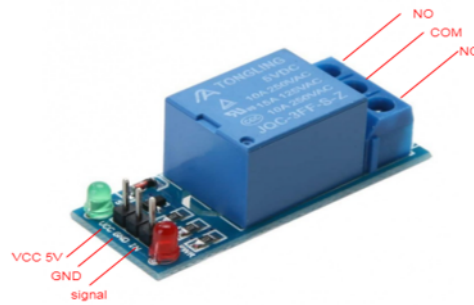


Figure 50 : La carte Relais

Le relais se compose de deux parties, une partie commande à gauche sur la figure IV.50 est composée d'une broche d'alimentation de 5V pour le relais lui-même, une masse et une broche de commande pour faire basculer l'état. De l'autre côté, à droite on trouve la partie basse tension qui se compose de trois fiches : [56]

- NC : signifie « normalement fermé ». Cela veut dire que lorsque le relais n'as pas de signal d'entrée (0 sur la broche de commande), le circuit haute tension connecté sera actif. Si on câble comme cela il faut envoyer du courant à la partie commande pour faire basculer le relais.
- NO : signifie « normalement ouvert ». Cela veut dire qu'à contrario, une valeur de 5V appliqué au relais (1 sur la broche de commande) coupera le circuit haute tension et inversement.
- COM : la masse.

## 8 Module GPS GSM GPRS SIM808

Le module SIM808 est une combinaison de deux fonctions GSM et GPS, il prend en charge le réseau quadri bande GSM / GPRS et la technologie GPS pour la navigation par satellite. Il a une forte capacité d'extension, avec plusieurs interfaces comprenant UART, interface USB, GPIO, entré d'antenne GSM, interface vers SIM externe 3V / 1.8V, interface clavier... etc [57]



Figure 51 : Module SIM808

Comme avantages, ce module a une petite taille de 54 \* 42mm et disponible dans le monde entier, il fonctionne sur quatre fréquences avec plusieurs interfaces de niveau TTL, ces interfaces permettent de gérer l'ensemble des fonctions de ce module (la messagerie, l'appel, la transmission de données GPRS, le GPS) et d'autres fonctions, il a parfaitement répondu aux besoins de la fonction de transmission et de positionnement de données sans fil.

❖ **Ses fonctions :**

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

❖ **Caractéristiques générales :**

- Bandes de fréquences: 850/900/1900MHZ
- GPRS multi-slot classe: 12/10
- Dimensions : 24\*24\*2.6 mm
- Poids : 3.3 +/- 0.1g
- Tension d'alimentation : 3.4V- 4.4V
- Température de fonctionnement: -40°C jusqu'à +85°C

Son rôle dans le projet consiste à envoyer des messages d'alertes à l'utilisateur dans les cas suivants :

- L'eau dans le réservoir a atteint un seuil minimal.
- Disfonctionnement d'un capteur.
- Détection d'une maladie dans la culture.

## 9 Les organigrammes de fonctionnement

Pour mieux comprendre le fonctionnement de chaque capteur dans ce système, une représentation graphique est nécessaire :

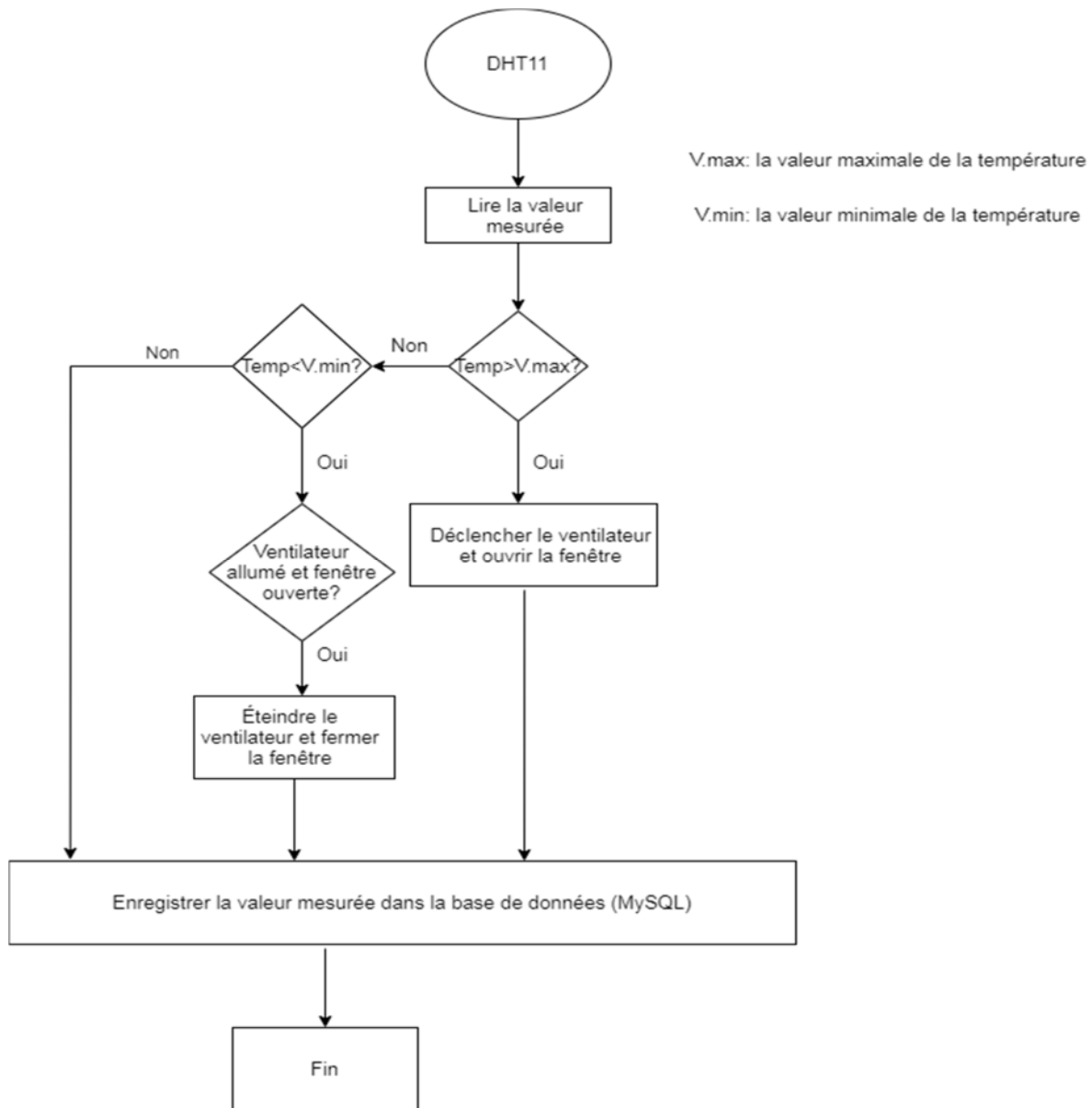


Figure 52 : Organigramme de fonctionnement du capteur de température DHT11

Pour garder une température ambiante dans la serre, la valeur captée par le DHT11 est comparée au seuil maximal, si elle y est supérieure, le ventilateur se déclenche et la fenêtre s'ouvre, sinon, si la valeur captée est inférieure au seuil minimal, le ventilateur va s'éteindre et la fenêtre se ferme. La température sera enregistrée dans une base de données MYSQL.

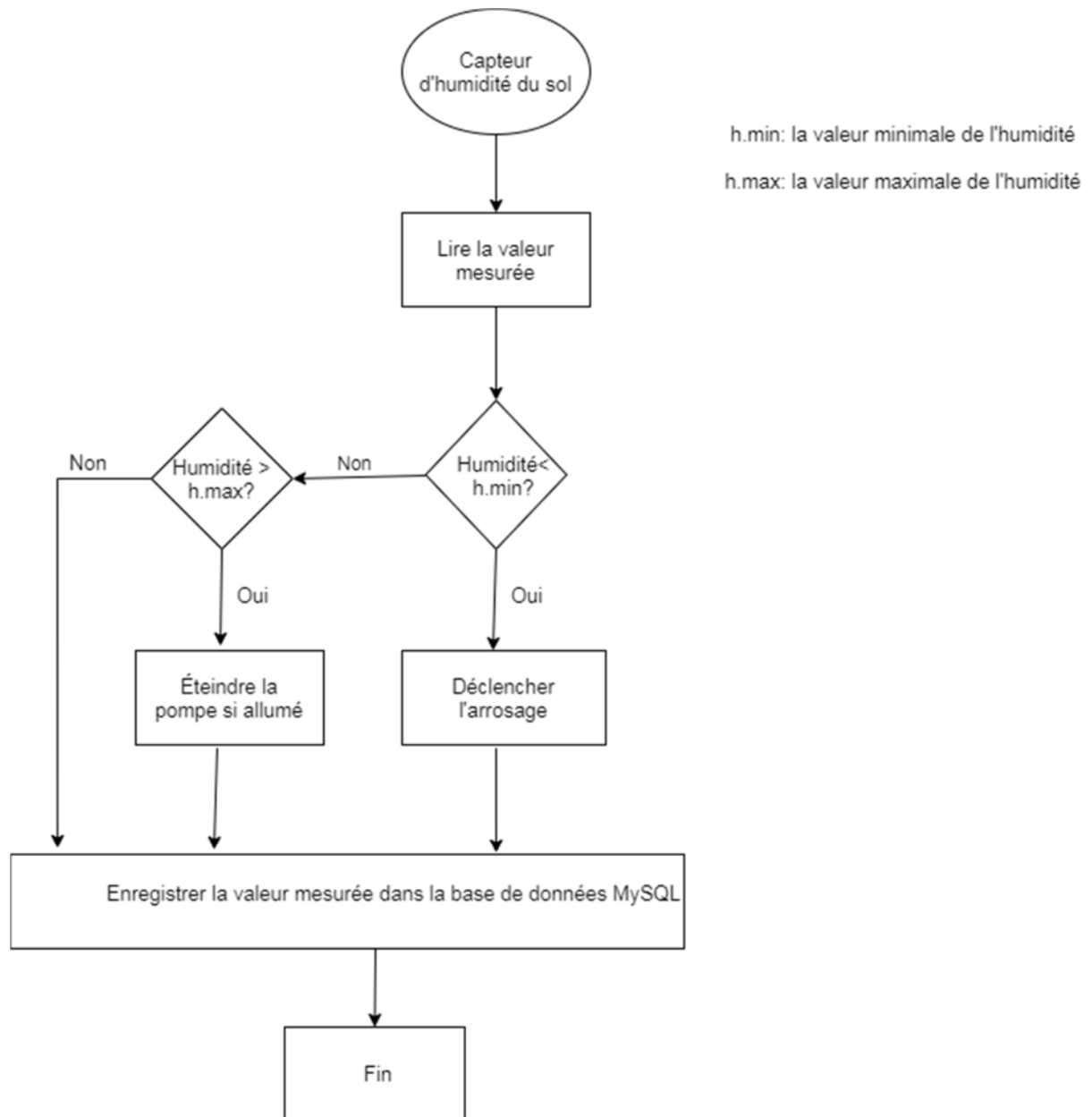


Figure 53 : Organigramme de fonctionnement du capteur d'humidité du sol

Le pourcentage de l'humidité du sol doit être compris dans un intervalle précis [h.min, h.max] dans ce cas le test se fait pour les deux valeurs : si la valeur est inférieure au seuil minimal, l'arrosage se déclenche, dans le cas où elle est supérieure au seuil maximal, la pompe va s'éteindre et les valeurs mesurées seront enregistré dans une base de données MYSQL.

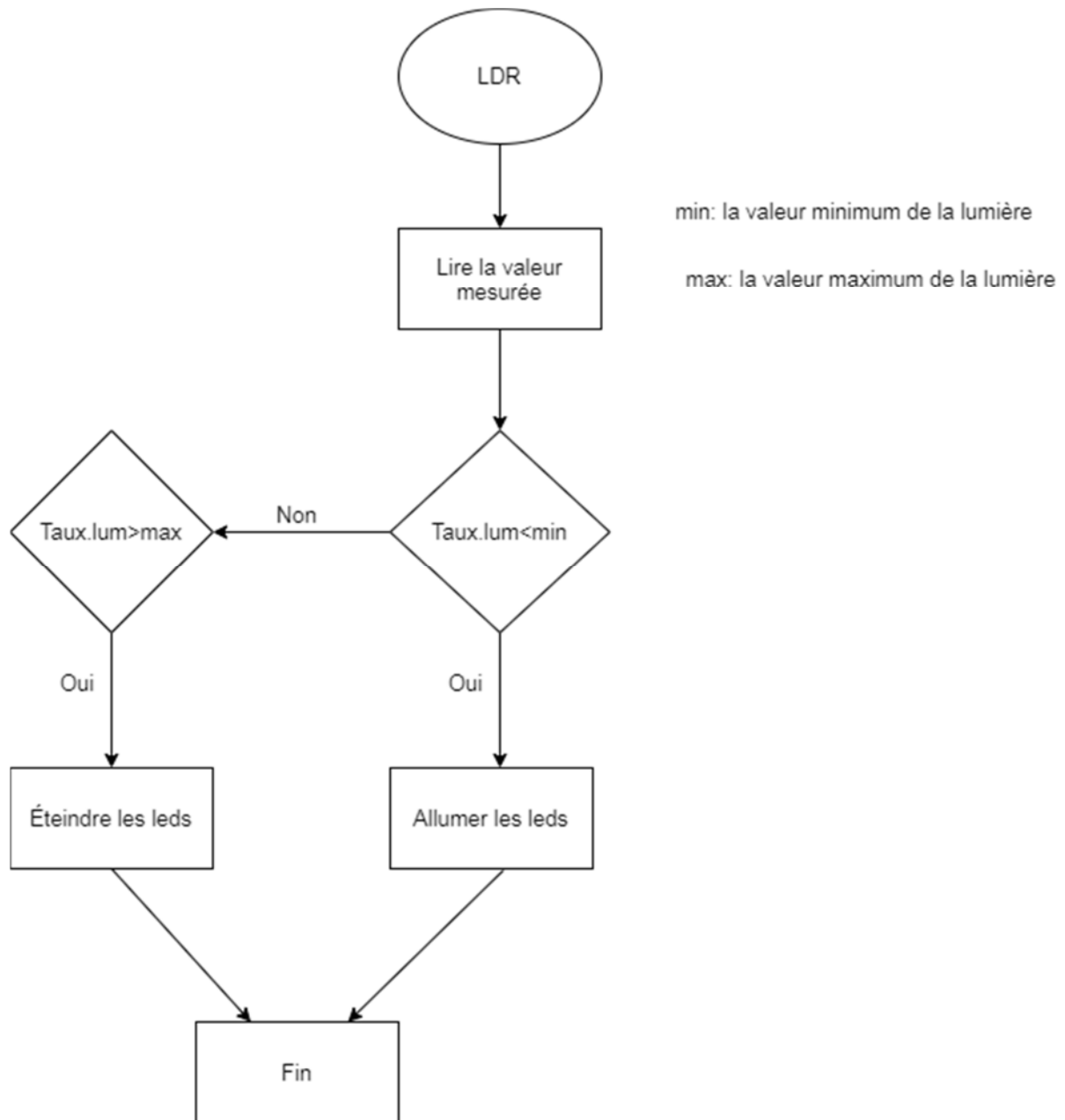


Figure 54 : Organigramme de fonctionnement de la photorésistance

Le taux de lumière est également compris dans un intervalle précis [min, max], si la valeur est inférieure au seuil minimal, l'éclairage se déclenche, donc les leds s'allument, si la valeur est supérieure au seuil maximal, les leds vont s'éteindre.

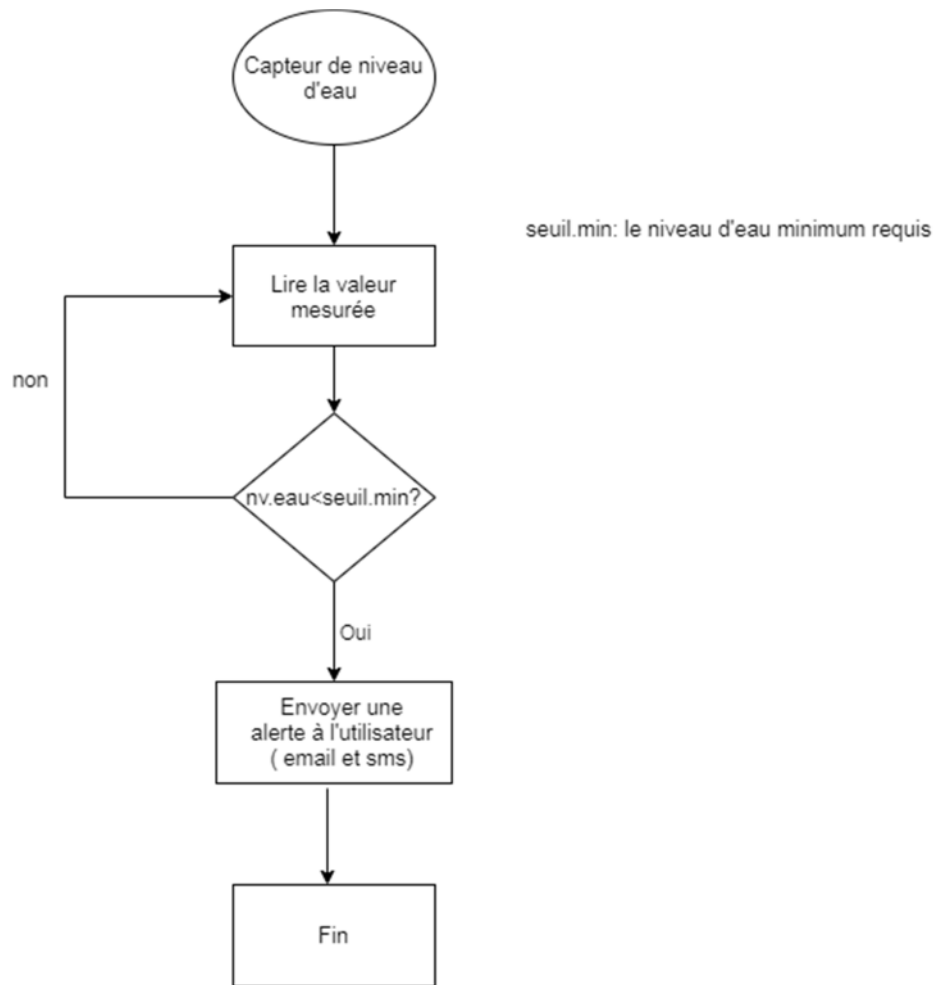


Figure 55 : Organigramme de fonctionnement du capteur de niveau d'eau

Pour contrôler la quantité d'eau présente dans le réservoir, le capteur nous donne des mesures relatives aux différents niveaux d'eau du réservoir, si ce niveau est inférieur au seuil minimal que nous fixons, une alerte sous forme d'email et de message sera envoyée à l'utilisateur.

## 10 Conclusion

La conception d'un projet peut être faite de plusieurs manières pour répondre à un même cahier des charges. Le choix de la solution adéquate est primordiale et en fonction de plusieurs critères. Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception de notre système de contrôle d'une serre agricole.

Dans le chapitre suivant, nous allons entamer la partie réalisation, où nous exposons les différents tests que nous avons faits sur le prototype.

# **Chapitre V**

## Réalisation du Système

## 1 Introduction

Nous voilà maintenant arrivé à la partie pratique du travail, dans ce chapitre nous présenterons la préparation de notre environnement de travail, ensuite les résultats que nous avons eu lors de la programmation des différents capteurs, leurs tests sur notre serre prototype, ainsi que, l'implémentation de notre modèle de traitement d'images, enfin, nous entamons la partie web où nous allons présenter le fonctionnement de l'application web et ses différentes interfaces.

## 2 Installation d'un système d'exploitation

Avant toute utilisation de la Raspberry Pi, il faut installer un système d'exploitation adapté à cette carte. Comme la Raspberry n'est pas pourvu d'une mémoire de masse, nous aurons besoin d'une carte microSD qui servira au stockage du système d'exploitation.

### ❖ Raspbian :

Il ya beaucoup de différents systèmes d'exploitation disponibles pour la Raspberry Pi; nous avons choisi d'installer Raspbian, qui est un système d'exploitation libre basé sur la distribution Linux Debian et optimisé pour le matériel de Raspberry Pi. Une première version du portage Debian, a été publiée peu après la sortie de Raspberry Pi en juin 2012, et depuis lors, Raspbian est considéré comme le système d'exploitation officiel de Raspberry Pi. À cette époque, la distribution comprenait déjà plus de 35000 progiciels, qui étaient mis à la disposition de l'utilisateur après l'installation. Cependant, grâce à des développements continus, la taille du référentiel n'a cessé de croître et comprend, maintenant, même des programmes Office, tels qu'un programme de traitement de texte ou un client de messagerie électronique. [58]

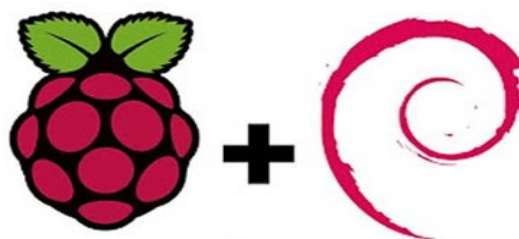


Figure 56 : Logo du système d'exploitation Raspbian

Après l'avoir téléchargé, nous le transférons sur une carte microSD que nous insérons dans la Raspberry, une fois la carte est alimenté, le système devrait automatiquement démarrer.

### 3 Arduino IDE

L'IDE Arduino est le logiciel qui permet de programmer les cartes Arduino donc pour commencer à utiliser l'Arduino Uno, nous allons télécharger la dernière version du logiciel Arduino. Une fois cela fait, nous aurons une fenêtre graphique qui contient un éditeur de texte et tous les outils nécessaires à l'activité de programmation. Cette console servira de relais exclusif à la communication avec notre carte Arduino, afin que nous puissions compiler des programmes et les transférer sur notre carte.

### 4 Le serveur web

Pour pouvoir sauvegarder, afficher les données des capteurs au fil du temps, et déclencher les différents actionneurs, nous avons besoin d'installer sur la Raspberry Pi un serveur Web capable d'héberger notre application. Pour cela, nous installons la combinaison Apache, MySQL, PHP.

Pour la création de ce serveur, nous procédons de cette manière :

#### 4.1 Installation du serveur web « Apache Server »

Apache est un logiciel de serveur web gratuit et open-source, très utilisé, avec environ 60% de parts de marché. Le nom officiel est Serveur Apache HTTP et il est maintenu et développé par Apache Software Foundation. Il permet aux propriétaires de sites web de servir du contenu sur le web, d'où le nom « serveur web ». C'est l'un des serveurs web les plus anciens et les plus fiables. [59]

Quand quelqu'un souhaite visiter un site web, il saisit un nom de domaine dans la barre d'adresse de son navigateur, puis le serveur web fournit les fichiers demandés en agissant comme un livreur virtuel.

#### 4.2 Langage PHP

Le PHP, pour Hypertext Preprocessor, désigne un langage informatique, ou un langage de script, utilisé principalement pour la conception de sites web dynamiques. Il s'agit d'un langage de programmation sous licence libre qui peut être utilisé, par n'importe qui, de façon totalement gratuite.

PHP est souvent associé au serveur de base de données MySQL et au serveur Apache.

Sur un plan technique, le PHP s'utilise la plupart du temps côté serveur. Il génère du code HTML, CSS ou encore XHTML, des données (en PNG, JPG, etc.) ou encore des fichiers PDF. [60]

Pour la structuration, le stockage, la mise à jour et la maintenance de notre base de données, nous avons mis en place un système de gestion de bases de données (SGBD) : « MySQL ».

### 4.3 Système de gestion de base de données : MySQL

MySQL est un SGBD relationnel libre, simple d'accès, puissant et très utilisé pour la réalisation de site web dynamiques. Il est l'unique interface entre les informaticiens et les données (définition des schémas, programmation des applications), ainsi qu'entre les utilisateurs et les données (consultation et mise à jour). Le SQL dans "MySQL" signifie "Structured Query Language" : le langage standard pour les traitements de bases de données.

## 5 Langage Python

La programmation de la Raspberry se fait en langage python.

Python est un langage de programmation open source créé par le programmeur Guido van Rossum en 1991. Il s'agit d'un langage de programmation interprété, qui ne nécessite donc pas d'être compilé pour fonctionner. Un programme « interpréteur » permet d'exécuter le code Python sur n'importe quel ordinateur. Ceci permet de voir rapidement les résultats d'un changement dans le code. [61]

En tant que langage de programmation de haut niveau, Python permet aux programmeurs de se focaliser sur ce qu'ils font, plutôt que sur la façon dont ils le font. Ainsi, écrire des programmes prend moins de temps que dans un autre langage. Il s'agit d'un langage idéal pour les débutants.



Figure 57 : Logo Python

Le choix de ce langage est dû à plusieurs raisons, notamment :

- Il est facile à apprendre et à utiliser. Ses caractéristiques sont peu nombreuses, ce qui permet de créer des programmes rapidement et avec peu d'efforts. De plus, sa syntaxe est conçue pour être lisible et directe.

- Sa popularité, ce langage fonctionne sur tous les principaux systèmes d'exploitation et plateformes informatiques. De plus, même s'il ne s'agit clairement pas du langage le plus rapide, il compense sa lenteur par sa versatilité.

## 6 Présentation de la maquette

Afin de pouvoir tester le bon fonctionnement de notre système, nous avons réalisé un prototype d'une serre, où nous avons installé les différents capteurs (DHT11, MQ-135, LDR, etc) et actionneurs (pompe, ventilateur, etc).

Les figures ci-dessous illustrent la maquette conçue avec tous les équipements ainsi que leur branchement:



Figure 58 : La maquette conçue pour le teste



Figure 59 : Branchement des cartes et des capteurs

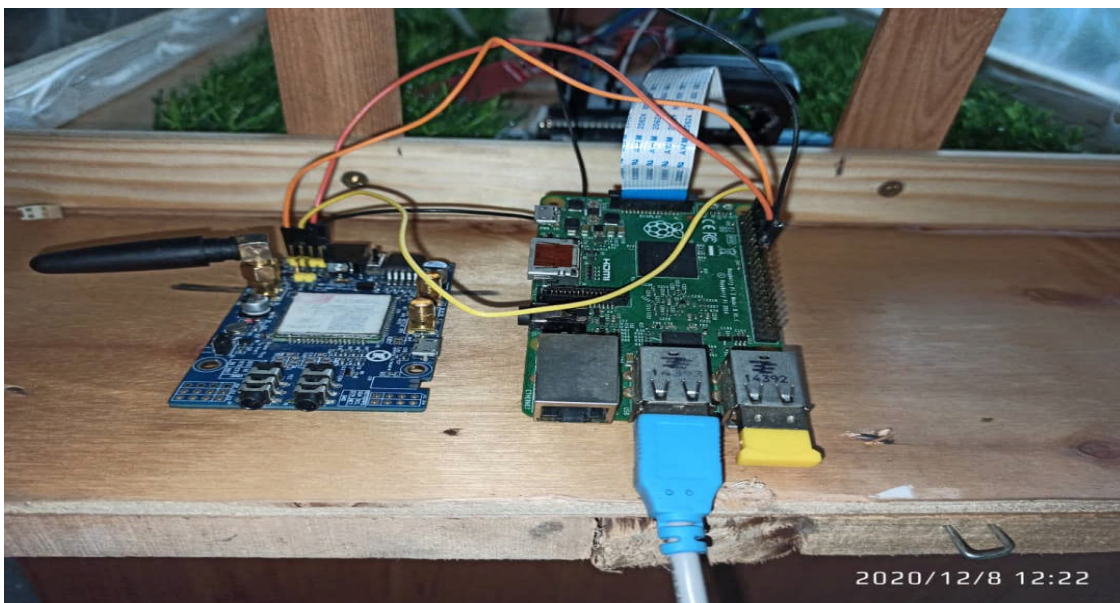


Figure 60: Branchement Raspberry PI SIM808

❖ Les états des actionneurs pendant la phase des tests :

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

- Le ventilateur

La figure V.61 représente l'état actif du ventilateur, tandis que la figure V.62 représente l'état non actif du ventilateur.



Figure 61 : L'état actif du ventilateur



Figure 62 :L'état non actif du ventilateur

- Le Servomoteur

Cet actionneur passe par deux états : l'état « open » illustré par la figure V.63 et l'état « close » représenté par la figure V.64



Figure 63 : Fenêtre ouverte



Figure 64 : Fenêtre fermée

- Les Leds

Les leds prennent deux états ON et OFF illustrés respectivement par les figures V.65 et V.66



Figure 65 : L'état ON des leds



Figure 66 : L'état OFF des leds

## 7 Etapes d'implémentation du modèle de traitement d'image

### 7.1 Les bibliothèques utilisées

#### 7.1.1 Le Framework Tensorflow

Il s'agit de la librairie open source de Google, compatible avec python, consacrée au machine learning, plus précisément, au calcul et à l'optimisation des opérations complexes, ce qui permet d'accélérer le processus d'apprentissage de nos modèles. En outre, elle a permis de grandement simplifier la partie gestion de hardware et code des projets Machine Learning, en servant d'interface simple d'utilisation entre les deux, à noter qu'elle est disponible sous plusieurs versions optimisées pour l'emploi d'un GPU, un TPU (Tensor Processing Unit, qui est un processeur modifié et optimisé pour les calculs sur les tensors, et est une technologie propriétaire de Google, qui reste accessible via le service cloud de ces derniers), ou encore un simple CPU (peu conseillé car peu performant), la force de cet outil est sa capacité à simplifier la prise en charge de grandes quantités de calculs, ce qui en fait un très puissant moteur d'exécution, exploitable lors de la réalisation de modèles de deep learning par exemple. Il est optimisé pour la gestion des opérations relatives aux réseaux de neurones.

#### 7.1.2 API Keras

Il s'agit d'une API (application programmable interface) haut niveau dédiée aux réseaux de neurones, écrite en Python, elle est capable de s'exécuter en tant que couche supérieure de Tensorflow, permet de simplifier l'utilisation des fonctionnalités offertes par ce dernier et d'accélérer le développement d'application de Deep Learning. [62]

##### ❖ Utilisation :

Keras fournit à ses utilisateurs un nombre de classes de bases, qu'ils peuvent utiliser afin d'implémenter leurs modèles, elle en propose deux grandes catégories, les modèles séquentiels et les modèles fonctionnels, ceux-ci se partagent un certain nombre d'attributs et de méthodes en communs, dont les plus importants sont :

- L'attribut Layers (couches) :

Il s'agit d'une liste de couches composant le modèle que nous construisons.

- L'attribut Input (entrées) :

Il s'agit de la liste des entrées sous forme de tensors reçues par notre modèle.

- L'attribut Output (Sortie):

Il s'agit de la liste des tensors obtenus en sortie de notre modèle.

- La méthode `get_weights()` :

Qui permet de récupérer un tensor contenant l'ensemble des poids des valeurs de notre modèle.

- La méthode `set_weights(w)`:

Qui permet d'attribuer aux poids du modèle les valeurs du tensor `w` passé en entrée.

- Les méthode `to_json()/to_yaml()`:

Permettant de retourner une représentation de l'architecture de notre modèle sans les valeurs des poids sous forme de fichier json ou yaml.

### 7.1.3 OpenCV

Fondée en 1999, il s'agit d'une large bibliothèque d'algorithmes et d'outils dédiés au traitement d'images, pour la vision par ordinateur ou encore le machine learning, disponible dans une large variété de langages de programmation, allant du C++ jusqu'au JavaScript, en passant par Python, les outils qu'elle propose s'exécutent sans soucis sur un large panel d'environnement, que ce soit windows ou linux. Plus récemment, OpenCV a intégré les mécaniques des GPUs notamment celles de l'architecture CUDA de NVidia, dans l'exécution de ces programmes, ce qui lui permet d'accélérer ses traitements. [63]

## 7.2 Préparation et Traitement du dataset

Dans cette partie, nous allons voir les étapes à suivre pour réaliser un système capable de reconnaître des plantes de fraise saines et celles qui sont malades (la maladie traitée dans notre cas est «TACHES PHOMOPSIENNE»).

Tout d'abord, nous nous intéressons à notre dataset composé de près de 4498 images. L'ensemble des images va être divisé, au hasard, en deux ensembles, 3598 des images vont être destiné à l'entraînement de notre modèle, et 900 images pour évaluer le modèle.

Dans le dataset, si une image est destinée à l'entraînement du modèle, cette dernière ne doit pas être utilisée pour la validation, pour éviter que le modèle apprenne les images elle-même (overfitting) et ne généralise pas.

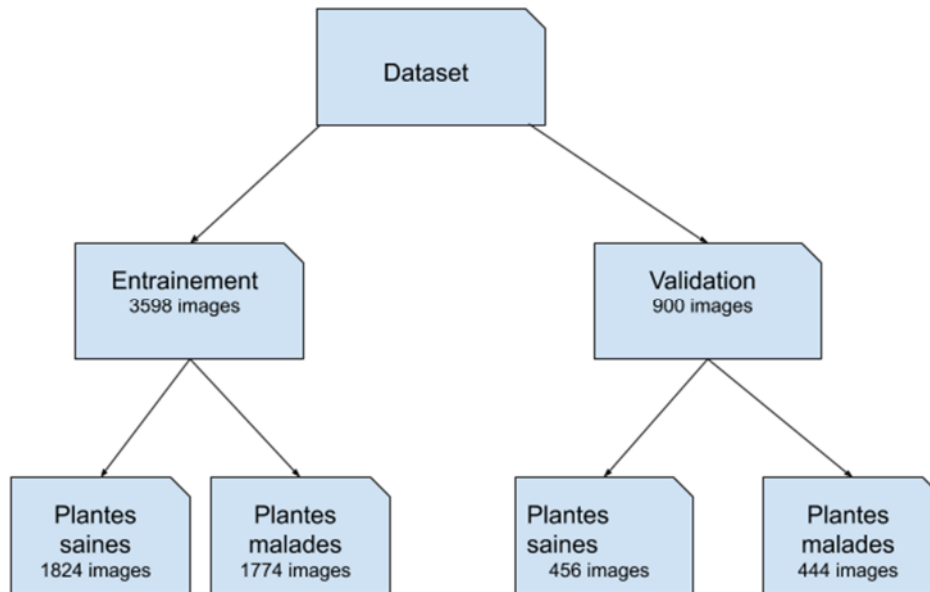


Figure 67 : Schéma du dataset utilisé

### 7.2.1 Augmentation des données

L'augmentation des données est une technique utilisée pour augmenter la quantité de données, en ajoutant des copies, légèrement modifiées, de données déjà existantes, ou de données synthétiques, nouvellement créées, à partir de données existantes.

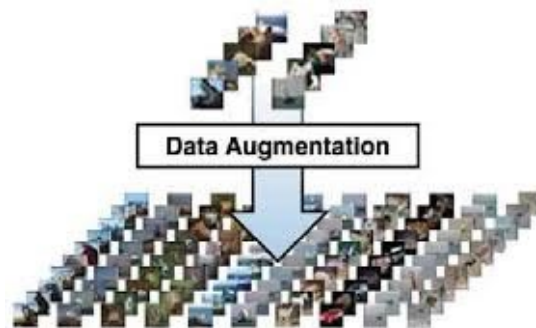


Figure 68 : Augmentation des données

Nous augmentons le nombre d'images dans notre jeu de données, en utilisant quelques techniques de la «data augmentation», qui sont définis comme suit:

- ❖ Zoom:

Qui consiste à prendre une image, et faire un zoom spécifié sur elle, pour en créer une nouvelle image.

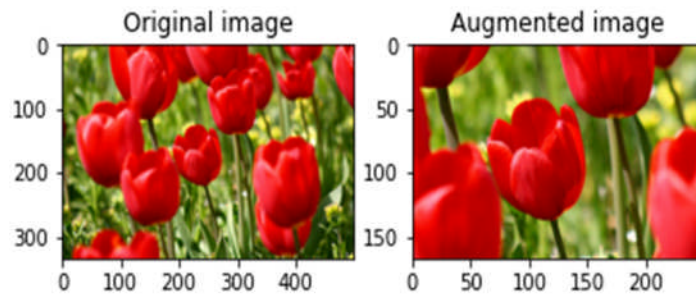


Figure 69 : Technique du zoom

❖ Retournement horizontal et vertical

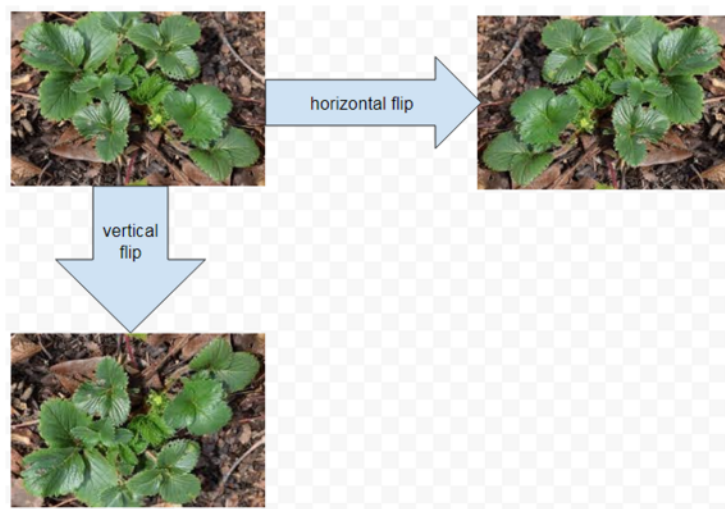


Figure 70 : Retournement horizontal et vertical

❖ Rotation (pivoter)

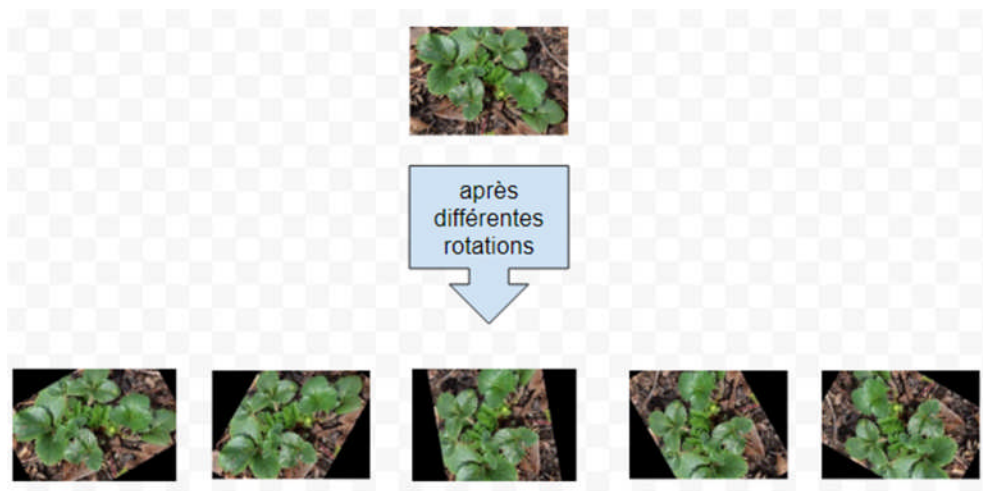


Figure 71 : Différentes rotations d'une image

### 7.2.2 Redimensionnement des images

Les images dans notre dataset sont de dimensions différentes, ce qui nous amène à écrire un scripte python qui accédera aux différents dossiers pour:

- ❖ Redimensionner les différentes images, de sorte à en faire des carrés, de taille (150, 150), dans le but de réduire la puissance de calcul, nécessaire, au traitement des images.
- ❖ Associer une étiquette générée à partir du répertoire source, pour chaque image traitée.

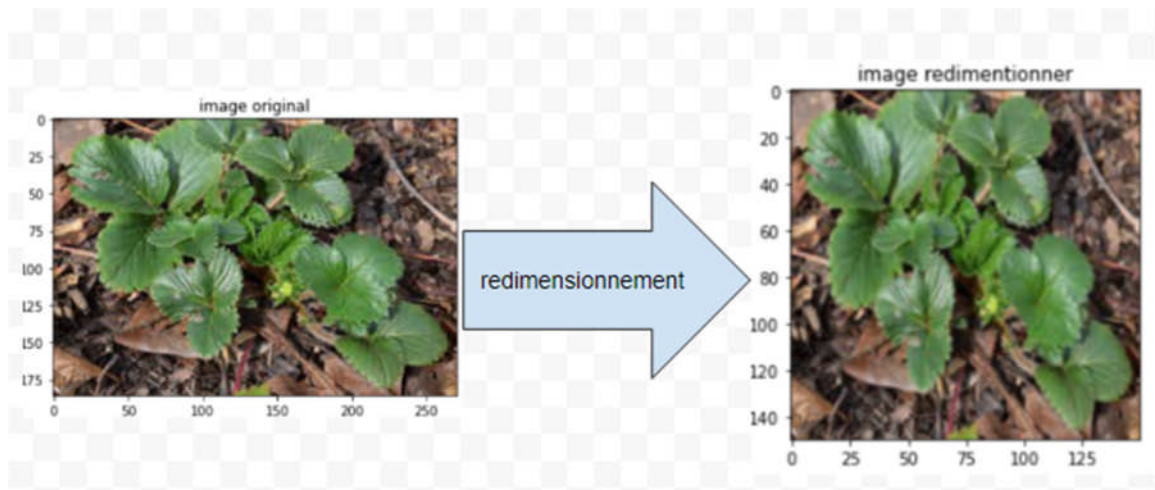


Figure 72 : Exemple de redimensionnement d'image

Nous nous retrouvons, ainsi, en sortie avec une matrice de dimensions [nombre\_images, 2], où la première colonne contient nos images et la deuxième contient leurs étiquettes associées.

Suite à cela, nous mélangeons les éléments de la matrice en conservant les paires intactes (on mélange les lignes et on ne touche pas aux colonnes), ceci a pour but d'éviter au réseau les problèmes liés à un entraînement déséquilibré, où le modèle s'adapte à une classe puis à une autre, ce qui a tendance à générer des résultats erronés.

### 7.3 Implémentation du CNN

Afin d'implémenter notre réseau de neurones employant des couches convolutifs, nous avons procédé comme suit:

Premièrement nous avons importé l'ensemble des bibliothèques nécessaires à la création de notre réseau, principalement tensorflow , keras , opencv, matplotlib.

Puis en raison de problèmes de performances, nous procédons à la division normative du vecteur d'images par 255, afin de n'avoir à travailler qu'avec des valeurs allant de 0 à 1.

Nous passerons ensuite à la phase de construction du modèle, pour cela, nous utilisons le modèle séquentiel de l'Api Keras, pour déclarer les différentes couches de notre réseau.

```
model = Sequential()
model.add(Conv2D(128,(3,3),activation = 'relu', input_shape = (150,150,3)))
model.add(MaxPool2D(2,2))
model.add(Conv2D(256, (3,3), activation='relu'))
model.add(MaxPool2D(2,2))
model.add(Conv2D(512, (5,5), activation='relu'))
model.add(MaxPool2D(3,3))

model.add(Flatten())
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(1024, activation = 'relu'))
model.add(Dense(512, activation = 'relu'))
model.add(Dense(256, activation = 'relu'))
model.add(Dense(2, activation = 'softmax'))

model.compile(loss = 'categorical_crossentropy',
              metrics = ['acc'],
              optimizer = 'sgd')
model.summary()
```

Figure 73 : Modèle séquentiel

Notons que le dernier appel fonction, dans le modèle ci-dessus, nous permet d'instancier les paramètres d'entraînement du réseau. L'architecture en couche du modèle utilisé est représentée par la figure suivante :

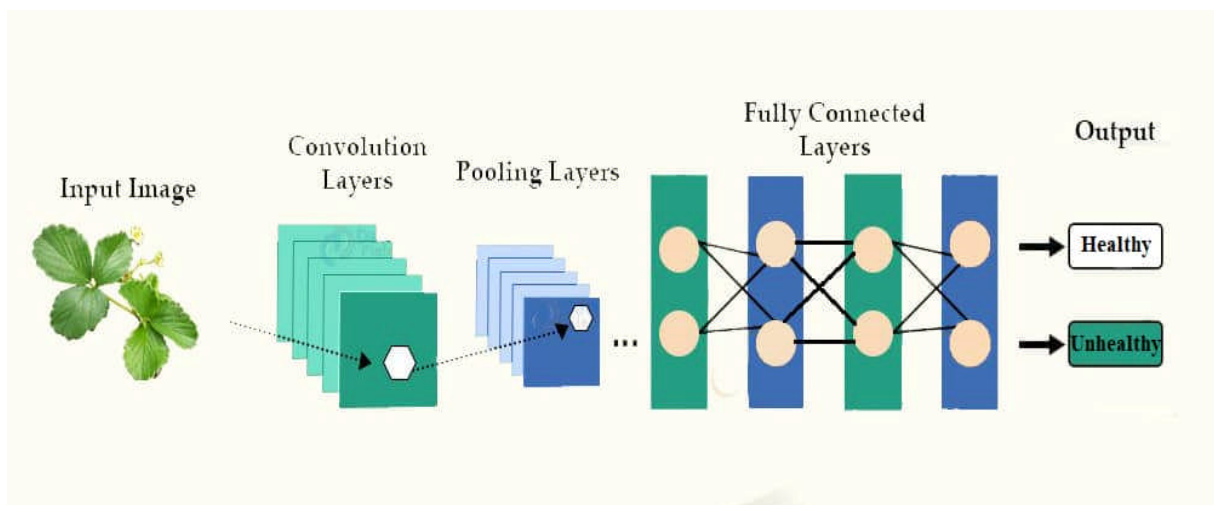


Figure 74 : Architecture de notre modèle

Nous lançons, ensuite, une estimation du nombre de paramètres entraîables de notre modèle (qui sont les différents poids de notre réseau), afin de mieux visualiser la complexité de ce dernier. Nous avons trouvé un nombre qui approche les 57 millions de paramètres entraîables, comme indiqué dans la figure ci-dessous.

```
[ ] Model: "sequential_1"
-----
Layer (type)                Output Shape                Param #
-----
conv2d_3 (Conv2D)           (None, 148, 148, 128)      3584
max_pooling2d_3 (MaxPooling2 (None, 74, 74, 128)      0
conv2d_4 (Conv2D)           (None, 72, 72, 256)        295168
max_pooling2d_4 (MaxPooling2 (None, 36, 36, 256)      0
conv2d_5 (Conv2D)           (None, 32, 32, 512)        3277312
max_pooling2d_5 (MaxPooling2 (None, 10, 10, 512)      0
flatten_1 (Flatten)         (None, 51200)              0
dropout_1 (Dropout)         (None, 51200)              0
dense_4 (Dense)             (None, 1024)               52429824
dense_5 (Dense)             (None, 512)                524800
dense_6 (Dense)             (None, 256)                131328
dense_7 (Dense)             (None, 2)                  514
-----
Total params: 56,662,530
Trainable params: 56,662,530
Non-trainable params: 0
```

Figure 75 : Résumé du nombre de paramètres entraîable du modèle

### 7.3.1 La durée moyenne de l'entraînement

Selon l'environnement d'exécution choisi (par environnement d'exécution nous faisons référence à l'emploi d'un CPU, un GPU), les temps d'entraînements varient.

Le hardware employé est un CPU cadencé à 2.3 GHZ, disposant d'un seul cœur et deux threads, et un GPU de type Tesla T4 disposant de 2560 CUDA cores et de 16Go de mémoire.

Temps d'exécution CPU par epoch	Temps d'exécution GPU par epoch
12H	260 S

Tableau 3 : Temps d'entraînement avec différents hardware

### 7.3.2 Evaluation de notre CNN

Dans ce qui suit, nous allons voir l'ensemble des résultats obtenus, par notre implémentation d'un modèle basé sur un réseau de neurones convolutifs.

Grâce à l'utilisation de la bibliothèque matplotlib, il nous a été possible de suivre l'évolution de la précision (accuracy), ainsi que la valeur moyenne de la fonction de coûts de notre modèle, tout au long de son entraînement (les 2 figures ci dessous); de plus, de part l'emploi de validation dataset, il a été possible d'effectuer des tests de validation à chaque epoch, ce qui nous permet d'augmenter le nombre de nos mesures en y incluant une précision de validation (epoch val acc) et une moyenne de la fonction de coûts de validation(epoch val loss), comme le montre les figures suivantes:

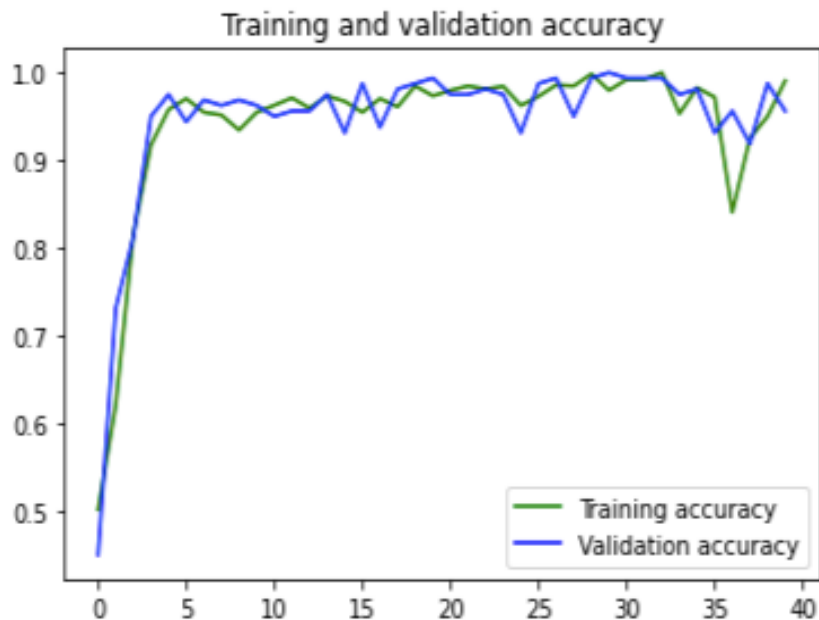


Figure 76 : Courbe de l'évolution de la précision du CNN

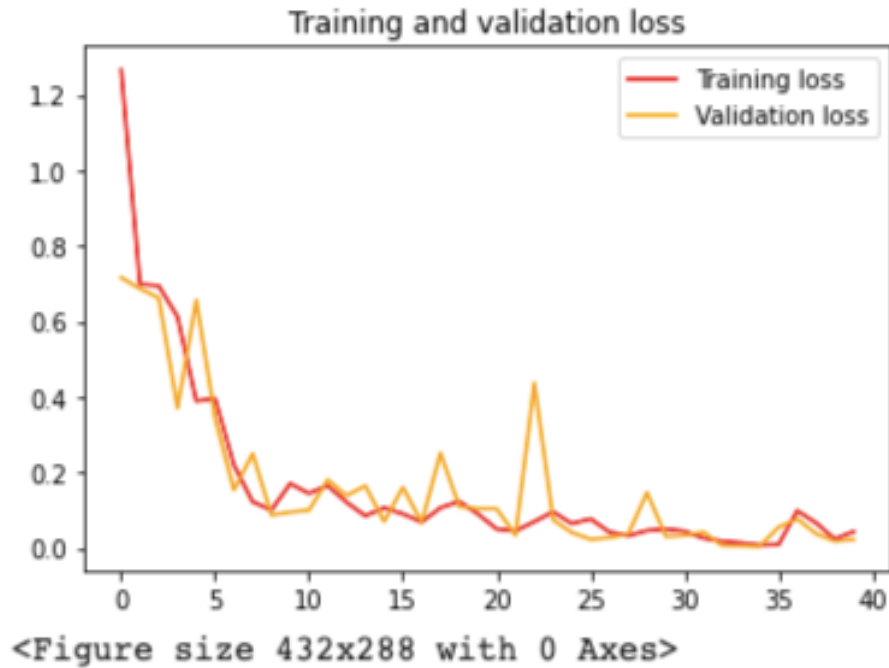


Figure 77 : Courbe de l'évolution de l'erreur du CNN

En se focalisant sur les deux courbes précédentes, nous pouvons observer l'évolution des deux mesures (la précision et l'erreur), en effet, la précision mesure la faculté du modèle à réaliser de bonnes prédictions, la fonction de coûts (erreur) permet d'évaluer l'écart entre les prédictions attendues et celles obtenues; au fur et à mesure que notre modèle s'améliore, le nombre d'erreurs qu'il commet diminue, d'où la baisse du coût, là où la précision augmente.

Vu que l'évolution de la courbe de l'entraînement et celle de validation, pour la précision et l'erreur est négligeable, ceci indique que notre modèle ne souffre pas du problème de l'overfitting.

#### 7.4 Résultats des testes du modèle



('plante de fraise sain a:', 0.72525835)



Les images ci-dessus représentent des plantes d'un fraisier, après les avoir traitées avec notre modèle.

### 8 Les emails et les SMS d'alerte

Le manque d'eau dans le réservoir et le dysfonctionnement d'un capteur provoquent le déclenchement d'une alerte.

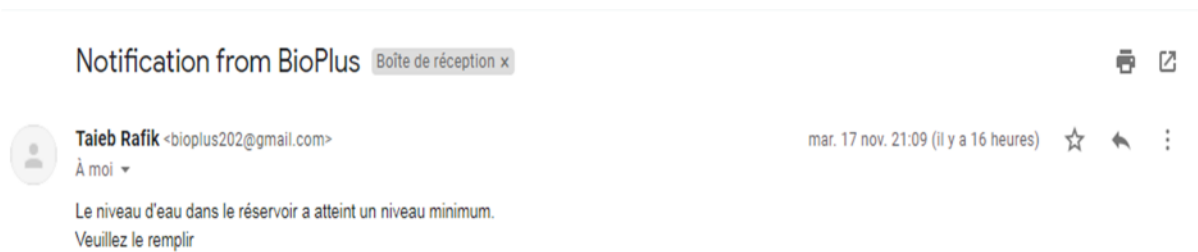


Figure 78 : Email d'alerte réservoir

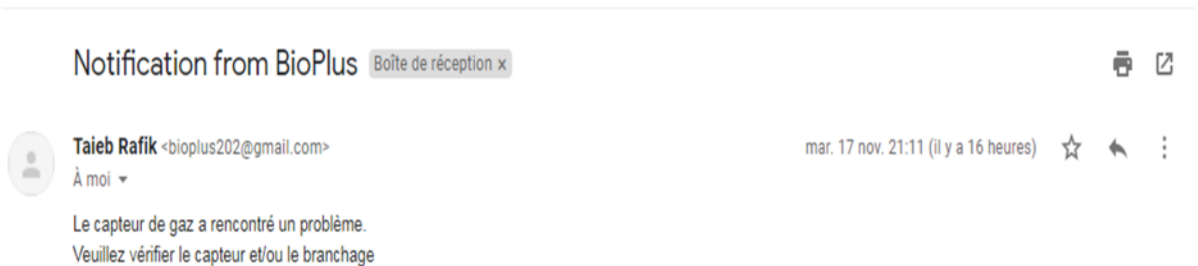


Figure 79 : Email d'alerte capteur

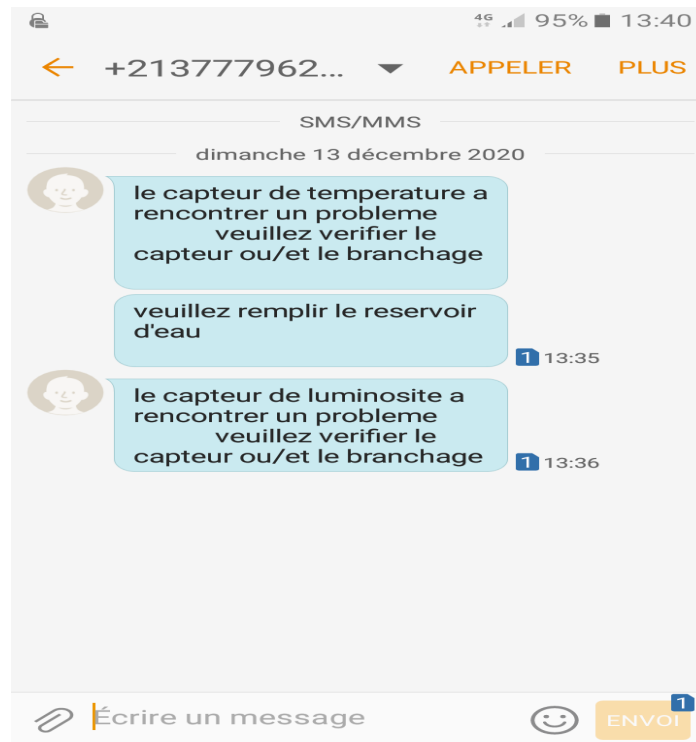


Figure 80 : Les SMS d'alertes

## 9 Réalisation de l'application web

### 9.1 Technologies utilisées

Pour la création de l'application web, nous avons utilisé HTML, CSS et JavaScript pour le front-end, avec PHP et Symfony Framework pour le back-end.

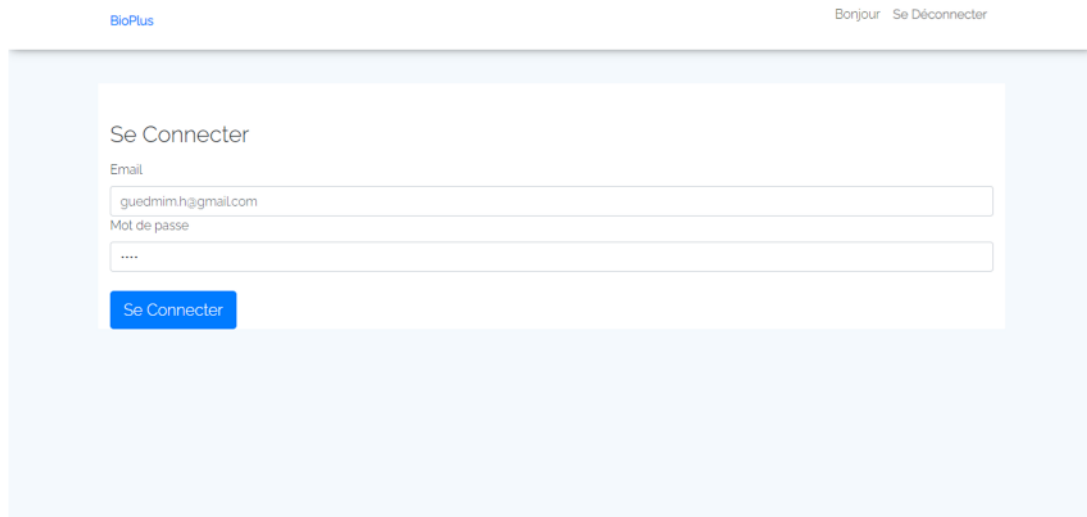
- ❖ **HTML:** HTML (HyperText Markup Language) est un langage de description (ou de marquage) de pages Web. Il permet de présenter les documents hypertextes destinés à être affichés sur le navigateur. Il s'agit d'un langage coté client.
- ❖ **CSS:** Les feuilles de styles (en anglais "Cascading Style Sheets", abrégé CSS) sont un langage qui permet de gérer la présentation d'une page Web. Les styles permettent de définir des règles appliquées à un ou plusieurs documents HTML. Ces règles portent sur le positionnement des éléments, l'alignement, les polices de caractères, les couleurs, les marges et espacements, les bordures, les images de fond, etc.

- ❖ **Javascript:** JavaScript est un langage de script orienté objet, principalement connu comme le langage de script des pages web. Le code JavaScript est interprété ou compilé à la volée. C'est un langage à objets utilisant le concept de prototype, disposant d'un typage faible et dynamique qui permet de programmer, suivant plusieurs paradigmes de programmation: fonctionnelle, impérative et orientée objet.
- ❖ **Symfony:** Symfony est un ensemble de composants PHP, ainsi qu'un framework MVC libre écrit en PHP. Il fournit des fonctionnalités modulables et adaptables qui permettent de faciliter et d'accélérer le développement d'une application web.

## 9.2 Présentation des interfaces

Le rôle général de notre application consiste à contrôler le climat de la serre.

En premier lieu, l'utilisateur se connecte à l'application en saisissant son email et mot de passe :



The screenshot shows a web interface for 'BioPlus'. At the top left is the logo 'BioPlus' and at the top right are the links 'Bonjour' and 'Se Déconnecter'. The main content area is a light blue box containing a white form titled 'Se Connecter'. The form has two input fields: 'Email' with the value 'guedmim.h@gmail.com' and 'Mot de passe' with four dots. Below the fields is a blue button labeled 'Se Connecter'.

Figure 81 : Connexion de l'utilisateur

L'utilisateur indique un intervalle pour chaque paramètre de la serre, par exemple la valeur de la température doit être comprise entre 20°C et 30°C.

BioPlus Bonjour Utilisateurs Administration Se Déconnecter

### Ajuster les paramètres de la serre

Température air (°c)	Min	20	Max	30
Humidité air (%)	Min	50	Max	65
Humidité Sol (%)	Min	20	Max	80
Taux de CO2 (ppm)	Min	527	Max	1000

Figure 82 : Intervalles des paramètres de la serre

Les données sont lues par la Raspberry Pi, qui peut en conséquence, déclencher les actions nécessaires, si un seuil est dépassé.

Enfin, Nous avons une page qui permet d'avoir les valeurs des différents paramètres (température, taux de gaz...) prélevés, périodiquement, de la serre, ce qui nous offre la possibilité de surveiller le climat de cette dernière. Au sein de la même page, l'utilisateur peut lui même déclencher la ventilation, l'arrosage et l'éclairage.

BioPlus Bonjour Administration Se Déconnecter

### Paramètres

Température de l'air	27 °c
Humidité de l'air	30 %
Humidité du sol	40 %
Taux de CO2	527 ppm

### Contrôle Manuel

Eclairage	OFF
Arrosage	ON
Ventilation	ON

Figure 83 : Paramètres prélevés et contrôle semi-automatique des différentes actions

## **10 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé les étapes de mise en œuvre de notre environnement de travail, nous avons testé et montré les résultats de fonctionnement du système sur notre serre prototype, enfin nous avons présenté le mécanisme qui permet l'envoi d'alertes ainsi que les différentes interfaces de notre application web avec leur rôle.

### Conclusion générale

Le projet rentre dans le cadre de l'agriculture intelligente, en générale, et de la gestion des serres agricoles en particulier.

Afin d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles issue de la culture sous serres, et de faire face à un marché très concurrentiel, il est nécessaire d'avoir un contrôle climatique optimal. Pour cela, nous avons développé une plateforme pour l'automatisation et le contrôle intelligent des serres agricoles.

Dans un premier temps, nous avons dû nous documenter sur l'Internet des Objets (IOT) qui est un concept utilisé dans l'agriculture intelligente. Ensuite, nous avons fait des recherches sur les serres agricoles et leur climat, ce qui nous mis en évidence les différents paramètres à prendre en compte pour la réalisation du système de contrôle. Enfin, nous avons étudié les réseaux de neurones pour construire notre modèle de classification.

Ce système est composé d'une partie embarquée constituée d'une Arduino UNO, pour capter les données des différents capteurs et d'une Raspberry Pi pour la partie contrôle des données. Avec sa capacité d'actionnement, le système peut fournir, d'une manière automatique, des services adéquats, à savoir, la gestion d'arrosage, d'éclairage, de ventilation et de réservoir. Nous avons construit un modèle qui classe les plantes de la serre en deux catégories: plante malade et plante en bon état. Dans le cas de détection d'une plante malade, une notification sous forme d'email et SMS est envoyée à l'utilisateur. La partie application Web nous permet de visualiser les données issues de capteurs, de fixer les seuils des différents paramètres de la serre, et de déclencher les actions nécessaires.

L'utilisateur du système est libre de basculer entre le contrôle automatique et semi-automatique. Dans le cas de contrôle automatique, le fonctionnement du système est gouverné par les données acquises par les capteurs, dans le cas de contrôle semi automatique, le déclenchement des différentes actions est réalisé à l'aide de l'application web.

La réalisation de ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques, et d'acquérir une certaine expérience au niveau de la réalisation pratique. Nous avons eu l'occasion d'étudier, de concevoir et d'utiliser une diversité de matériels et logiciels, et d'appliquer notre savoir et savoir-faire acquis lors de notre formation.

## **Conclusion Générale**

---

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

- L'extension de la plateforme web, pour permettre de gérer des serres à grand volume;
- L'intégration de la possibilité de contrôler plusieurs types de plantes;
- L'ajout d'autres actionneurs comme : le chauffage d'eau, l'enrichissement en CO<sub>2</sub>, etc;
- Le suivi d'autres paramètres comme la pression et le PH.

## ***Références bibliographiques***

- [1]: Qu'est ce que l'internet des objets (IOT) ? | oracle France oracle.com  
<https://www.oracle.com/fr/internet-of-things/what-is-iot.html>
- [2]: "Qu'est-ce que l'IoT ? Définition de l'IoT, l'Internet des Objets - IT Social ...." 20 juil.. 2017,  
<https://itsocial.fr/innovation/objets-connectes/quest-liot-definition-de-liot-linternet-objets/>
- [3]: 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
- [4]: <http://annales.com/ri/2010/ri-novembre-2010/Weill.pdf>
- [5]: Christian, Fnac, blog, <http://www.fnac.com/Avec-les-objets-connectes-le-changementcest-maintenant-MAJ-Mars-2017/cp20440/w-4>.
- [6]: Les trois bénéfiques de l'IOT pour les entreprises votre-it-facile.fr  
<https://www.votre-it-facile.fr/benefices-de-liot-pour-les-entreprises/>
- [7]: DATA SECURITY BREACH  
<https://www.datasecuritybreach.fr/>
- [8]: <https://www.nature.com/news/society-build-digital-democracy-1.18690>
- [9]: "Focus sur l'Internet of Things (IoT)... l'essentiel à savoir." 28 août. 2017,  
<https://www.welcometothejungle.co/fr/articles/focus-sur-l-internet-of-things-iot-l-essentiel-a-savoir>.
- [10]: « Qu'est-ce que l'IoT et pourquoi mener une stratégie d'IoT ? | Digora. »  
<https://www.digora.com/fr/blog/definition-iot-et-strategie-iot>
- [11]: <http://www.lirmm.fr/~seriai/uploads/Enseignement/iot.pdf>
- [12]: [Memmedi Mehdi] : Mémoire de Master, Filière: Electronique, Spécialité: Electronique des systèmes embarqués, thème: « Réalisation d'une mini serre agricole connectée », Promotion 2019, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA.
- [13]: Modèles d'architecture de l'internet des objets | OCTO Talks !  
<https://blog.octo.com/modeles-architectures-internet-des-objets/>
- [14]: Les réseaux Iot : comment choisir un réseau ? Les différents réseaux ?  
<https://www.connectwave.fr/techno-appli-iot/iot/les-reseaux-iot/>
- [15]: Réseau IoT : quel protocole choisir pour ces objets connectés.  
<https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1181267-les-reseaux-iot/>
- [16]: Les objets connectés / les technologies de communication de... smartgrids-cre.fr  
<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-technologies>

[17]: Z-Wave domotique-info.fr

<https://www.domotique-info.fr/technologies-domotique/zwave/>

[18]: Technologie RFID : qu'est ce que s'est ? | Companeo.com

<https://www.companeo.com/portiques-de-securite/guide/technologie-rfid>

[19]: M2M et IoT : quelle est la différence ? -Picomto Picomto.com

<https://www.picomto.com/m2m-et-iot-quelle-est-la-difference/>

[20] : Protocoles pour l'internet des objets |arrow.com

<https://www.arrow.com/fr-fr/research-and-events/articles/protocoles-for-the-internet-of-things>

[21]: Que signifie XMPP ?- Definition IT de whatis.fr whatis.techtarget.com

<https://whatis.techtarget.com/fr/definition/XMPP>

[22]: Technologies et protocoles IOT | Microsoft Azure azure.microsoft.com

<https://azure.microsoft.com/fr-fr/overview/internet-of-things-iot/iot-technology-protocols/>

[23]: 10 applications de l'internet des objets qui révolutionnent la société...

blog.lesjeudis.com

<https://blog.lesjeudis.com/10-applications-de-l-internet-des-objets-qui-revolutionnent-la-societe>

[24]: Applications utiles aux agriculteurs, <http://www.frenchweb.fr/bon-app-5-applications-utiles-aux-agriculteurs/143304>.

[25]: Une application web pour suivre la santé des patients atteints d'un cancer,

<https://rcf.fr/actualite/une-application-web-pour-suivre-la-sante-des-patients-atteints-dun-cancer>.

[26]: Jayaraman, Prem, et al. "Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt." *Sensors* 16.11 (2016): 1884

[27]: «comment l'agriculture utilisent les nouvelles technologies » 26 février 2017

<https://www.lejdd.fr/Economie/Drones-robots-comment-l-agriculture-utilise-les-nouvelles-technologies-850328-3069476>

[28]: <https://www.ecorobotix.com/fr/avo-robot-desherbant-autonome/>

[29]: Philippe Zwaenepoel & Jean-Michel Le Bars (1977), *L'agriculture de précision* ; Ingénieries EAT no 12, décembre 1997.

[30]: [http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/vet/disease\\_pre.html](http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/vet/disease_pre.html)

[31]: [LEMDANI, MALOUADJMI]: Mémoire de master, Filière: Génie Electrique, Option : Automatique, thème« Etude, conception et réalisation d'une plateforme pour l'automatisation et le contrôle à distance des serres agricoles ». Promotion Juin 2017, Université M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES.

[32]: [Bouteraa Yakoub]: Mémoire magister en science agronomique, option : machinisme agricole et agroéquipement, thème : « automatisation d'une serre agricole -Réalisation d'un prototype-» Promotion 2012, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie El Harrach.

[33]: [YOUCEF AL AFOU]: Thèse en cotutelle pour l'obtention du grade docteur en science Discipline : physique, Spécialité : Automatique, Thème : « Contribution au contrôle des paramètres climatiques sous serre». Promotion 2014, Université MOULAY ISMAIL.

[34]: [Mr DIDI Faouzi ]: Thèse pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT LMD faculté des sciences département de physique spécialité « énergie renouvelable » thème : « Optimisation de la gestion du microclimat de la serre par l'introduction de l'intelligence artificielle ». Promotion 2018, Université ABOU-BEKR BELKAID- TLEMCEM

[35]: [Loukal, kebir]: Mémoire de fin d'études, en vue de l'obtention du diplôme de master académique en génie mécanique option : énergétique, Thème : « Comparaison du champ thermique dans deux types de serre de culture». Promotion 2017/2018, Université Mouloud Mammeri de tizi-ouzou.

[36] : [www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX\\_238-1/FicheTox\\_238.pdf](http://www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX_238-1/FicheTox_238.pdf)

[37] : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/LavalLanaudiere/Journeesagricoles2016/TrucsSerre2016MichelSenecal.pdf>

[38]: « équipements pour serres - climat idéal pour chaque culture ULMA agricola »  
<https://www.ulmaagricola.com/fr/serres/equipements/>

[39]: <https://mapschool.io/>

[40]: IRIV, «Outils fondamentaux en traitements d'images,» 2018.  
<http://miv.u-strasbg.fr/mazet/ofiti/bases.pdf>.

[41]: livre de : Nicholas Locascio et Nikhil Buduma , Fundamentals of Deep Learning: Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms;  
<https://books.google.dz>

[42] : Claude Touzet , LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS INTRODUCTION AU CONNEXIONNISME

[http://www.touzet.org/Claude/Web-Fac-Claude/Les\\_reseaux\\_de\\_neurones\\_artificiels.pdf](http://www.touzet.org/Claude/Web-Fac-Claude/Les_reseaux_de_neurones_artificiels.pdf)

[43] : Pascal Monasse et kimia Nadjahi; classifiez les images à l'aide de réseaux de neurones convolutifs; <https://openclassrooms.com/fr/courses/4470531-classez-et-segmentez-des-donnees-visuelles/5082166-quest-ce-quun-reseau-de-neurones-convolutif-ou-cnn>

[44] : <https://openclassrooms.com/fr/courses/4470531-classez-et-segmentez-des-donnees-visuelles/5083336-decouvrez-les-differentes-couches-d-un-CNN>

[45]: Microcontrôleur : Génie Electrique  
<http://for-ge.blogspot.com/2015/07/microcontroleur.html>

- [46]: G. geek, «Arduino Vs Raspberry pi,».  
<http://www.lafabriquedi.com/tutoriel/arduino-vs-raspberry-pi-86/>
- [47]: "Introduction à l'Arduino."  
<https://perso.ens-lyon.fr/michael.rao/hacker/arduino.pdf>
- [48]: Carte Raspberry Pi 3 B+ Raspberry Pi – Cartes Raspberry | GO TRONIC gotronic.fr  
<https://www.gotronic.fr/art-carte-raspberry-pi-3-b-27826.htm>
- [49]: Datasheet du DHT11: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- [50]: Documentation du protocole 1-Wire :  
<https://github.com/openremote/Documentation/wiki/1-Wire>
- [51] : Module de qualité de l'air du capteur de gaz MQ-135... az-delivery.de  
<https://www.az-delivery.de/fr/products/mq-135-gas-sensor-modul>
- [52]: PPM à quoi correspond cette unité de mesure de la pollution ? – geo.fr  
<https://www.geo.fr/environnement/ppm-a-quoi-correspond-cette-unite-de-mesure-de-la-pollution-193340>
- [53]: <https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-la-luminosite-ambiante-avec-une-photoresistance-et-une-carte-arduino-genuino/>
- [54]: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/RaspberryPi/RPiCamMod2.pdf>
- [55]: [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995\\_Tower-Pro.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf)
- [56]: <https://tutorials-raspberrypi.com/raspberry-pi-sensors-overview-50-important-components/>
- [57]: <https://techship.com/downloads/simcom-sim808-datasheet/>
- [58]: OS pour Raspberry Pi -10 systèmes d'exploitations et logiciels-  
<https://www.ionos.fr/digitalguide/serveur/know-how/systeme-exploitation-raspberry-pi/>
- [59]: <https://www.hostinger.fr/tutoriels/quest-ce-quapache-serveur-web-apache/>
- [60]: <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203597-php-hypertext-preprocessor-definition/>
- [61]: <https://www.lebigdata.fr/python-langage-definition>
- [62] : <https://keras.io/about/>
- [63] : <https://opencv.org/>

## Maladie Foliaire du fraisier: Brulures des feuilles (Tache Phomopsienne)

Cette maladie apparait d'abord sur une foliole sous forme de petites taches rouge violacé presque rondes (de une à six taches). Quand les taches s'étendent, on peut distinguer trois zones :

- Une zone externe mauve, rouge ou jaune, qui prend progressivement la coloration normale verte des feuilles,
- Une zone intérieure brun clair,
- Une zone centrale brun foncé, pointillée de pycnides noirs.

Les zones infectées à proximité d'une nervure principale sont souvent de forme ovale et prennent une forme caractéristique en «V».

Les figures ci-dessous représentent des brulures sur des feuilles d'un fraisier:



Les dommages sont parfois importants lorsque la température est chaude et humide juste avant la récolte. Les pertes de rendement sont souvent imputables à la diminution de la viabilité des graines lorsque la récolte est retardée. La brûlure phomopsienne est considérée comme une maladie fréquente et mineure.

Le champignon responsable de la maladie passe l'hiver dans les feuilles âgées et se propage par les éclaboussures causées par la pluie. Les pertes causées par les brûlures des feuilles dues à *Phomopsis* n'ont pas été mesurées, et la pourriture molle du fruit causé par *Phomopsis*, présente des lésions caractéristiques rose pâle, aqueuses qui virent au brun clair et sont plus marquées par temps chaud.

**Moyens de lutte:**

- Il n'existe pas de cultivars très résistants à cette maladie ou qui sont immunisés contre elle.
- Les moyens de lutte utilisés contre la tache foliaire et la tache pourpre seront indirectement efficaces contre la brûlure des feuilles du fraisier.
- Recourir à des pratiques culturales qui permettent de garder les rangs étroits et de faciliter la circulation d'air.
- Il n'existe pas de fongicides homologués contre la brûlure des feuilles du fraisier.
- Traitez avec des pulvérisations de bicarbonate de soude.