



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université Mohamed Khider – BISKRA**  
Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie  
**Département d'informatique**

N° d'ordre : 12 /M2/2019

## **Mémoire**

Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en

# **Informatique**

Parcours : **Intelligence artificielle**

---

# **Gestion automatique des serres agricoles dans une ferme**

---

Par :

**BACI WASSIME**

Soutenu le 07 juillet 2019, devant le jury composé de :

<b>Aloui Ahmed</b>	Grade : M A B	Président
<b>Bouchana Belkacem</b>	Grade : M C A	Rapporteur
<b>Ouaar Hanane</b>	Grade : M A A	Examineur

# SOMMAIRE

<b>Introduction générale</b> .....	01
<b>Chapitre I : Internet des objets</b> .....	03
I.1. Introduction .....	04
I.2. Que ce que l'Internet des objets .....	04
I.3. Historique sur l'Internet des objets .....	05
I.4. L'IOT aujourd'hui .....	06
I.5. Le futur de l'IOT .....	07
I.6. Internet des objets et son importance.....	08
I.7. Internet des objets comme un système .....	08
I.7.1. L'Internet des objets comme un système des systèmes.....	08
I.7.2. Réseaux et Internet des Objets .....	09
I.7.3. L'Internet des Objets et les données .....	09
I.7.4. L'Internet des Objets et les nouveaux services .....	10
I.8. Que ce qu'un objet connecté .....	10
I.8.1. Les avantages d'un objet connectés.....	10
I.8.2. Les inconvénients d'un objet connecté.....	11
I.9. L'architecture de l'Internet des objets.....	11
I.10. Les applications de l'Internet des objets .....	12
I.11. Les problèmes de l'Internet des objets.....	15
I.12. Conclusion .....	16
<b>Chapitre II : La serre agricole</b> .....	17
II.1. Introduction .....	18
II.2. La serre agricole et son histoire.....	18
II.2.1. Méthodologie.....	19
II.3. L'intérêt de la serre .....	19
II.4. Le choix et l'installation d'une serre .....	20
II.5. Les classifications des serres.....	23
II.5.1. Les serres d'agrément ou serres Hollandaises .....	23

II.5.2. Les serres tunnels ou serres maraichères .....	24
II.6. Les équipements de la serre .....	26
II.6.1. Les options de serre .....	26
II.6.2. Tables et étagères .....	26
II.6.3. Le système d'arrosage .....	27
II.6.4. Le système de chauffage.....	27
II.7.La mise en place de la serre .....	28
II.8.La serre et le climat .....	28
II.9.Généralités sur la tomate maraichère .....	30
II.9.1 Température.....	30
II.9.2. La lumière .....	30
II.9.3. L'humidité(HR).....	30
II.10.Évolutions des serres cultivées en Algérie .....	31
II.11.Conclusion .....	32
<b>Chapitre III</b> : Environnement et outils de travail .....	33
III.1. Introduction .....	34
III.2. Microcontrôleur Arduino .....	34
III.2.1 Présentation de l'Arduino Uno.....	34
III.2.1.1 Historique .....	34
III.2.1.2 La carte Arduino Uno .....	34
III.2.2. Fiche technique.....	35
III.2.3. L'alimentation .....	36
III.2.4. Communications .....	36
III.2.5. Les broches .....	36
III.2.5.1. Les broches analogiques.....	36
III.2.5.2. Les broches numériques .....	36
III.2.6. La mémoire .....	36
III.3. Les capteurs .....	37
III.3.1. Définition d'un capteur .....	37
III.3.2. Architecture Physique d'un capteur .....	37

III.3.2.1	Unité de capture .....	37
III.3.2.2	Unité de traitement .....	38
III.3.2.3	Unité de Communication .....	38
III.3.2.4	Unité d'énergie .....	38
III.5.1.	Classification des capteurs.....	38
III.5.2.	Les capteurs utilisés.....	41
III.4.	Les composants utilisés .....	42
III.5.	Logiciels et Environnements de programmation .....	43
III.5.1.	L'environnement de programmation (IDE Arduino) .....	43
III.5.1.1.	Structure générale de l'environnement .....	43
III.5.1.2	Injection du Programme .....	44.
III.5.2.	Proteus Professional .....	44
III.5.3.	ISIS Professional .....	45
III.6.	Conclusion.....	46
 <b>Chapitre IV : Réalisation et Développement.....</b>		<b>47</b>
IV.1.	Introduction.....	48
IV.2.	Principe de Fonctionnement de Notre Projet .....	48
IV.2.1.	DHT22 : Capteur de température et d'humidité .....	49
IV.2.2.	Capteur de luminosité.....	52
IV.2.3.	Capteur d'humidité du sol.....	52
IV.2.4.	L'affichagesur LCD.....	53
IV.2.5.	Actionneurs.....	54
IV.2.6.	Tests de capteurs ensemble.....	55
IV.2.7.	SIM8001 V2 (Module GSM/GPRS).....	55
IV.2.7.1.	Caractéristiques du Module .....	55
IV.2.7.2.	Description des Broches .....	55
IV.2.7.3.	Principe de Fonctionnement .....	56
IV.3.	Conclusion .....	58
<b>Conclusion générale .....</b>		<b>59</b>

Références .....	60
Résumé .....	62



## **REMERCIEMENT**

*Tout d'abord je remercie le bon Dieu puissant de la bonne santé, la volonté, et la patience qu'il m'a donné tout au long de mes études.*

*Je présente mes remerciements avec mon profond respect à mon rapporteur*

***Dr. BOUCHANA BELKACEM***

*Pour son suivi, sa patience, ses conseils et son aide, tout le long de la réalisation de ce travail.*

*Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger mon travail et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.*

*Je tiens à remercier tous mes enseignants du département d'informatique*

*Je termine par un grand remerciement à mes parents ainsi qu'à toute ma famille pour leur soutien.*

## *DÉDICACE*

*Je dédie ce travail à :*

*Ma chère mère qui n'a vécu que pour me voir réussir dans ma vie et avoir un bon statut social,*

*Mon cher père qui m'a tout donné sans réserve,*

*Mes chers frères,*

*Et à tous mes amis.*



# Introduction générale

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

Actuellement, la tendance en technologies consiste à se servir des techniques sans fils tel que l'Internet des objets qui a été intégrée dans plusieurs domaines comme : l'armée, l'industrie, l'agriculture, etc. Internet des objets est un terme très vaste et riche. Il nous fait imaginer un monde entier qui est relié et peut se communiquer grâce à l'échange d'information entre ses objets.

Dans le domaine de l'agriculture, la serre agricole pourra à son tour profiter des avantages de l'Internet des objets afin de se transformer à une serre intelligente.

En effet, les serres agricoles intelligentes sont capables de s'adapter à une certaine évolution de l'environnement à l'aide des entrées et des sorties mais aussi des moyens de communication et même les interfaces électroniques de traitement.

L'usage d'un moyen de communication sans fil est l'outil très primordiale et idéale pour améliorer le confort, la sécurité des biens et des personnes ainsi que la réduction de la consommation de l'énergie que ce soit dans le côté économique ou bien le côté gaspillage.

De ce fait, l'agriculture de demain sera automatisée et la production agricole s'appuiera sur la notion de la serre agricole intelligente qui va gérer non seulement les critères d'humidité, de lumière et d'arrosage mais aussi la facilité du contrôle et d'accès par l'agriculteur qui lui permettra certainement une production plus optimale sur tous les plans.

Internet des objets permet aux agriculteurs de prendre le contrôle de leurs champs agricoles en ce qui concerne des paramètres tels que :

- L'humidité.
- La lumière nécessaire à la production agricole.
- L'arrosage.
- La température.

Lorsqu'on dit des objets connectés, donc les équipements connectés en relation avec les Smartphones ont changé notre rapport à Internet, certains fabricants cherchent à connecter les appareils électriques de l'ensemble par le moyen le plus facile possible, et exploiter l'attrait des appareils Smartphone pour transformer le pilotage en super télécommande.

La forte augmentation des ventes des smart phones et des tablettes électroniques se fait en même temps qu'une adoption rapide par un public qui s'intéresse aux nouvelles technologies ainsi qu'à l'autopilotage.

Les agriculteurs pourront à terme contrôler à distance un très grand nombre de fonctions sans avoir à tenir compte de la marque ou de l'origine du produit qu'ils pilotent.

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

Le but principal de notre système est d'aider un simple agriculteur, avec un équipement très simple, facile à manipuler et en plus avec un prix imbattable. L'objectif est de contrôler intelligemment une serre agricole et d'apporter un suivi et un automatisme sans un effort conséquent. Notre solution fonctionne en deux modes : manuel et automatique.

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

- Nous consacrons le premier chapitre à quelques définitions et généralités liées au domaine de l'Internet des objets.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la serre agricole, son évolution dans l'agriculture, son utilisation, ces composants, ces types les plus utilisés et l'impact du climat sur la serre.
- Dans le troisième chapitre, nous exposons les outils et l'environnement de travail dans lequel nous allons préparer le terrain pour la réalisation de ce projet. Nous présentons ainsi les composants essentiels de notre système tel que la carte de commande de type ARDUINO et ses capteurs.
- Le quatrième chapitre est réservé à notre système développé. De ce fait nous allons représenter les différentes étapes de développement de cette dernière et les étapes de la réalisation de la serre agricole.
- Finalement, la conclusion générale fait la synthèse des quatre chapitres de ce mémoire, et remesure les résultats obtenus et donnera des perspectives pour ce projet.

# **Chapitre I : Internet des objets**

## I.1. Introduction:

L'Internet des objets (IOT) est une révolution technologique en informatique et en communication qui a mobilisé le domaine de l'industrie ces dernières années. Dans ce premier chapitre, nous allons survoler la notion d'Internet des objets.

Comme premier titre, nous allons parler de la définition de cette nouvelle technologie qui a pu marquer son utilisation presque dans tous les domaines tel que l'agriculture.

Comme deuxième titre nous parlerons de son histoire depuis qu'elle était inventée jusqu'à nos jours.

En troisième position, nous définissons l'IOT comme un système en relation avec le réseau, les données et les nouveaux services.

Nous allons parler ensuite des objets connectés, en citons leurs avantages et inconvénients.

Puis nous allons voir l'architecture des IOT avant de passer, finalement, aux différents domaines d'applications et les problèmes de l'IOT.

## I.2. Que ce que l'Internet des objets:

L'Internet des objets est un terme très vaste et riche il nous fait imaginer un monde entier qui est relié et peut se communiquer grâce à l'échange d'information entre ses objets.

Leurs utilisateurs en utilisant Internet mais aussi d'autres réseaux de communication bien moins connus mais tous efficaces. C'est le monde de l'Internet des Objets.

D'ici 2020, l'Institut Gartner prévoit plus 50 milliards d'objets connectés sur le marché. Autant vous dire que nous sommes en train d'assister à une véritable révolution numérique qui va radicalement changer nos styles de vie [1].

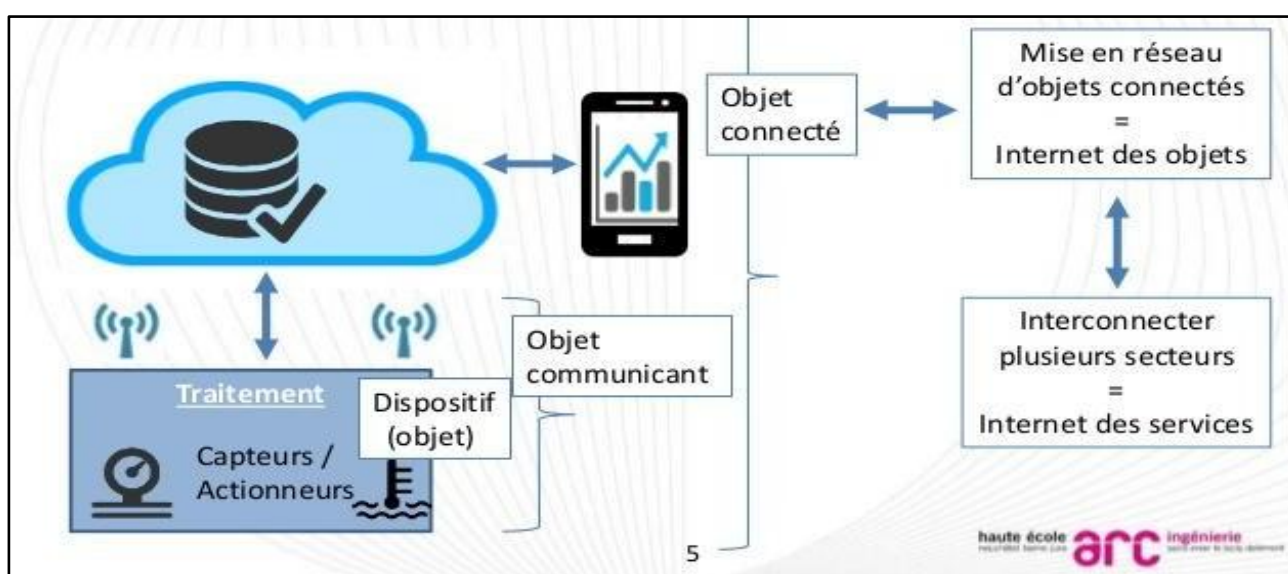
Pour illustrer, prenons un exemple dans le domaine de l'habitat intelligent, aussi connu sous le nom de Smart Home. Imaginez que votre réfrigérateur devienne intelligent. Un réfrigérateur capable de vous dire en temps réel le type de denrées qu'il y a à l'intérieure et capable de passer commande pour vous quand vous avez besoin de vous réapprovisionner.

Le réfrigérateur est un exemple. Mais le nombre d'objets qu'il est aujourd'hui possible de connecter est illimité. Le potentiel qu'offre l'Internet des Objets pour chacun d'entre nous.



## I.4. L'IOT aujourd'hui :

En 2003, la population mondiale s'élevait à environ 6,3 milliards d'individus et 500 millions d'appareils étaient connectés à Internet.<sup>3</sup> Le résultat de la division du nombre d'appareils par la population mondiale (0,08) montre qu'il y avait moins d'un appareil connecté par personne. Selon la définition de Cisco IBSG, l'IOT n'existait pas encore en 2003 car le nombre d'objets connectés était relativement faible. En outre, les appareils les plus répandus actuellement, et notamment les Smartphones, faisaient tout juste leur apparition sur le marché. En raison de l'explosion des Smartphones et des tablettes, le nombre d'appareils connectés à Internet a atteint 12,5 milliards en 2010, alors que la population mondiale était de 6,8 milliards. C'est ainsi que le nombre d'appareils connectés par personne est devenu supérieur à 1 (1,84 pour être exact) pour la première fois de l'histoire [3].



**Figure 3 :** L'Internet des objets aujourd'hui.

Aujourd'hui, derrière l'économie de la donnée, ce sont les objets connectés et l'industrie qui deviennent les principaux générateurs de contenu à analyser. Il est le fondateur de Objecte, une société de recherche, de formation et de conseil autour de l'Internet des objets.

Il est également chargé de cours à l'ISAE-SUPAERO de Toulouse, au Collège de Bois de Boulogne, et formateur professionnel pour Data Science Institute. Il anime de nombreuses conférences chaque année, en Europe, au Canada et en Amérique du Sud.

Il a écrit plusieurs livres sur le Big Data, le CRM, les places de marché, et son prochain ouvrage soulignera le potentiel combiné des objets, des données et des algorithmes.

L'Internet des Objets, ou M2M à l'échelle industrielle, est en pleine expansion depuis quelques années : nous passerons de 15 milliards d'objets connectés dans le monde en 2012 à 80 milliards d'ici 2020 selon les prévisions.

Entrez dans la révolution IOT du 21<sup>ème</sup> siècle basé sur des objets connectés, source de données tout au long de leur cycle de vie, qui se focalise sur la connectivité permanente et l'exploitation

systematique de ces données grâce au Big-data. Ces données, relatives à l'état et l'environnement d'exploitation des objets en question, élargissent les possibilités de services du fabricant dans de nombreux domaines tels que l'observance, l'optimisation des flux, la maintenance prédictive et l'automatisation (mise à jour).

Ces objets connectés trouvent une utilité dans tous les domaines.

Les objets connectés produisent de grandes quantités de données dont le stockage et le traitement entrent dans le cadre de ce que l'on appelle les Big data. En logistique, il peut s'agir de capteurs qui servent à la traçabilité des biens pour la gestion des stocks et les acheminements. Dans le domaine de l'environnement, il est question de capteurs surveillant la qualité de l'air, la température, le niveau sonore, l'état d'un bâtiment ,etc.

En domotique, l'IOT recouvre tous les appareils électroménagers communicants, les capteurs (thermostat, détecteurs de fumée, de présence...), les compteurs intelligents et systèmes de sécurité connectés des appareils de type box domotique.

Le phénomène IOT est également très visible dans le domaine de la santé et du bien-être avec le développement des montres connectées, des bracelets connectés et d'autres capteurs surveillant des constantes vitales. Selon diverses projections (cf. Cisco et le cabinet Gartner), le nombre d'objets connectés devrait largement augmenter au fil des ans.

## **I.5. Le futur de l'IOT**

Des chercheurs de l'EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) en Suisse ont annoncé en juillet 2016 avoir réussi à mettre au point un condensateur en graphène modulable qui permet l'utilisation des hautes fréquences pour connecter les objets c'est-à-dire que la transmission, des données et des informations circulant d'un appareil à l'autre dans un écosystème fermé comme l'ensemble des objets connectés d'une maison, sera plus rapide.

Les données circulant mieux et plus rapidement vont permettre une utilisation plus simple, plus intuitive et plus efficace des appareils. D'autant que leur autonomie de fonctionnement sera largement plus importante [4].

Ce sont des chercheurs spécialisés dans la nano électricité qui ont eu élaboré un dispositif en graphène modulable. Ce dernier étant très petit et donc peu encombrant (sa taille= quelques centaines de micromètres), est miniaturisé. Ainsi, en plus d'améliorer la fréquence des transmissions et d'allonger la durée d'utilisation des batteries, il permettra aussi de fabriquer des appareils connectés encore plus compacts [4].

Le graphène semble être aussi le matériau idéal dans le développement de la wearable technologie, des vêtements intelligents, et de la biotechnologie.

Le graphène provoque donc un véritable défi pour l'avenir des communications sans fil et de l'IOT.

## **I.6. Internet des objets et son importance :**

De nos jours les objets se transforment en objets intelligents capables de détecter, d'interpréter et de réagir à l'environnement grâce à la combinaison des IOT et les technologies émergentes.

La liaison et la gestion de plusieurs objets est devenue facile grâce à l'Internet des objets qui est capable de relier un monde de réseau d'appareils intelligents, ou tout est interconnectés et a une entité numérique. De tous les jours les objets se transforment en objets intelligents capables de détecter, d'interpréter et de réagir à l'environnement grâce à la combinaison de l'Internet et technologies émergentes.

- ✓ Pour la technologie à disparaître de la conscience de l'utilisateur, l'Internet des objets exige : une compréhension commune de la situation de ses utilisateurs et de leurs appareils.
- ✓ Des architectures logicielles et réseaux de communication omniprésents pour traiter et transmettre les informations contextuelles pour où il est pertinent.
- ✓ Les outils d'analyse dans l'Internet des objets qui visent un comportement autonome et intelligent.

Avec ces trois raisons fondamentales en place, la connectivité intelligente et sensible au contexte de calcul peut être accomplie.

Depuis la production industrielle est l'un des plus grands facteurs économiques du monde l'un des principaux objectifs de ces initiatives est d'amener les paradigmes de la IOT aux usines leur permettant de faire face aux défis posés par populaires mégatendances. Les mégatendances avant tout pertinentes pour les usines sont la mondialisation, progresser l'évolution technologique, la dynamisation des cycles de vie des produits, la main-d'œuvre vieillissante et la pénurie de ressources. Effets centraux sont l'accélération des cycles d'innovation et de la demande croissante des clients pour masse individualisée produit avec les plus hautes exigences de qualité. Dans le cadre de la production industrielle des projets et applications IOT se développent dans la fabrication, la chaîne d'approvisionnement, la surveillance et l'entretien. Une question importante dans tous les projets est sur la valeur, la prestation telle application peut apporter à l'utilisateur, au propriétaire ou à la société.

L'Internet des objets regroupe tous les objets physiques communicants dotés d'une identité numérique unique.

Selon l'Union internationale des télécommunications, l'Internet des objets (IOT) est une « *infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution* » [5].

D'un point de vue conceptuel, l'Internet des objets caractérise des objets physiques connectés ayant leur propre identité numérique et capables de communiquer les uns avec les autres. Ce réseau crée en quelque sorte une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel.

## **I.7. Internet des objets comme un système :**

L'Internet des objets est en relation avec le réseau, les données et les nouveaux services :

### **I.7.1. L'Internet des objets comme un système des systèmes :**

L'IOT désigne plutôt diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc.) qui



permettent d'identifier des objets, de capter, stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels. L'enjeu majeur n'est pas tant d'inventer de nouvelles technologies que de perfectionner celles qui existent déjà, de les connecter, et de les intégrer.

Nous listons ci-après les principales classes de solutions nécessaires au fonctionnement de l'IOT. Plutôt que d'en décrire tous les éléments, nous considérerons trois composantes considérées comme critiques : les solutions RFID, les solutions logicielles middleware et le réseau EPC global.

## I.7.2. Réseaux et Internet des Objets :

L'IOT se compose d'un ensemble hétérogène de réseaux qui permettent la communication de ces objets. Parmi les plus connus, les réseaux cellulaires des opérateurs télécoms qui permettent aux objets équipés d'une carte SIM M2M de remonter et envoyer les données. En plein émergence, les réseaux LPWA, avec notamment LoRa et Sigfox. Réseaux bas débit longue portée, ce sont des protocoles entièrement dédiés aux communications entre objets. Mais d'autres technologies sont aussi utilisées comme le Narrow Band ou le LTE-m[6].

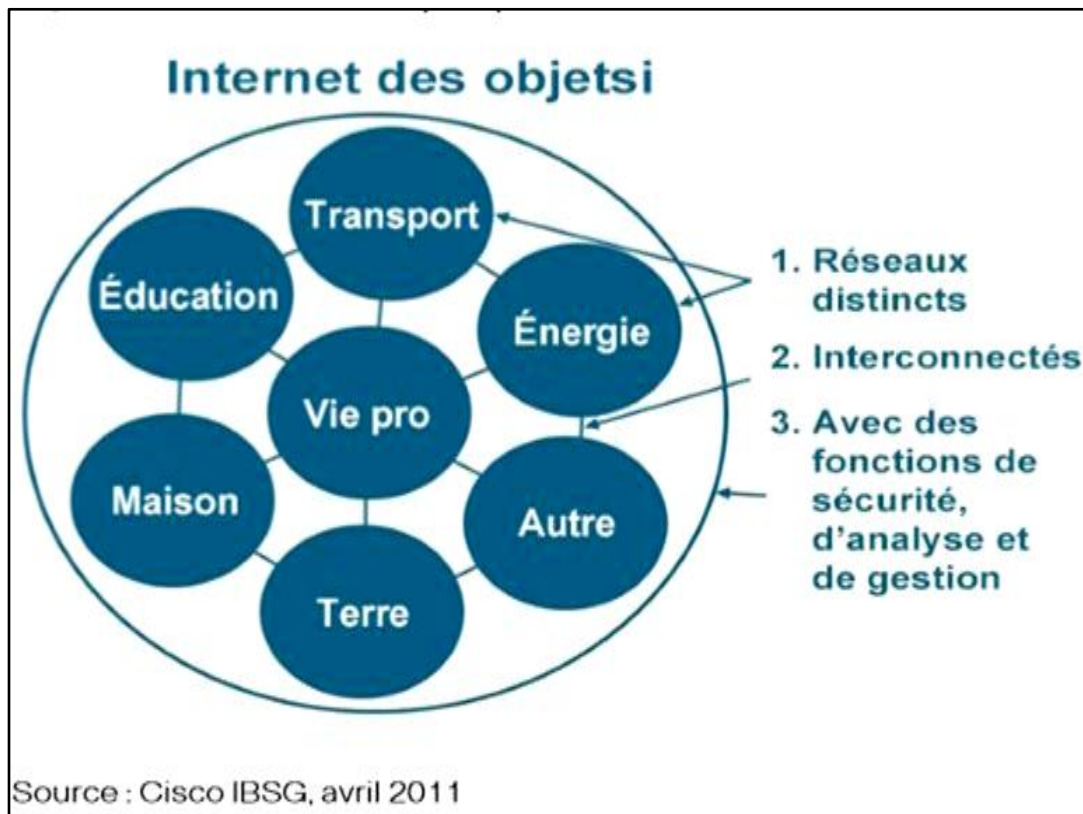


Figure 4 : Réseaux et Internet des Objets

## I.7.3. L'Internet des Objets et les données :

La petite pépite de l'Internet des Objets, c'est la donnée. Et surtout la capacité à capter une donnée brute, de température, de vibration, d'humidité... pour la transformer en information intelligente et exploitable. Ces milliards d'objets connectés vont créer un volume exponentiel de données qu'il faudra stocker, analyser, sécuriser et restituer pour des usages divers. Un enjeu de taille donc.

## **I.7.4. L'Internet des Objets et les nouveaux services :**

La valeur ajoutée apportée par l'Internet des Objets est dans les nouveaux usages que cela va amener. Dans le secteur de l'industrie par exemple on peut désormais surveiller les machines à distance, faire de la maintenance prédictive des équipements, ou améliorer la traçabilité des produits. Chaque jour, les objets connectés vont générer des milliards d'informations qui permettront aux entreprises de créer de nouveaux services.

L'Internet des Objets va littéralement transformer notre société. Cette affirmation pourra vous sembler utopiste pourtant il suffit de voir à quel point les choses ont évolué depuis l'arrivée des Smart Phone.

Il ne tient qu'à nous de tirer parti du potentiel de l'Internet des Objets et d'en inventer les usages de demain.

## **I.8. Que ce qu'un objet connecté :**

L'IOT repose avant tout sur les objets connectés. Un objet connecté a la capacité de capter une donnée et de l'envoyer, via le réseau Internet ou d'autres technologies, pour que celle-ci soit analysée et visualisée sur des tableaux de bord dédiés.

Les objets connectés interagissent avec leur environnement par le biais de capteurs : température, vitesse, humidité, vibration... Dans l'Internet des Objets, un objet peut aussi bien être un véhicule, qu'une machine industrielle ou encore une place de parking.

### **I.8.1. Les avantages d'un objet connectés:**

Un objet connecté est la plupart du temps simplement composé

- ✓ D'un capteur (podomètre, thermomètre, capteur de fumée...)
- ✓ D'une petite mémoire permettant de stocker des préférences
- ✓ D'un processeur permettant de comparer des valeurs (atteinte d'un objectif de pas, atteinte de la consigne de température)
- ✓ D'une antenne de communication (Bluetooth, wifi, Sigfox ou GSM ... ) lui permettant ainsi d'envoyer les informations du capteur pour visualisation et de recevoir les préférences de l'utilisateur
- ✓ Parfois d'un mécanisme permettant d'effectuer une action simple (vibreur, sirène, déclencheur de chaudière...)

De ce fait, un objet connecté n'étant pas autonome, il ne nécessite pas d'embarquer de composants permettant une visualisation autonome, de stocker de nombreuses informations (historique) et de les traiter. Les avantages de cela sont multiples :

- ✓ Taille réduite de l'équipement nécessitant moins de composants
- ✓ Coût réduit à la production de l'équipement
- ✓ Cycles de vente raccourcis puisqu'il est possible de proposer rapidement à la vente le produit et de faire évoluer l'application avec de nouvelles fonctions ultérieurement (tout en les promettant dès la mise sur le marché).

## I.8.2. Les inconvénients d'un objet connecté:

- ✓ Les données du capteur transitent sur Internet et sont stockées sur les serveurs du fabricant (le tout de façon plus ou moins sécurisé).
- ✓ Certaines fonctions initialement promises ne sont jamais mises en place pour diverses raisons stratégiques et il est parfois nécessaire de réinvestir dans le modèle de 2e génération pour en bénéficier.
- ✓ En cas d'arrêt du service, l'objet devient inutile : le service peut être abandonné si non rentable, en cas de liquidation ou si changement de positionnement ou envie de générer nouvel investissement de la part du fabricant.

Enfin, un objet connecté se cantonne généralement à une seule fonction alors que dans de nombreuses occasions il est nécessaire d'agir sur plusieurs points pour obtenir un bénéfice réel et malheureusement dans de nombreux cas, les divers objets connectés ne permettent pas un fonctionnement en commun ce qui améliorerait grandement le confort, la sécurité et les économies d'énergie. Par exemple, en cas d'incendie, un système domotique allume les lumières et lève les volets afin de faciliter l'évacuation alors qu'un détecteur d'incendie connecté se contenterait d'envoyer une notification sur Smartphone.

Il existe certains services comme IFTTT où certaines box domotiques qui lient entre eux des objets connectés mais le système est alors entièrement dépendant sur la connexion Internet et les serveurs du fabricant.

Les objets connectés sont une grande avancée : ils permettent de faire connaître la domotique au grand public, de la démocratiser et même à certains de mettre en place des fonctions qui améliorent le quotidien. Le modèle des objets connectés est inspiré de l'évolution des systèmes informatiques des entreprises ces dernières années principalement hébergés par des services Cloud. Cependant, alors que les entreprises peuvent se permettre de vérifier et modifier leurs contrats garantissant ainsi une continuité de service, il n'en est pas de même du particulier qui est tributaire de CGV définis unilatéralement par le fabricant en termes juridiques peu accessibles et qui évoluent au gré de ses positionnements stratégiques [7].

## I.9. L'architecture de l'Internet des objets:

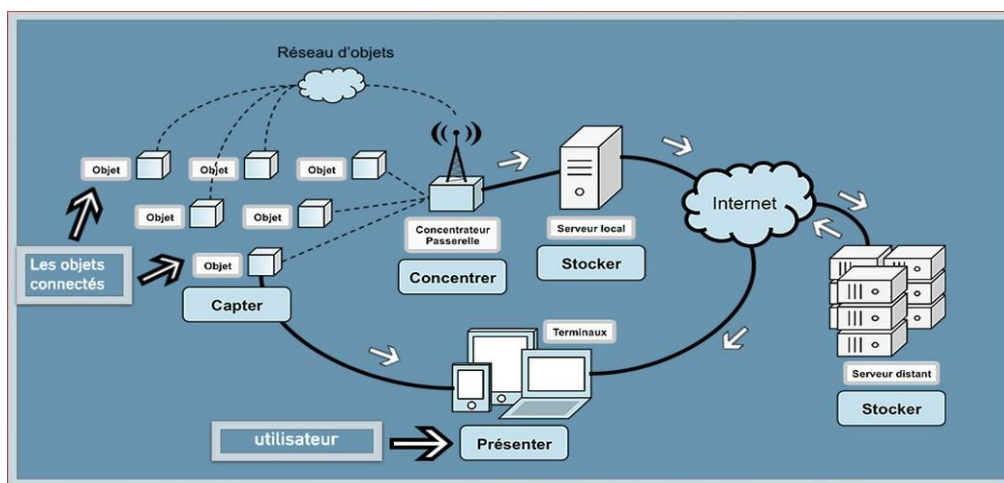


Figure 5 : L'architecture de l'Internet des objets

Précisons le rôle des différents processus présentés sur ce 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 ou des dispositifs grand public.
- ✓ Stocker qualifie le fait d'agréger des données brutes, produites en temps réel, méta taguées, arrivant de façon non prédictible.
- ✓ Enfin, présenter indique la capacité de restituer les informations de façon compréhensible par l'Homme, tout en lui offrant un moyen d'agir et/ou d'interagir.

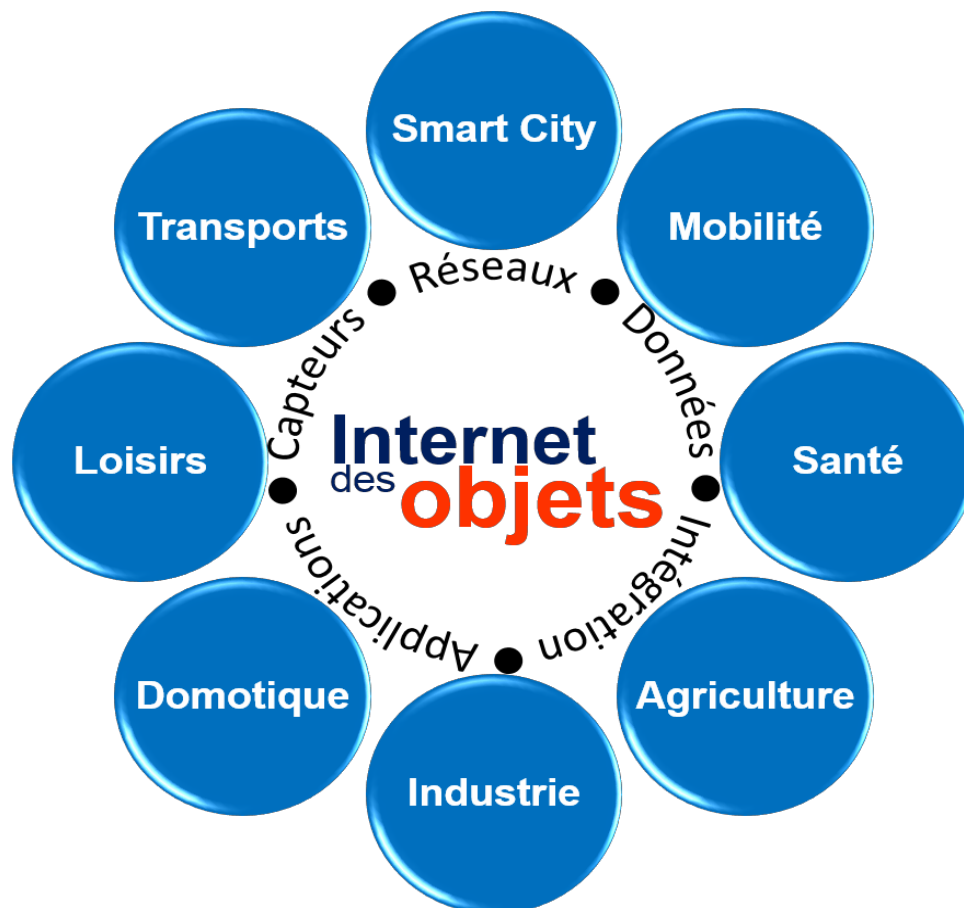
Deux autres processus n'apparaissent pas sur le schéma, car ils sont à la fois transverses et omniprésents :

- ✓ Le traitement des données est un processus qui peut intervenir à tous les niveaux de la chaîne, depuis la capture de l'information jusqu'à sa restitution. Une stratégie pertinente, et commune quand on parle d'Internet des objets, consiste à stocker l'information dans sa forme intégrale. On collecte de manière exhaustive, « Big data », sans préjuger des traitements qu'on fera subir aux données. Cette stratégie est possible aujourd'hui grâce à des architectures distribuées type NoSQL, capables d'emmagasiner de grandes quantités d'information tout en offrant la possibilité de réaliser des traitements complexes en leur sein (Map/Reduce par exemple).
- ✓ La transmission des données est un processus qui intervient à tous les niveaux de la Chaîne. Deux réseaux, supports des transmissions, cohabitent généralement:
  - ✓ Réseau local de concentration. On utilise alors des technologies comme ANT, Zig Bee, Z-Waves, NFC ou BluetoothLE.
  - ✓ Réseau WAN, permettant d'interconnecter les réseaux spécialisés et de les interfacer avec des fermes de serveur. On utilise alors Wifi, les réseaux cellulaires (GSM, UMTS, LTE) ou encore les connexions physiques standard (Ethernet, fibre optique). Ces réseaux sont généralement connectés à Internet [8].

## **I.10. Les applications de l'Internet des objets :**

Intel et son écosystème de partenaires aident les entreprises à utiliser l'Internet des objets (IOT) pour résoudre des défis de longue date spécifiques à chaque secteur d'activité.

Son portefeuille de solutions ouvertes et évolutives permet de développer rapidement des objets connectés, de collecter des données et d'obtenir des informations afin de réduire les coûts, d'améliorer la productivité et d'augmenter les recettes. Il existe plusieurs domaines d'application qui seront touchés par l'Internet émergent des choses. Les applications peuvent être classifiées en fonction du type de la disponibilité du réseau, la couverture, l'échelle, hétérogénéité, la répétabilité, la participation des utilisateurs et de l'impact [9].



**Figure 6 :** Domaines d'application de l'IOT

IOT peut être utilisée dans plusieurs domaines :

- **Le transport:**

Des voitures connectées ou autonomes aux systèmes de transport/logistique intelligents, l'IoT peut sauver des vies, réduire le trafic et minimiser l'impact des véhicules sur l'environnement.

- **La santé:**

Des appareils médicaux wear ables aux tablettes de premiers secours en passant par les équipements chirurgicaux sophistiqués, l'IOT transforme les soins.

- **Industrie :**

La technologie IOT permet aux usines d'améliorer l'efficacité de ses opérations, d'optimiser la production et d'améliorer la sécurité des employés.

- **Énergie :**

L'Internet des objets permet aux innombrables appareils qui composent le réseau électrique de partager des informations en temps réel pour une distribution et une gestion plus efficace de l'énergie.

- **Automobile :**

Reliée à l'IOT, la voiture transforme les données en informations exploitables, à la fois dans le véhicule et dans le monde qui l'entoure.

- **Maisons intelligentes :**

De la reconnaissance de votre voix à l'identification de la personne à la porte d'entrée, la technologie IOT donne vie au rêve d'une maison intelligente protégée.

- **Bâtiments intelligents :**

L'IoT résout les problèmes de l'augmentation des coûts énergétiques, de développement durable et de conformité au code en connectant, gérant et sécurisant les appareils qui collectent les données.

- **Vente au détail :**

L'IOT offre aux détaillants des possibilités illimitées d'améliorer l'efficacité des chaînes d'approvisionnement, de développer de nouveaux services et de proposer de nouvelles expériences aux clients.

- **Les applications dans la vie de tous les jours:**

L'Internet des objets c'est l'Internet que l'on porte, qui dépasse le seuil de votre domicile pour vous proposer des services quelques soit le lieu où vous vous trouvez. On va illustrer cette omniprésence en expliquant leurs implications, en prenant séparément l'espace professionnelle, l'espace privée et l'espace publique.

- **L'espace professionnel :**

Dans l'espace professionnel, on les retrouve dans les chaînes de logistiques ou de distribution avec notamment des puces dans les produits pour en connaître la traçabilité, et optimiser des activités comme la maintenance et la consommation d'énergie. C'est également le cas des balises communicantes en magasin (Beacon) qui guident un client dans ses achats. Pour ce qui est de l'usine, on parle "d'usine du futur" pour la France, c'est à dire une quatrième révolution industrielle qui se consacre aux objets connectés.

- **L'espace privé :**

Pour ce qui est de l'espace privé, "la diffusion des objets dans l'espace privé" comme "plus incertaine". Pour lui une majorité de personnes n'en voit pas l'intérêt et les délaisse rapidement car jugée désuet. Pour lui la clé du virage passe par des produits plus simples et plus attractif. On peut néanmoins voir qu'avec une population française qui possède à 60% Smartphone, la française savent gérer majoritairement la technologie, et que la difficulté d'accès des objets connectés n'est peut-être pas une explication valable.

- **L'espace publique :**

Dans l'espace publique, on vise plutôt les villes connectées. Si des exemples existent au point de vue international, comme *Songdo* en Corée du Sud ou *I-City* en Malaisie, l'auteur oublie de parler du boulevard connecté de Nice. Présenté comme le premier boulevard connecté au monde, le boulevard Victor Hugo est équipé de nombreux capteurs afin de vous proposer un maximum de services. Cela va des capteurs de stationnements qui vous informent en temps réel des places de parking disponible, ou encore les éclairages intelligents qui visent à réduire l'empreinte énergétique de la ville. C'est également le cas pour la gestion des déchets. Le but est de faire de la ville un environnement plus sain et plus simple [10].

## I.11. Les problèmes de l'Internet des objets

Comme toutes les autres technologies l'Internet des objets a des difficultés d'application et de réalisation. Les problèmes majeurs sont listés ci dessous:

- ✓ Personne ne portera 50 appareils. Les appareils sont de plus en plus spécifiques : ils sont conçus pour faire une chose et la faire vraiment bien, que ce soit mesurer le sommeil, sa vitesse d'alimentation ou la santé de son genou. Au nom de la simplicité, les entreprises cherchent trop à résoudre un seul problème, un seul cas d'utilisation. Pas sûr que cela dessine un marché.
- ✓ Plus d'inférence moins de détection. Avons-nous vraiment besoin d'un bracelet qui détecte le niveau d'UV auquel nous sommes exposés ? L'inférence, qui prend en charge le contexte est plus nécessaire que la détection permanente. Dans l'Internet des objets, les objets capables de comprendre l'information par inférence plutôt que par une détection permanente ont plus de chance de survivre que les autres.
- ✓ Le contexte est la clef. Si les données ne changent pas notre comportement, alors il ne sert à rien de les recueillir. Vibes ou les solutions sociométriques mesurent le niveau de stress, mais s'ils ne captent pas le contexte qui génère ce stress, alors à quoi le rattacher, comment l'interpréter, le comprendre?

L'Internet des Objets, ou M2M à l'échelle industrielle, est en pleine expansion depuis quelques années : nous passerons de 15 milliards d'objets connectés dans le monde en 2012 à 80 milliards d'ici 2020 selon les prévisions.

Entrez dans la révolution IOT du 21ème siècle basé sur des objets connectés, source de données tout au long de leur cycle de vie, qui se focalise sur la connectivité permanente et l'exploitation systématique de ces données grâce au Big Data. Ces données, relatives à l'état et l'environnement d'exploitation des objets en question, élargissent les possibilités de services du fabricant dans de nombreux domaines tels que l'observance, l'optimisation des flux, la maintenance prédictive et l'automatisation [11].

### **I.12. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'expliquer la notion d'Internet des objets qui constitue l'avenir de plusieurs domaines.

L'agriculture est l'un des domaines qui vont être influencés par la notion d'Internet des objets, et notamment les serres agricoles qui constituent notre centre d'intérêt. En combinaison avec la technologie d'Internet des objets l'utilisation, la gestion et la production sont devenues plus facile ; de ce fait nous avons pensé à améliorer la production agricole avec l'intégration de l'IOT.

Dans le cadre de la réalisation de notre projet, nous voulons contrôler à distance des critères (l'humidité, la lumière et l'arrosage) qui sont très importants pour l'agriculture et la réalisation de la serre automatisée. De ce fait, la liaison des objets tels que la pompe, le ventilateur et la lampe se fera à travers l'intégration de la technologie d'Internet des objets. Nous permettrons de gérer ces critères et de les commander automatiquement ou manuellement à travers le module GSM.

Dans le chapitre suivant, nous décrirons la serre agricole comme elle constitue l'un des composants essentiels de notre projet.



## **Chapitre II : La serre agricole**

### II.1. Introduction

Depuis une dizaine d'années, les cultures maraichères ont connu un développement considérable sur le pourtour du bassin méditerranéen. Nous remarquons lors de ces dernières années, les structures d'agriculture dans les pays méditerranéens se sont rapidement et profondément transformées.

Ces changements se sont accompagnés de la consommation des fruits et des légumes dont la demande est continue toute l'année. Pour s'adapter et répondre efficacement à cette demande, les systèmes de production ont évolué, notamment vers une plus grande maîtrise des conditions de production microclimatique

Dans ce chapitre nous allons introduire la notion de la serre agricole, l'un des composants les plus essentiels dans ce projet.

### II.2. La serre agricole et son histoire:

La serre est une construction destinée à abriter des cultures des plantes ornementale, légumières ou fruitières, et parfois dans un but expérimental ou didactique de toutes autres plantes, dans des conditions plus favorables ou plus sûres qu'en plein air [12].

La définition de la norme française NF U57-001, déc.1984 décrit la serre comme « une enceinte destinée à la culture ou à la production des plantes en exploitant à un homme de travailler aisément à l'intérieur »

Cette structure protège les plantes grâce à une maîtrise du climat qui permet d'obtenir des conditions optimales de croissance ou en minimisant les mécanismes de photosynthèse, mais aussi à travers le phénomène de l'effet de serre contribue à la bonne croissance de la plante.

L'étude a tout d'abord été menée en Inde, en Thaïlande et en Malaisie en comparaison avec les méthodes appliquées au Japon [12].

Il a eu de divers changements en termes de consommation alimentaire dans ces pays dû à l'émergence d'une classe moyenne doté d'un pouvoir d'achat plus élevé. La population semble de plus en plus attirée par la consommation de légumes ou de fruits frais comme les épinards, les tomates, ou les fraises qui ne poussent pas forcément naturellement localement à cause des conditions climatiques. En effet, on constate une chaleur trop forte tout au long de l'année ainsi qu'un niveau d'humidité trop élevé. Le transport aérien faisant augmenter les prix, la culture sous serre apparaît alors être une bonne solution pour répondre aux besoins du marché.

Une seconde étude a également été réalisée sur la Turquie les conditions climatiques s'avèrent moins humide qu'en Asie du Sud-est mais tout aussi chaude. La bonne gestion de l'eau devient alors un point clé.

Voici le cycle de l'énergie dans une serre agricole au Japon pour l'institut japonaise appelé le **Kaiteki** qui a engagé une étude permettant de définir quelles pourraient être les solutions intéressantes en termes de systèmes de climatisation et de gestion de l'énergie des serres agricoles, en Asie du Sud-est [12].

### II.2.1. Méthodologie:

- ✓ Étude de marche sur la consommation alimentaire des différents pays en question.
- ✓ Recherche des différentes technologies employées pour les serres agricoles.
- ✓ Calculs de la consommation d'énergie nécessaire au fonctionnement du système de climatisation, ainsi que de l'eau et de la lumière.
- ✓ Étude et simulation de la température et de l'humidité intérieure.
- ✓ Évaluation de l'impact de la forme de la toiture et de la structure.
- ✓ Analyse de la ventilation dans la serre.
- ✓ Sélection de la technologie de climatisation adaptée à chaque situation et définition d'un modèle à utiliser.
- ✓ Analyse de la structure des coûts (investissement/fonctionnement), amortissement et cycle de vie.

Les serres agricoles sont utilisées partout dans le monde afin de permettre la culture de diverses légumes, fruits et fleurs dans des zones non adaptées. A l'inverse de la culture en extérieur, à l'intérieur d'une serre, plusieurs facteurs clés doivent être surveillés en permanence, comme par exemple :

- ✓ La ventilation de l'air.
- ✓ La gestion de la chaleur, la température doit être contrôlée à l'intérieur de la serre pour éviter de brûler les plantes.
- ✓ La gestion de l'eau.
- ✓ La qualité de l'air, on peut être confronté à un trop fort enrichissement de l'air en dioxyde de carbone.

La gestion de la luminosité, qui peut être naturelle, artificielle ou les deux.

La serre agricole est un type d'infrastructure qui doit être étudié précisément afin d'améliorer les rendements.

Le but de notre application qui nous permettra de gérer l'agriculture dans une serre agricole en gérant l'humidité, la température, la luminosité, et l'alimentation d'eau mais après avoir intégré l'internet des objets pour automatiser la serre et bien régler le taux des critères cités précédemment.

Ceci va nous permettre d'augmenter la productivité ainsi que la récolte qualitative et quantitative en réduisant l'utilisation d'eau et le bon contrôle d'humidité et de température.

### II.3. L'intérêt 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'humidité. Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en contre saison.

La serre permet ainsi d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existant naturellement par conséquent une meilleure que celles existant, il faut répondre minutieusement aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenants dans sa croissance et son développement, ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres.



**Figure 7 : La serre agricole**

### **II.4. Le choix et l'installation d'une serre**

Le choix de la serre se fait en fonction de plusieurs critères.

Les principaux critères de choix d'une serre et de sa couverture d'après (Urban,1997) sont les suivants [13] :

- ✓ La transmission du rayonnement utile à la photosynthèse (elle détermine le potentiel de production).
- ✓ La solidité et la durabilité (attention aux zones comportant des risques climatiques).
- ✓ La fonctionnalité et la facilité de maintenance (elle joue un rôle dans les coûts de main-d'œuvre).
- ✓ Les économies d'énergie (quand il faut chauffer).
- ✓ Le prix.

Dans une entreprise maraîchère, les serres sont utilisées principalement pour produire les transplants pour les cultures en champ à allonger la saison de production pour certaines cultures. En production biologique, les cultures les plus populaires et rentables en serre sont les tomates et les concombres. Ces cultures peuvent donner de hauts rendements en peu d'espace, ce qui devrait amplement payer pour les coûts de production et en particulier les coûts de chauffage de la serre.

La production de tomate commence typiquement à la fin du mois de Mars ou le début d'Avril, et se termine en Octobre. Il n'est pas démontré qu'il serait profitable de produire à longueur d'année en serre ; même en mode biologique en raison des coûts de chauffage et d'éclairage élevés de Novembre à Février mais les entreprises spécialisées le font tout de même souvent pour assurer la constance de l'approvisionnement de leurs clients.

## Chapitre II : La serre agricole

La serre aussi diminue les impacts des insectes et des maladies mais la question qui se pose est quelles sont les serres préférables ; la serre individuelle à toit gothique est souvent ce qui correspond aux besoins d'un maraicher diversifié qui cherche à allonger la saison. Une telle serre a l'avantage d'assurer le bon chauffage ; de plus s'il y a problème phytosanitaire dans une serre et que, avec les années deux ou trois serres indépendantes sont ajoutées, le problème restera circonscrit à une seule serre si l'on est prudent [14].

Les structures jumelées à toit en pignon ne sont en fait à considérer que si on envisage de développer davantage le volet serre dans l'avenir, et si on prévoit une production même en hiver. Elles sont plus faciles à chauffer et le travail y est plus efficace qu'en serre individuelle.

Si on vise principalement une production de tomates ou de concombres de serre comme dans notre cas, il faut que la serre soit le plus haut possible (ex : jusqu'à 6 m sous la gouttière, qui est le point le plus bas entre deux sections).

Les tunnels hémisphériques sont toujours trop bas pour les tomates et les concombres, mais peuvent convenir pour les laitues ou pour allonger de croissance d'une culture de poivrons.

Le prix varie grandement selon les structures de serre et les différents types de serre choisis, les structures sophistiqués de complexes de serre peuvent coûter jusqu'à plusieurs centaines de millions d'argent et ce n'est pas nécessairement ce qu'il faut pour une entreprise d'agriculture.

Il faut considérer aussi les frais de préparation du site, son drainage, parfois l'ajout de meilleure terre, les amendements de sol, l'approvisionnement en eau et en électricité et aussi les frais de main-d'œuvre pour installer tout le système.

Les frais d'exploitation annuels, surtout ceux pour le chauffage, qui varient selon le coût du combustible et le climat.

Le site choisi devrait être plat ou aplani, idéalement surélevé et surtout pas dans

une baissière. Le drainage de surface doit être excellent. Installer une serre sur un site en pente complique beaucoup la construction et la gestion du climat de la serre et de l'irrigation ; comme il s'agit de production biologique, on veillera à laisser en place le sol présent. Cela n'empêche pas d'avoir une aire cimentée à un bout de la serre.

On peut grandement améliorer l'efficacité énergétique d'une serre en l'orientant selon le soleil et le vent dominants. Sur plusieurs sites par exemple au Québec, les vents dominants sont de l'ouest et les vents froids de l'hiver sont du nord-est. En bâtissant des murs isolés à chaque extrémité de la serre et en l'orientant est-ouest ou nord-est on pourra maximiser la lumière et réduire le refroidissement éolien. La direction du vent devient très importante, des vents forts peuvent tordre les structures du toit ouvrant, le rendant inopérant. La plantation d'un brise-vent artificiel peut aussi être érigée.

Il faut planifier les travaux d'installation de la structure avant ou après la présence de neige et de sol gelé. Il faut éviter les gros travaux sur sol mouillé qui endommagent potentiellement la structure du sol.

La production des transplants sur une ferme maraichère diversifiée une infrastructure adéquate, l'utilisation d'un mélange de terreau de qualité et la maîtrise de la régie de production.

Il existe plusieurs types de serre petites serres, serres tunnels et les grandes serres ces derniers sont très reliés à l'endroit d'installation l'orientation de la serre et son terrain.

## Chapitre II : La serre agricole

---

Il est important d'installer la serre dans un endroit où il y a le moins d'ombre possible. Évitez de placer la serre trop près des clôtures, arbres et arbustes qui pourraient faire de l'ombre et salir plus rapidement les vitres de la serre. Dans la mesure du possible on peut également la placer à l'abri du vent.

L'orientation de la serre dépend de sa taille, les petites serres se réchauffent plus vite, elles ont donc besoin d'une exposition au soleil moindre. Toutefois pour une exposition optimale, on peut placer l'entrée au Nord ou au Sud, de façon que les parois soient exposées Ouest et Est. Ainsi, les plantes peuvent davantage profiter de la chaleur et de la lumière.

Il est déconseillé de laisser le sol nu, car les allers-retours dans la serre peuvent rendre le sol boueux et l'humidité favorise la prolifération de maladies. Il est important de penser aux fondations de la serre. L'idéal est de l'installer sur une dalle en béton, cela permettra de limiter l'humidité au sein de la serre. Toutefois si on n'a pas envie de couler une chape de béton on peut utiliser des dalles de terrasses, poser un plancher sur des lambourdes.

Voilà les différents types de serres utilisées dans l'agriculture [15].

- **Les petites serres** : sont parfaites pour l'hivernage de certaines plantes ou pour les semis précoces, elles prennent peu de place et se déplacent facilement.
- **Les serres-tunnels** : sont très économiques et faciles à installer, démonter et déplacer. La ventilation est assurée par des aérations latérales et par des portes placées aux extrémités.
- **Les grandes serres** : sont très vastes et polyvalentes. Il s'agit de maisonnettes en verre. À l'intérieur on y trouve un très grand espace de travail ou de détente.

### II.5. Les classifications des serres:

On trouve des serres de toutes les formes, de toutes les tailles et à tous les prix. Chaque forme de serre de jardin est censée correspondre à un type de culture ou d'entretien des végétaux.

#### II.5.1. Les serres d'agrément ou serres Hollandaises

Ce type de serres de jardin offre des possibilités d'aménagement et de cultures très variées. En fonction de sa forme, de sa taille ou des matériaux, l'usage réservé à ce type de serre de jardin sera différent. Dans une même serre, vous pourrez également faire évoluer sa fonction selon vos besoins et la façon dont vous la chaufferez. Pour l'hivernage, pour le forçage, pour la détente, les serres d'agrément sont multifonctions [16].



**Figure 8 :** La serre d'agrément hollandaise

On peut utiliser la serre comme serre froide. La serre froide mettra les plantes peu frileuses hors gel et les protégera de la pluie ou de la grêle. La serre ne sera pas chauffée et aura une fonction d'hivernage jusqu'à l'arrivée du printemps et de culture de certains végétaux. La serre tempérée nécessitera d'être chauffée jusqu'à 18°C pour encourager l'enracinement de vos boutures, préparer les semis de printemps et hiverner les plantes frileuses et fragiles. Un chauffage sera donc nécessaire pour maintenir cette température intérieure.

Si on souhaite cultiver ou entretenir des plantes rares et tropicales, on sera obligés de recréer les conditions atmosphériques de leur bien-être, c'est-à-dire une température constante entre 18°C et 26°C et un taux d'humidité élevé. On appelle ce type de serres de jardin, les serres tropicales.

## Chapitre II : La serre agricole

Il est de plus en plus fréquent d'utiliser des serres de jardin comme jardin d'hiver dans lesquels on installe un salon de jardin ou tout simplement un coin de détente pour profiter de votre extérieur même en hiver. Dans ce cas, ces serres auront le plus souvent un aspect décoratif, jouant sur leur forme ou les matériaux.

Pour leur structure, on a le choix entre l'aluminium, le bois ou encore le plastique. Les panneaux seront en verre horticole, en verre trempé, en polycarbonate alvéolaire ou en polycarbonate transparent. Chaque matériau a ses propres avantages et conviendra à un usage particulier.

### II.5.2. Les serres tunnels ou serres maraichères:

Les serres tunnels sont destinées à la culture potagère. Généralement en forme d'arches, demi-lune, en acier recouvert d'une toile plastique, les serres maraichères protégeront les végétaux du froid, du vent, de la pluie, de la neige, de la grêle, mais nous permettront d'anticiper et de prolonger les saisons en adaptant et en recréant les conditions de culture nécessaires à la croissance des végétaux[16].



**Figure 9** : La serre tunnel



## Chapitre II : La serre agricole

Les serres maraichères sont généralement plus attractives en termes de budget et se déclinent dans de très nombreuses tailles.

Il existe également des tunnels bas qui seront conçus différemment en fonction de leur utilité. Pour le forçage et la culture on sera amenés à choisir entre des couvertures rigides ou souples, entre des films pleins ou perforés.

Certains végétaux ont besoin de plus ou moins d'espace ou de hauteur pour leur culture. Il existe ainsi des serres spécifiques à la culture de certains fruits ou certains légumes. On trouve par exemple des serres spéciales pour la culture des tomates. Ces serres sont nécessairement hautes pour pouvoir faire grimper les pieds de tomates sur les tuteurs.

On trouve également des petites serres individuelles, appelées également cloches de protection. Plus ou moins grandes, vous protégerez localement dans votre potager des jeunes plants, des herbes ou autres légumes.

Le tableau ci-dessous récapitule les différents types de serres ainsi que leurs avantages et inconvénients[17].

TYPES DE SERRES	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<b>Serres tunnels</b>	→ Les plus utilisées par les agriculteurs. Basiques et économiques	→ Pas hautes et pas adaptées pour les tomates hors-sol
<b>Serres plastiques Multi chapelles simple ou double paroi</b>	→ Un grand volume d'air grâce à leur hauteur optimale ainsi qu'une largeur importante pour une production intense. → Très isolantes. Leur système d'aération avec ouverture permanente ou fermeture possible permet une ambiance saine et une aération optimale.	→ Manque de lumière

	→ Économiques et robustes	
<b>Serres verres</b>	→ Très lumineuses → Hauteur optimale → Très robustes	→ Plus coûteuses → Plus fragiles (sensibles à la grêle)
<b>Serres fermées en verre</b>	→ Isolation totale pour la serre, lui permettant de n'être affectées par aucun insecte ni maladie → Gestion de l'humidité → Adaptées à une culture très intensive de la tomate (pied jusqu'à 8 mètres de haut)	→ Très onéreuses et destinées à des gros industriels

**Tableau 1 : Avantages et inconvénients des serres**

## II.6. Les équipements de la serre:

### II.6.1. Les options de serre:

Lors de la réflexion pour l'achat d'une serre de jardin, il ne faut pas oublier de prendre en compte les différentes options possibles. On propose notamment de s'équiper d'un filet d'ombrage pour serre, qui nous permettra de moduler la chaleur lors de l'été ou des coups de chaud, afin que vos plants ne soient pas grillés.

Traités anti-UV, nos filets d'ombrage réduisent considérablement l'impact solaire et sont adaptables sur des serres de concurrents (attention, les colliers sont adaptés à des tubes de Ø40).

Les aérations latérales visent également à **empêcher que les cultures étouffent sous la serre**. Elles sont parfois facultatives mais deviennent obligatoires au-dessus d'une certaine dimension de serre (ceci est précisé dans les fiches produits).

### II.6.2. Tables et étagères:

Pour réaliser des bouturages, rempotages, pour l'hivernage, pour entreposer les pots ou préparer les plants, les tables de culture, tablettes, clayettes et étagères seront primordiales dans la serre. Les produits peuvent aussi servir à entreposer les outils, bien évidemment.

Jardin Couvert vous en propose plusieurs, de différentes tailles, en différentes matières et pour divers usages. Certaines tables ont des roulettes, ce qui en facilite le déplacement, surtout lorsque les pots représentent un certain poids cumulé.

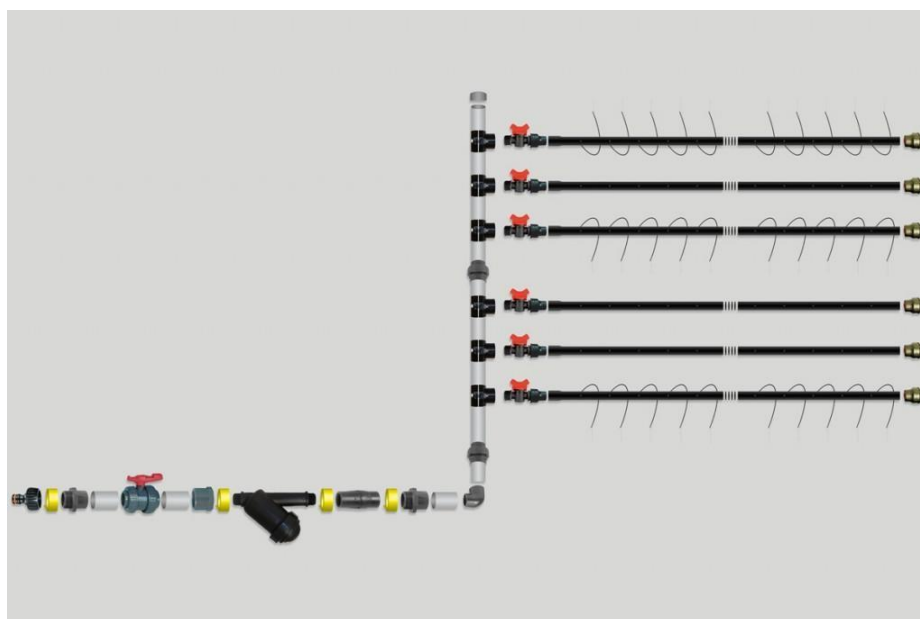


**Figure 10:** Tables et étagères.

### II.6.3. Le système d'arrosage:

L'arrosage est évidemment primordial dans la réussite de vos cultures. On propose une gamme avec différents systèmes et technologies de distribution de l'eau :

Le système d'arrosage goutte-à-goutte est particulièrement adapté aux tomates, et aux autres plants qui préfèrent l'arrosage au pied. L'aspersion permet un arrosage uniforme, et est particulièrement apprécié de variétés telles que les radis, salades et fleurs (par contre les tomates ne supportant pas ce système). Le système de micro-goutteurs est parfait si on a une culture en pots, puisqu'il permet de diriger précisément le jet sur une zone de votre choix.



**Figure 11 :** Kits d'irrigation –arrosage.

### II.6.4. Le système de chauffage:

En hiver il faut, pensez à assurer une température constante. La bâche de serre Jardin Couvert a été traitée thermiquement afin de garantir une protection maximale des plants, fruits, légumes ou fleurs.



**Figure 12 :** Isolation et chauffage.

### **II.7. La mise en place de la serre**

Le choix du site d'implantation des serres est essentiel. L'ensoleillement et le potentiel de production sont beaucoup plus faibles dans septentrionales que dans les régions méditerranéennes. Et, ils sont plus faibles dans ces dernières que sous les tropiques. Il est bon de se rappeler aussi que les saisons sont inversées d'un hémisphère à l'autre, et que la différence de rayonnement journalier cumulé entre les régions du nord et du sud est beaucoup plus marquée en hiver qu'en été. Les régions du nord et du sud sont en fait assez complémentaires :

Les premières ont une vocation naturelle pour la production estivale de qualité, et les secondes ont l'avantage en hiver.

Il faut enfin garder à l'esprit que l'objectif de la production serre comme toute production, n'est pas d'attendre le rendement maximal de produits de qualité mais de générer la marge, la plus élevée possible, ce qui est infiniment plus subtil.

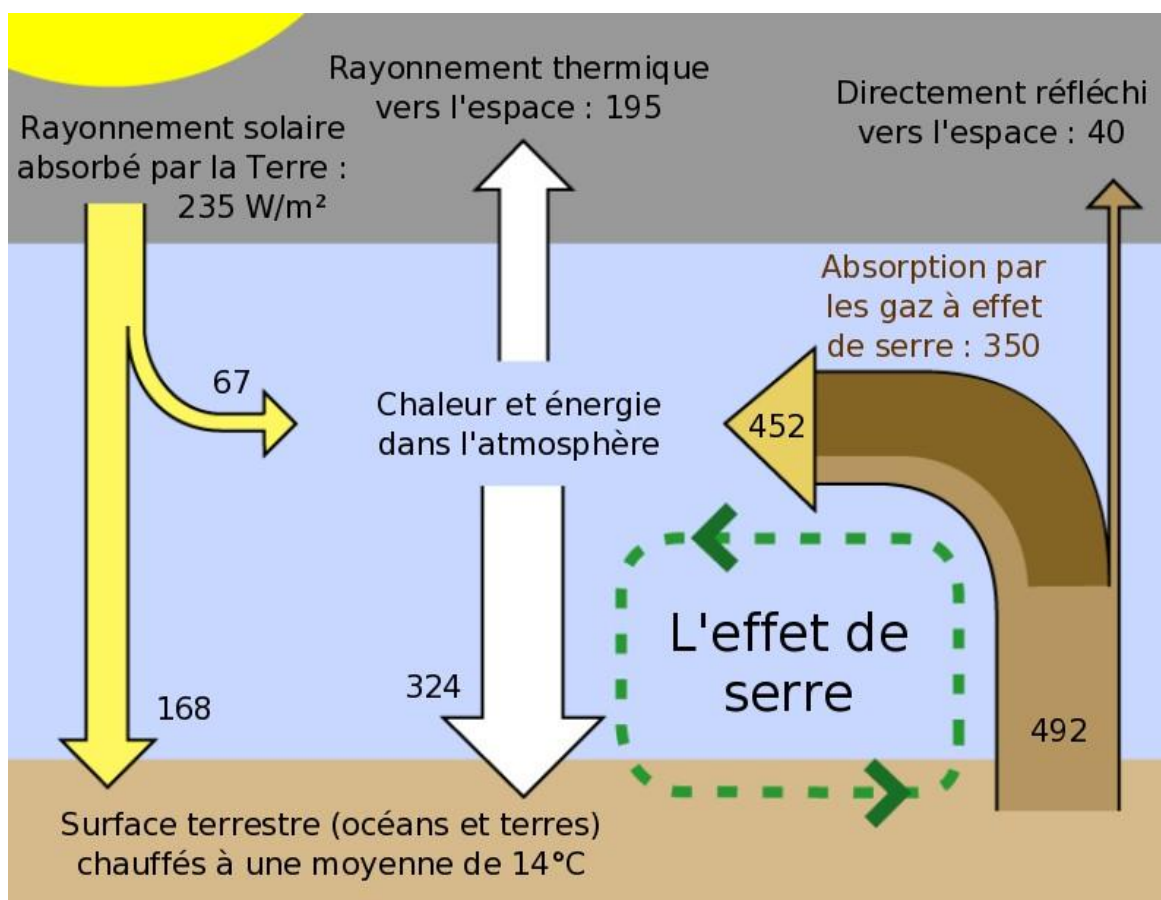
D'autres considérations que l'ensoleillement entrent donc en ligne de compte à l'heure du choix du site d'implantation d'une serre comme la proximité des marchés, le contexte socioéconomique, l'environnement scientifique et technique.

### **II.8. La serre et le climat :**

Le climat est un bien commun et sa stabilité doit être préservée afin de garantir les conditions optimales de la vie sur Terre. La « machine climatique » peut s'expliquer simplement grâce à un phénomène particulier : l'effet de serre.

L'effet de serre est un phénomène naturel qui existe depuis la nuit des temps, puisqu'il est le résultat de « l'emprisonnement » des rayons du soleil par notre atmosphère. Plus précisément, comme le montre le schéma ci-dessous, une partie des rayons solaires qui atteignent le sol viennent réchauffer la Terre. Celle-ci émet donc une chaleur qui rayonne sous forme de rayons infrarouge. Sans atmosphère, les rayons infrarouges s'échapperaient dans leur quasi-totalité et la chaleur serait alors perdue. Grâce à certaines molécules de l'atmosphère (les gaz à effet de serre), une majeure partie du rayonnement infrarouge est captée puis rediffusée vers la terre. C'est ce mécanisme qui permet l'effet de serre.

C'est un illustre mathématicien et physicien français, Joseph Fourier, qui fut le premier à utiliser l'analogie de la serre pour décrire ce phénomène. Il fut donc l'inventeur du terme « effet de serre » en 1824, ce qui montre que ce problème n'est pas une découverte si nouvelle[18].



**Figure 13** : L'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel. C'est grâce à lui que la Terre est habitable avec une température moyenne de  $+15^\circ C$ . Si l'effet de serre n'existait pas, la température moyenne à la surface terrestre serait de  $-18^\circ C$ ... Autant dire que ce phénomène nous est très utile.

Si l'effet de serre est un phénomène naturel connu et décrit depuis près de deux siècles, le changement climatique est reconnu depuis moins de quarante ans. Le réchauffement climatique est principalement le résultat du forçage du phénomène de l'effet de serre. En effet, les activités humaines (anthropiques) ont contribué à émettre un grand nombre de gaz à effet de serre, augmentant ainsi leur concentration dans l'atmosphère. Par conséquent, l'atmosphère capture

encore plus de chaleur, ce qui réchauffe la surface terrestre. Un groupe d'experts internationaux s'est constitué à la fin des années 1980 pour suivre les évolutions des changements climatiques : c'est le GIEC. Leurs travaux ont pu montrer que la température au niveau planétaire avait augmenté d'environ +1°C depuis la fin du XIXe siècle et qu'elle risquait de s'accroître d'environ +4 et +6°C au cours du XXIe siècle si rien n'était fait. Or, un tel réchauffement mettrait en péril notre civilisation et les écosystèmes qui nous entourent [18].

### **II.9. Généralités sur la tomate maraichère (comme exemple) :**

La tomate appartient à la famille des solanacées, d'origine tropicale (Amérique latine). Elle a des exigences particulières : ensemble au froid, craint beaucoup le gel et les vents chauds et elle est exigeante en température [19].

#### **II.9.1 Température**

La température est le facteur le plus déterminant dans la production de la tomate.

Celle-ci réagit énormément aux variations thermiques.

Au-dessus de 30°C, le lycopène ; pigment responsable de la couleur rouge de fruit ne se forme plus. C'est le pigment  $\beta$  carotène qui se forme donnant ainsi une coloration jaune-orange au fruit. Les températures optimales sont :

- ✓ Température diurne : 20-25°C.
- ✓ Température nocturne : 13-17°C.
- ✓ Température du sol : 14-18°C

Ces valeurs sont difficiles à réaliser, malgré l'utilisation des serres. La culture de tomate qui s'étale sur une période de production d'environ 10 mois passe au minimum 3 mois sous des conditions défavorables (température basses). Une mauvaise aération et le manque d'étanchéité peuvent accentuer la mauvaise maîtrise de la température à l'intérieur de la serre.

#### **II.9.2. La lumière:**

La lumière est un facteur écologique fondamental. Elle intervient dans nombreux phénomènes physiologiques, notamment la photosynthèse.

La tomate est une culture neutre à la photopériode. Cependant, elle est exigeante en énergie lumineuse et un manque peut inhiber l'induction florale. La réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen. En temps couvert, la déhiscence des anthères est mauvaise.

En revanche le déficit de lumière est compensé par les températures élevées des serres (l'effet de serre).

#### **II.9.3. L'humidité(HR):**

Une humidité relative de 75% est jugée optimale. Elle permet d'avoir des fruits de bons calibres, avec moins de gerçures et sans défaut de coloration.

Une HR trop élevée, couplée à une température élevée, entraîne une végétation luxuriante avec un allongement des entre-nœuds. Elle favorise aussi le développement des maladies notamment le botrytis et le mildiou.

L'aération matinale permet de réduire l'humidité de l'air et élimine les petites gouttelettes de condensation qui se forment sur la paroi de plastique.

En cas de temps sec, l'irrigation peut augmenter l'HR. En période de production (oct-mai), l'HR dime reste généralement proche de l'optimum sauf dans le cas d'un vent chaud et sec ou l'HR baisse en dessous de seuil.

### **II.10. Évolutions des serres cultivées en Algérie:**

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraichère et industrielle) ; donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 QC /ha en 2009. Ces dernières demeurent faibles et assez éloignées de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen producteurs de tomate ou les rendements varient entre 350 QC/ha à 1500 QC/ha [FAO2008].

Les données du tableau montrent une augmentation de la superficie et de la production due à la consommation élevée de ce fruit notamment à compter de l'année 2004 qui se stabilisent aux alentours de 20000Ha avec une production moyenne de 5.570755Qx.

L'accroissement de la superficie de 15.94% a engendré une augmentation de la production n'est pas liée uniquement à l'augmentation des superficies mais aussi aux techniques utilisées dans le calendrier cultural et l'entretien de la culture qui se sont améliorées progressivement.

Nous remarquons aussi une augmentation du rendement, ce qui peut être expliqué par l'amélioration progressive et la maîtrise des techniques culturales mais qui restent insuffisant pour atteindre les normes de production recommandées. Aussi, il y a lieu de noter que certaines willayas telles que Chlef, El taref, Tindouf et Biskra enregistrent des rendements moyens de 750Qx avec de faibles superficies mis à part Biskra où la superficie est de 133Ha.

Cette constatation montre bien qu'il est possible d'atteindre des rendements appréciables avec de faibles superficies du fait que les techniques adoptées et les moyens mis en œuvre couvrent bien la culture mise en place et ce avec une bonne maîtrise, seulement dès que les superficies augmentent, les règles relatives au calendrier cultural, aux travaux d'entretien qui devraient être appliquées ne sont plus respectées et les moyens humains et matériels sont limités et par conséquent les objectifs attendus en matière de production et de rendement ne sont pas atteints.

La région de Biskra peut nettement améliorer son rendement compte tenu de l'application plus ou moins correcte des règles de base pour la réussite d'une spéculation végétale néo moins les potentialités humaines et matériels être insuffisantes au moment opportun [20].

### **II.11. Conclusion:**

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques concepts liés à la serre agricole. Cette dernière est devenue l'intérêt et l'objectif de plusieurs entreprises agricoles vu son rendement bénéfique en terme qualitatif et quantitatif.

Le futur de l'agriculture se centre au tour de cette technologie, et en combinaison avec les technologies émergentes telles que l'internet des objets, l'électronique appliquée basé sue ARDUINO et l'automatisation que nous allons beaucoup améliorer et développer ce domaine.

Notre projet d'étude consiste à réaliser une serre agricole automatisée. La réalisation et le développement nécessitent un environnement spécifique et des outils de travaux qui seront tous décrits dans le chapitre suivant.



# **Chapitre III : Environnement et outils de travail**

## III.1. Introduction

Le travail que nous décrivons dans ce mémoire est divisé en deux grandes parties. La première partie consiste à fabriquer une serre agricole automatisée qui se sert d'un ensemble de capteurs et de microcontrôleurs afin de s'autogérer. La deuxième partie consiste à se servir de l'IOT afin de contrôler notre serre à distance via un SMS. L'objectif de ce chapitre est donc de présenter l'ensemble des outils matériels et logiciels utilisés pour la réalisation de notre travail.

Dans notre projet le choix des capteurs et actionneurs dépend de leurs applications, et des différents paramètres à contrôler. Ce chapitre comporte une présentation du prototype proposé, une présentation des capteurs utilisés et les logiciels utilisés afin d'aboutir à une solution performante.

## III.2. Microcontrôleur Arduino

### III.2.1 Présentation de l'Arduino Uno

#### III.2.1.1 Historique :

Une équipe de développeurs a imaginé un projet répondant au nom d' Arduino et mettant en œuvre une petite carte électronique programmable et un logiciel multiplateforme, qui puisse être accessible à tout le monde en téléchargement gratuit. On dit que le matériel et le logiciel sont « open source ».

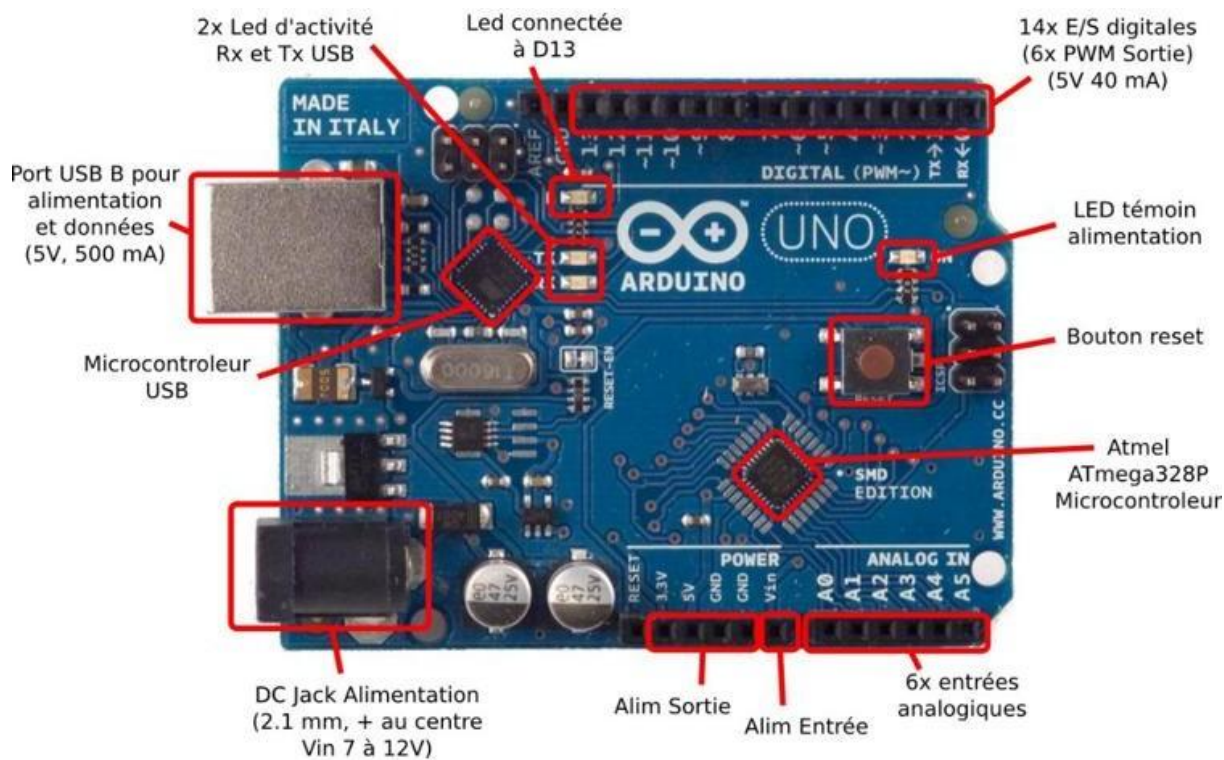
Le système Arduino a de nombreuses applications possibles :

- Contrôler des appareils domestiques
- Donner une "intelligence" à un robot
- Réaliser des jeux de lumières
- Permettre à un ordinateur de communiquer avec une carte électronique et différents capteurs
- Télécommander un appareil mobile (modélisme) [21]

#### III.2.1.2 La carte Arduino Uno

Les cartes Arduino font partie de la famille des microcontrôleurs. Un microcontrôleur est une petite unité de calcul accompagnée de mémoire, de ports d'entrée/sortie et de périphériques permettant d'interagir avec son environnement.

Une carte Arduino est une interface programmable capable de piloter des capteurs et des actionneurs afin de simuler ou créer des systèmes automatisés. Elle peut stocker un programme et le faire fonctionner. La carte reçoit des informations analogiques ou numériques sur ces entrées. Le microcontrôleur traitera ces informations et les transmettra vers les sorties numériques.[22]



**Figure 14 :** Composants techniques de l'Arduino

### III.2.2. Fiche technique :

Microcontrôleur	ATmega328P
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée	7-12V
Tension d'entrée	6-20V
E / S numériques Pins	14
PWM numérique E / S Pins	6
Pins d'entrée analogique	6
Courant DC pour 3.3V Pin	50 mA
Mémoire flash	32 KB
SRAM	2 KB
Vitesse de l'horloge	16 MHz
Longueur	68,6 mm
Largeur	53,4 mm
Poids	25 g

**Tableau 2 :** Fiche techniques de l'Arduino

### III.2.3. L'alimentation

La carte Arduino Uno peut être alimentée via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est automatiquement sélectionnée. Une alimentation externe peut provenir soit d'un adaptateur AC-DC ou d'une batterie. L'adaptateur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm dans la prise d'alimentation de la carte ou à partir d'une batterie connectée dans le pin (ou broche) GND et V-in (alimentation externe). Le processeur peut fonctionner sur une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la tension est inférieure à 7V, le pin 5V peut fournir moins de cinq volts et le processeur peut devenir instable. Si la tension est supérieure à 12V, le régulateur de tension peut surchauffer et endommager la carte.

La plage recommandée est de 7 à 12 volts. Les pins (ou broches) d'alimentation sont les suivantes : [23]

- V-in : Tension d'entrée à la carte Arduino à l'aide d'une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la connexion USB ou une autre source d'alimentation régulée). Si l'alimentation en tension est faite par l'intermédiaire de la prise d'alimentation, on pourra y accéder via ce pin.
- 5V : Ce pin délivre un 5V régulé par la carte. Le processeur peut être alimenté soit à partir de la prise d'alimentation DC (7-12V), le connecteur USB (5V), ou le pin V-in de la carte (7-12). La fourniture d'une tension via les 5V ou 3,3V contourne le régulateur, et peut endommager votre processeur.
- 3V 3 : Une alimentation de 3,3 volts générée par le régulateur. La consommation de courant maximale est de 50mA.
- GND : Masse

### III.2.4. Communications

Arduino a un certain nombre de moyens pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou autres microcontrôleurs. L'ATmega328 fournit UART TTL (5V) en communication série, disponible sur les broches numériques 0 (RX) et 1 (TX).

### III.2.5. Les broches :

#### III.2.5.1. Les broches analogiques

L'Uno dispose de 6 entrées analogiques, A0 à A5, dont chacune fournit 10 bits de résolution (ou 1024 valeurs différentes). Par défaut, la tension est de 5volts.

#### III.2.5.2. Les broches numériques

Chacune des 14 broches numériques sur la carte Uno peut être utilisée comme une entrée ou une sortie. Ils fonctionnent à 5 volts. Chaque broche peut fournir ou recevoir 20 mA en état de fonctionnement recommandée et a une résistance de pull-up interne (déconnecté par défaut) de 20-50k ohm. Un maximum de 40mA est la valeur qui ne doit pas être dépassée sur toutes les broches d'Entrée/Sorties pour éviter des dommages permanents au microcontrôleur.

### III.2.6. La mémoire

L'ATmega328 a 32 Ko (avec 0,5 KB occupées par le bootloader). Il a également 2 Ko de SRAM et 1 Ko de mémoire EEPROM.

## III.3. Les capteurs

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs ...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse, luminosité,...).

Le capteur est l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques.

### III.3.1. Définition d'un capteur

Un capteur est un organe de prélèvement des informations qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique).

Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande [24]

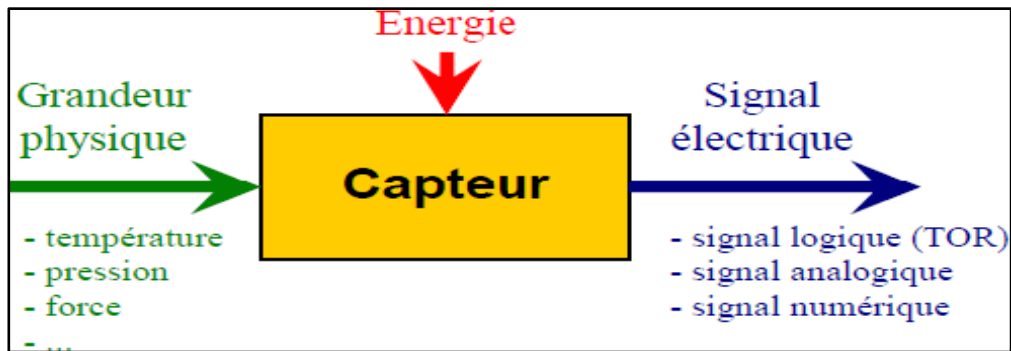


Figure 15: Représentation fonctionnelle de capteur [25]

### III.3.2. Architecture Physique d'un capteur

Voici en détail la composition de base physique interne d'un élément capteur. [30]

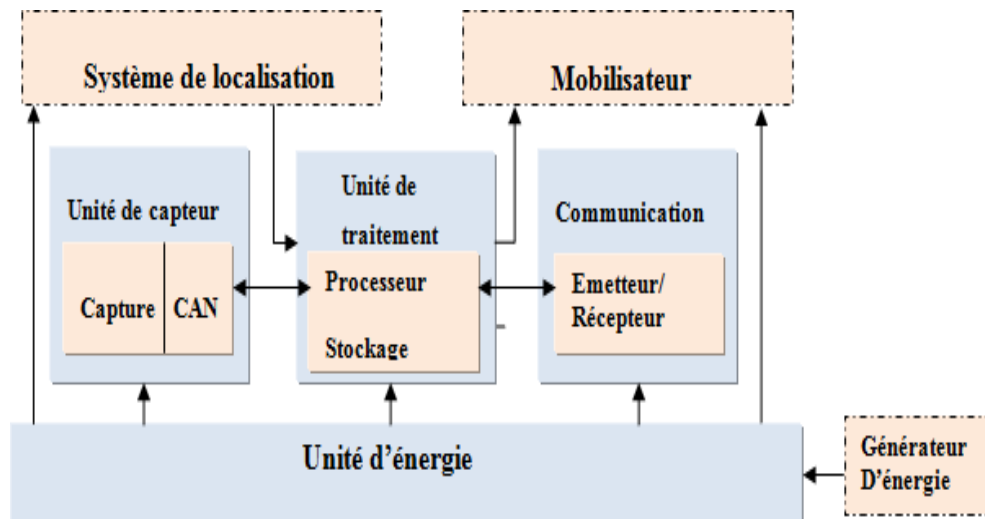


Figure 16 : Les Composants d'un capteur

#### III.3.2.1 Unité de capture

Comme la montre la figure ci-dessus, l'unité de détection est généralement composée de deux modules : le capteur, et un convertisseur analogique numérique. Le capteur a pour tâche de

## Chapitre III : Environnement et outils de travail

communiquer l'information recueillie depuis son environnement sous forme d'un signal analogique au convertisseur ADC (Analog to Digital Converter).

Le convertisseur analogique/numérique transforme quant à lui les signaux provenant du capteur en Signaux numériques en vue de les transmettre à l'unité de calcul

### III.3.2.2 Unité de traitement

L'unité de traitement comprend un processeur associé généralement, à une petite unité de stockage et fonctionne à l'aide d'un système d'exploitation spécialement conçu pour les micro capteurs. Cette unité gère également les procédures et protocoles permettant la communication entre les nœuds.

### III.3.2.3 Unité de Communication

Cette unité gère toutes les émissions/réceptions au sein du capteur. Ainsi, l'unité de transmission travaille essentiellement à connecter le nœud au réseau.

### III.3.2.4 Unité d'énergie

La gestion de l'énergie est un point primordial dans les réseaux de capteurs. Tout capteur est muni d'une ressource énergétique à durée de vie limitée, et ce, à cause de la taille réduite de la batterie et l'impossibilité de la recharger ou de la changer. Il est à noter que la gestion de l'énergie est un réel problème pour les réseaux de capteurs, et divers travaux tentent d'y remédier. De ce fait, l'unité de contrôle d'énergie est sans doute le composant le plus important du capteur. Elle s'occupe de la « répartition » de l'énergie au sein du capteur entre les divers modules. Elle permet également quelques fois de réduire la consommation d'énergie en agissant sur les modules inactifs .

### III.3.3. Classification des capteurs

On peut classer les capteurs en 3 groupes et ce en fonction de la nature de l'information délivrée en sortie [26].

- Les capteurs analogiques :

Dans la pratique industrielle, on donne à ce type de matériel le nom de capteur.

Type de signal de sortie : 0 – 10V ou 4 – 20mA

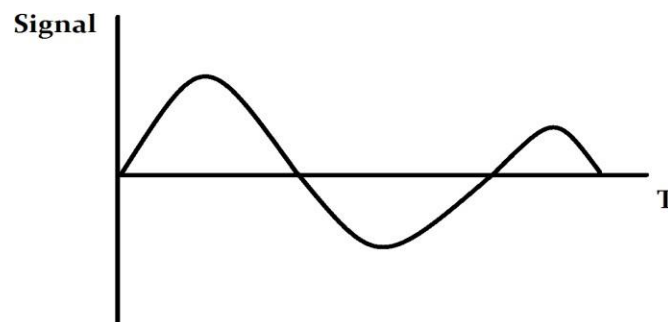
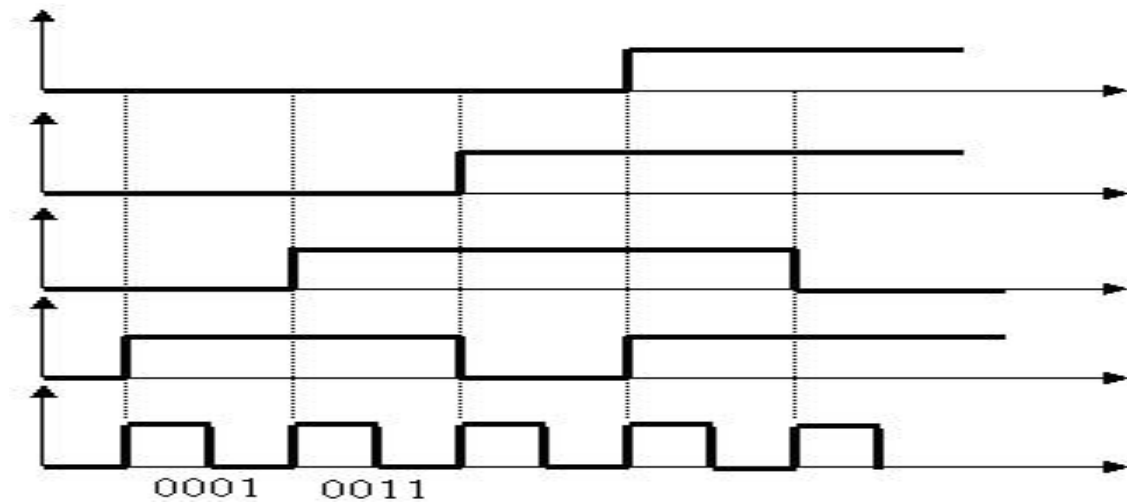


Figure 17: Signal analogique

- Les capteurs numériques:

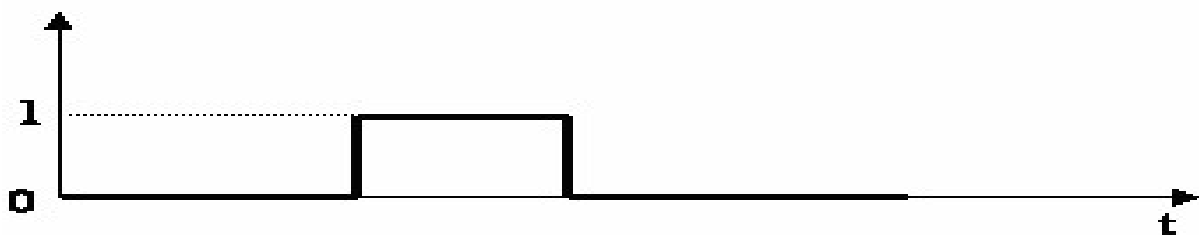
Selon le cas portent les noms en pratique de codeurs ou de compteurs  
Type de signal de sortie : 0011 ou 0001



**Figure 18** : Signaux numériques

- Les capteurs logiques:

Ils portent le nom de détecteurs.  
Type de signal de sortie 0V ou 5V



**Figure 19** : Signal logique

Voici une première série de capteurs pour mesurer des variables physiques dans un environnement :

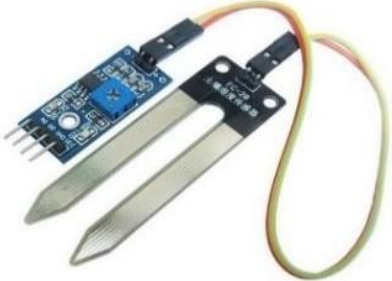

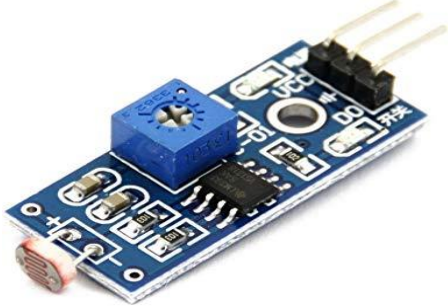


**Figure 20:** Exemples de capteurs [27]



## III.2.7. Les capteurs utilisés





Dans notre projet nous avons besoin d'utiliser plusieurs capteurs qui vont nous servir à contrôler la serre agricole. Nous utilisons un capteur d'humidité du sol, un capteur d'humidité et de température, et un capteur de luminosité.

Les capteurs	Image
Capteur d'humidité du sol	 A soil moisture sensor module with a blue PCB, two metal probes, and a three-pin header.
Capteur d'humidité et de température	 A black PCB sensor module with a white plastic housing and a three-pin header.
Capteur de luminosité	 A blue PCB sensor module with a blue potentiometer, a photoresistor, and a three-pin header.

**Tableau 3** : Les capteurs utilisés

## III.4. Les composants utilisés

Dans ce projet nous avons utilisés les composants décrits dans le tableau ci-dessous :

Les composants	Image	Description
<p>Le Module GSM SIM800L v2.</p>		<p>Un circuit intégré à microcontrôleur avec connexion GSM</p>
<p>Le Module à relais</p>		<p>Interrupteurs qui se commandent avec une tension</p>
<p>LCD 16*2</p>		<p>Dispositif d'affichage à cristaux liquides.</p>
<p>Alimentation supplémentaire</p>		<p>Dispositif pour alimenter la carte ou bien ses capteurs et modules.</p>

**Tableau 4** : Les composants utilisés

## III.5. Logiciels et Environnements de programmation

Lors de notre réalisation, nous nous sommes basés sur deux logiciels, Arduino IDE et Proteus, le premier nous a servi à programmer et configurer notre carte Arduino pour le bon fonctionnement de notre application. Le deuxième software nous a servi à une plateforme d'essais et de tests avant l'entame sur la plateforme réelle.

### III.5.1. L'environnement de programmation (IDE Arduino)

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino [30].

#### III.5.1.1. Structure générale de l'environnement :

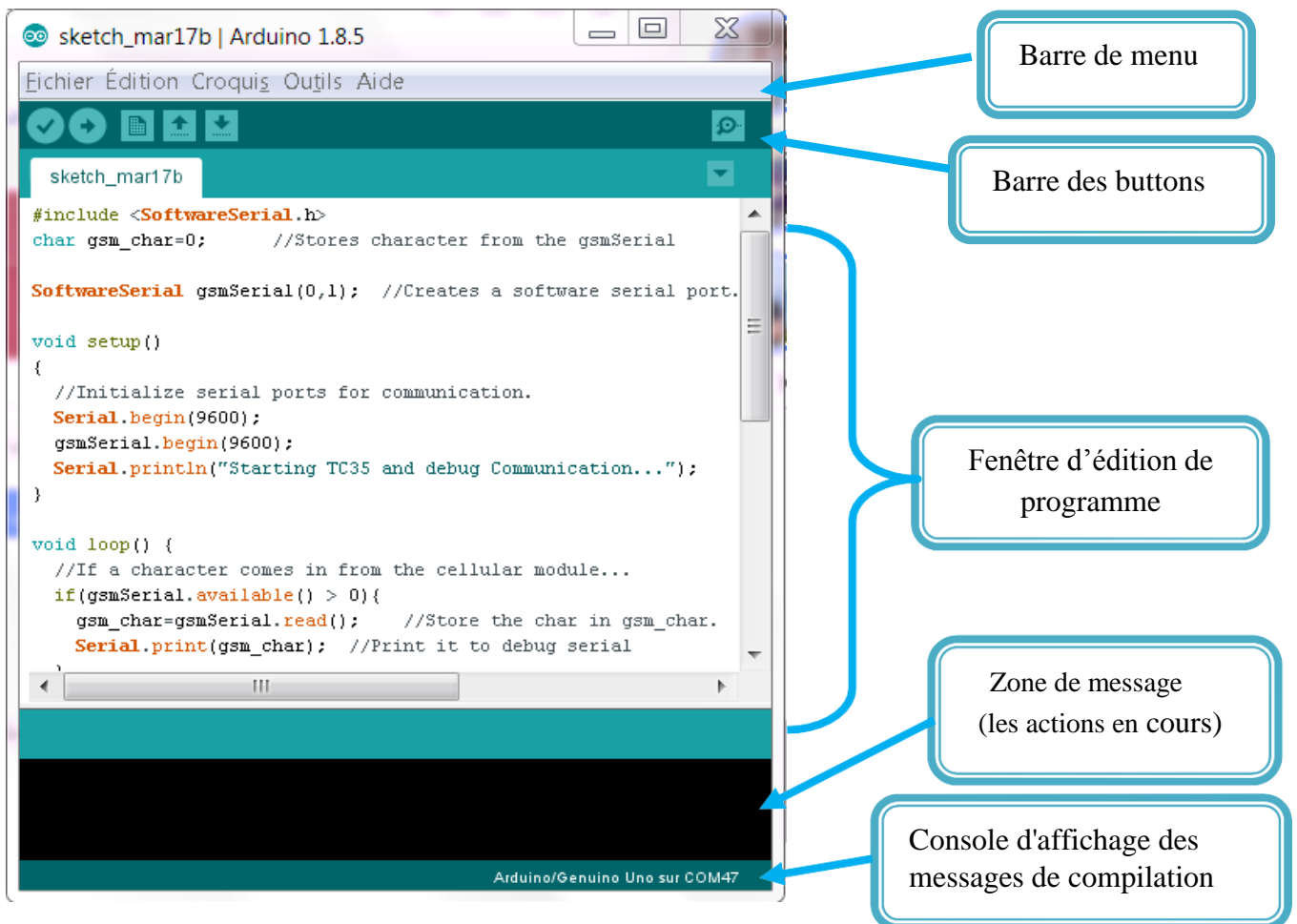


Figure21 : Interface IDE Arduino

## III.5.1.2 Injection du Programme

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (Arduino UNO) et le numéro de port USB (COM 9) comme exemple la Figure 21.

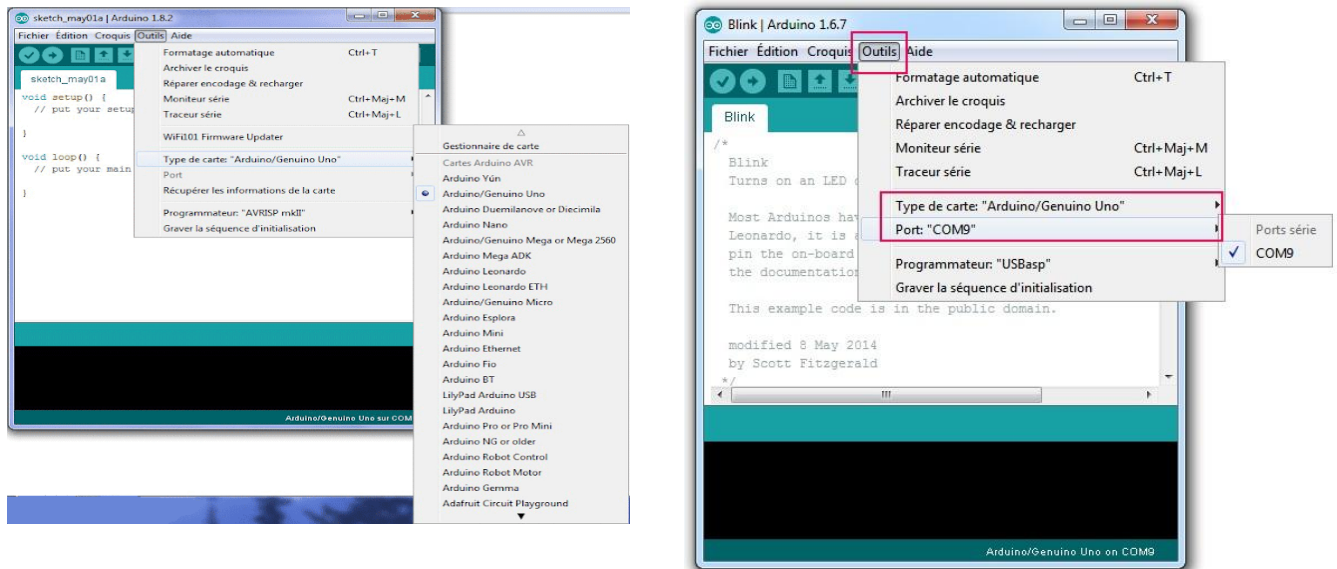


Figure 22 : Les Paramètres de la carte Arduino

## III.5.2. Proteus Professional

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus Professional permettent la CAO (Construction Assistée par Ordinateur) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: (ISIS, ARES).

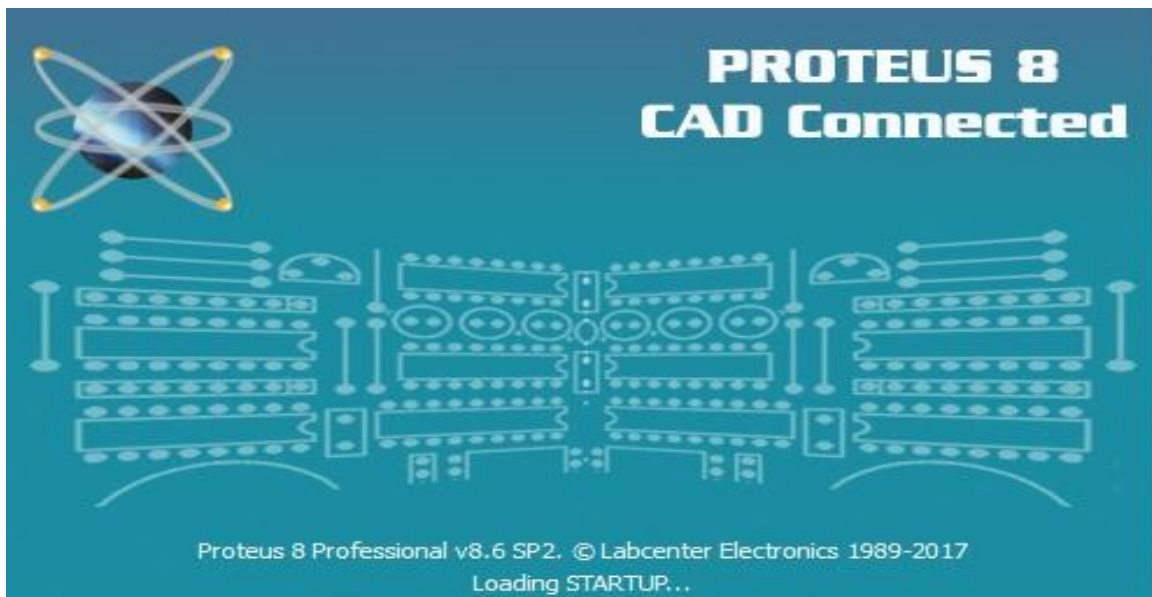
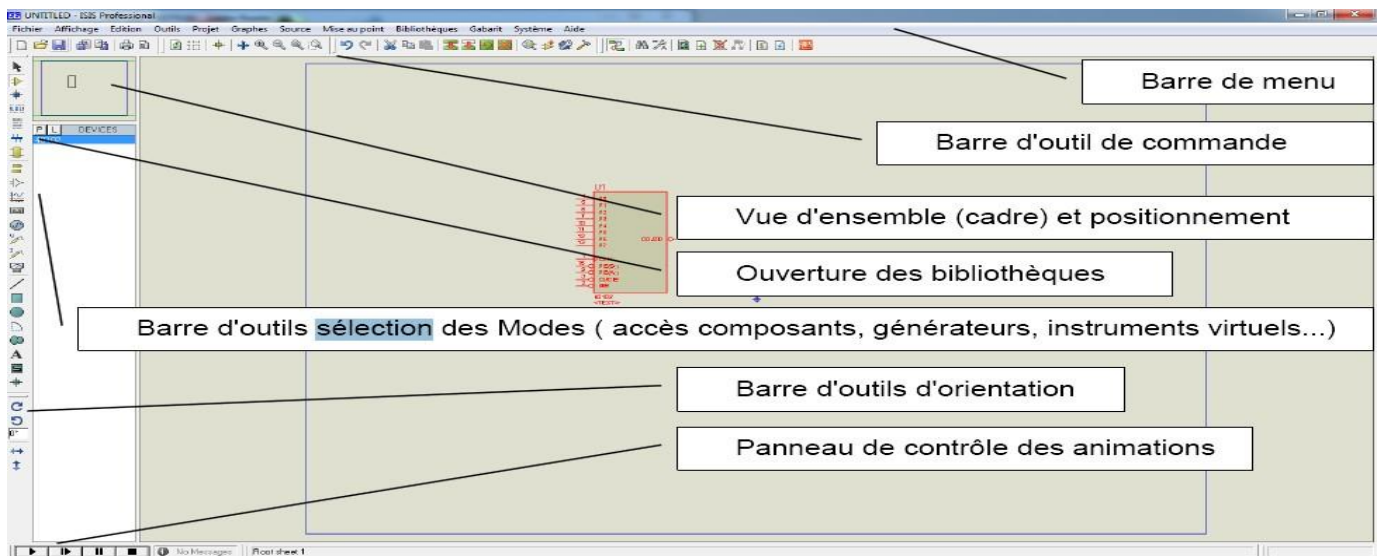


Figure 23 : Logiciel de CAO Proteus

## III.5.3 ISIS Professional

Le logiciel ISIS de Proteus Professional est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.



**Figure 24 :** l'interface de ISIS Proteus

### **III.6. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté les outils de travail avec lesquels nous avons réalisé notre projet.

A travers cette liste d'outils, nous avons constaté que notre projet est en relation avec l'automatisme, l'informatique et même l'électronique appliquée. Cela nous a enrichie le savoir et nous a permis d'avoir une idée sur tous ces domaines.

Ce qui va être introduit dans le chapitre prochain est tout ce qui est en relation avec le développement, la programmation et les étapes de réalisation du programme de gestion de la serre automatisée.

## Chapitre III : Environnement et outils de travail

---

# **Chapitre IV : Réalisation et Développement**



## IV.1. Introduction

Cette partie de notre étude ne nous donnera pas de bons résultats si on néglige certains paramètres, donc le bon fonctionnement de notre système se base essentiellement sur une bonne démarche et une bonne réflexion de notre programme.

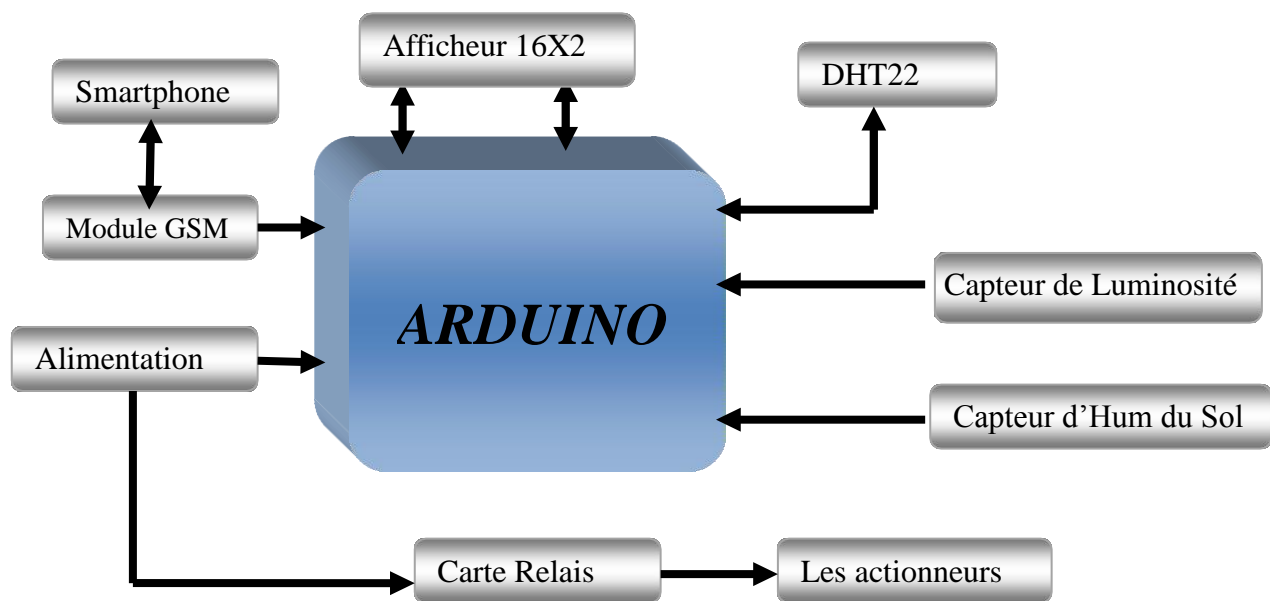
Le but de chapitre est d'énumérer les différentes étapes suivi pour arriver à réaliser ce projet depuis le montage jusqu'à la version finale du Système.

Nous commençons ce chapitre par la description du montage de notre maquette ; les outils utilisés pour la réalisation de système finale.

Nous décrivons par la suite les étapes du développement ainsi que la programmation en introduisant le code source.

Nous finirons par la description et l'illustration des interfaces en précisant leurs rôles et fonctionnements.

## IV.2. Principe de Fonctionnement de Notre Projet :



**Figure 25** : Schéma du système final

La figure si dessus représente le schéma final de notre système composé de deux stations locale et distante.

La carte Arduino Uno est entourée de plusieurs outils tels que le module GSM SIM8001 v2, les différents capteurs de température d'humidité et de luminosité ainsi que le capteur d'humidité du sol. Nous avons aussi l'alimentation en énergie à l'aide d'une batterie, des modules à relais et un LCD pour afficher.

Le principe de fonctionnement de notre système est très simple, il est constitué d'une partie réglages et une autre de mesures. Le système fonctionne suivant deux modes (automatique et manuel).

- **Mode automatique** : le Sol est sec, le climat est moins humide, la température est très élevée ou la luminosité externe diminue le système se déclenche automatiquement via un signal envoyé par l'Arduino vers les actionneurs (pompe, lampe, extracteur ou vaporisateur), suite à une alerte envoyée par les capteurs installés, On sera également informé par un SMS contenant l'état de notre serre.
- **Mode manuel** : Ce mode se déclenche après un envoi de message via le smartphone vers le module GSM, le module GSM convertira l'onde électromagnétique en un signal électrique qui va être envoyé vers l'Arduino afin de commander un actionneur.

Le message peut être :

1. Un signal composé de la concaténation de « La Première lettre de l'actionneur qu'on souhaite déclencher » + « ON » qui incitera l'Arduino à démarrer cet actionneurs, on prend par exemple la pompe afin que l'eau circule vers tout le reste du réseau pour un arrosage souhaité, il suffit d'envoyer « pON ».
2. Ou bien jusqu'à une réception d'un signal avec « OFF » qui va faire l'arrêt

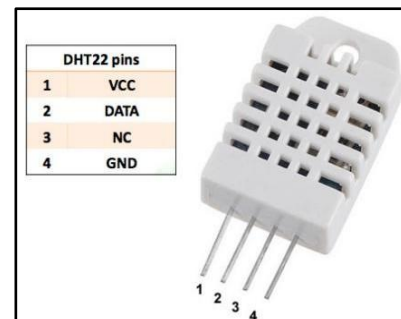
### IV.2.1. DHT22 : Capteur de température et d'humidité :

Le premier capteur à être installé et testé est le DHT 22, un capteur numérique d'humidité relative et de température qui, en utilisant un capteur d'humidité capacitif et une thermistance mesurant l'air environnant, crache un signal numérique sur la broche de données.

Le capteur doit être alimenté entre 3,3 V et 5 V (et fonctionnera de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $+80^{\circ}\text{C}$  avec une précision de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  pour la température et  $\pm 2\%$  pour l'humidité relative.) Il est important de garder à l'esprit que sa période de détection est en moyenne 2 secondes (temps minimum entre les lectures).

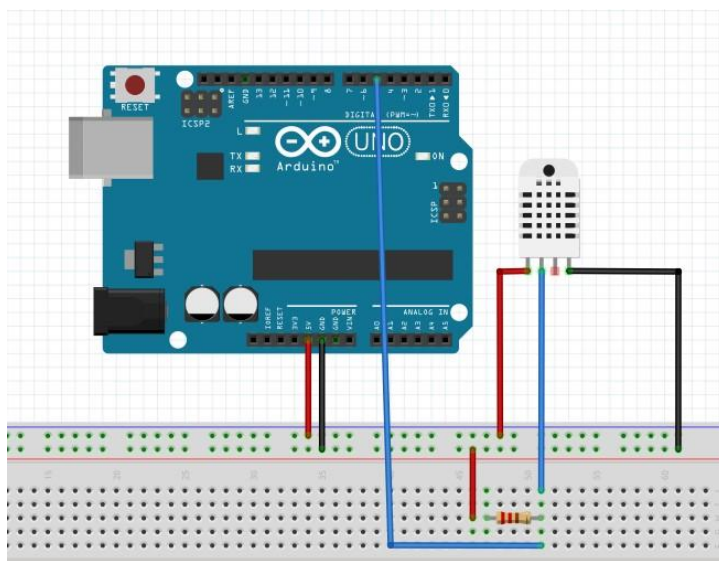
Le DHT22 a 4 broches :

1. VCC (3 à 5V)
2. DONNÉES (sortie de données)
3. NC (non connecté)
4. GND (Terre)



**Figure 26 : DHT22**

Considérant que vous utiliserez principalement le capteur sur des distances inférieures à 20m, une résistance de 10K ohms doit être connectée entre les broches Data et VCC. La broche de sortie doit être connectée à Arduino A2.



**Figure 27 : Montage Arduino et DHT22**

Une fois le capteur installé sur Arduino, il faut télécharger la bibliothèque DHT depuis le référentiel GitHub : <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library> et l'installer dans le fichier de bibliothèque Arduino.

Le code source :

```
//Bibliothèques
#include<DHT.h>;
//Constants
#define DHTPIN A2 // connecté a A2
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Initialiser le DHT pour 16mhz Arduino
//Variables
float hum; // Stocke la valeur d'hum
float temp; // Stocke la temperature
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
}
void loop()
{
  delay(2000);
  //lire les données puis les stocker dans hum et
  temp
  hum = dht.readHumidity();
  temp= dht.readTemperature();
  //Afficher la temp et l'hum sur le moniteur série
  Serial.print("Humidité: ");
  Serial.print(hum);
  Serial.print(" %, Temp: ");
  Serial.print(temp);
  Serial.println(" Celsius");
  delay(5000); //Delay 5 sec
```

## IV.2.2. Capteur de luminosité

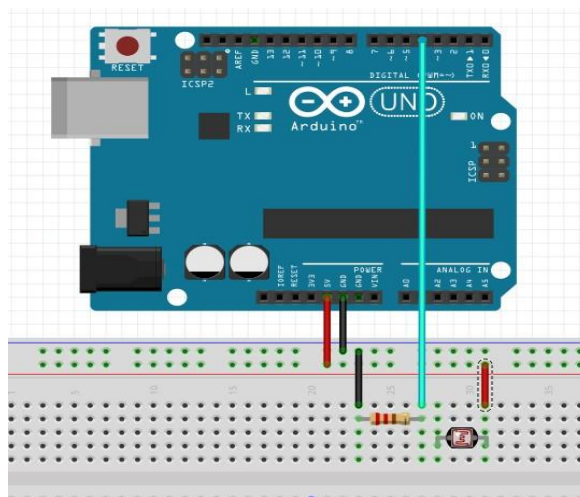
Une simple LDR (Light Dependent Resistor) peut être utilisée. Fondamentalement, ce que nous devrions faire est d'avoir un diviseur de tension où l'une des résistances est le LDR et le point central du diviseur devrait être utilisé comme une entrée analogique pour Arduino. De cette façon que la variation de la lumière, la résistance LDR varie également, la tension du point central du diviseur va également changer proportionnellement [28].

Pour les tests, nous allons utiliser un module LDR qui a le diviseur de tension intégré. Le module a 3 broches ("S" pour les données, "+" pour VCC et "-" pour GND). La broche "S" sera connectée à Arduino Pin Analog 0 (A5). Les broches "+" et "-" doivent être connectées respectivement à 5V et GND.

Une fois que la sortie du convertisseur analogique-numérique d'Arduino est comprise entre 0 et 1023, nous devons tester ces valeurs pour obtenir les résultats suivants :

- "Dark Full" → ADC output: 1023 → 0%
- "Full Light" → ADC output: 0 → 100%

Voilà le montage:



**Figure 28 : Montage Arduino et LDR**

Code source :

```
#define LUX A5
int Lmin = 1023; //valeur retournée dans le noir
int Lmax = 0; //valeur retournée dans un endroit lumineux
int lux;
void setup() {
  //initialiser la communications série a 9600
  bps Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  //Lire la valeur de l'analog A5
  lux=analogRead(LUX);
  //fonction pour definir le
  pourcentage de luminosité
  map(lux,Lmin,Lmax,0,100);
  delay(10);
}
```

```
Serial.print(" le Niveau de Lum:  
"); Serial.print(lux);  
  
delay(2);  
}
```

### IV.2.3. Capteur d'humidité du sol

Le choix se portera sur le capteur d'humidité du sol (YL-69), ce capteur 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 protègent contre l'oxydation et se plante verticalement dans la terre.

Le fonctionnement électrique de ce capteur est basé sur l'immersion des deux tiges, qui en contact avec le sol permettent la circulation d'un courant, ce qui permet la lecture du niveau d'humidité par rapport à la résistance. Plus y'a d'eau dans la terre, plus la conduction de courant entre les tiges est meilleure, en raison de la faible résistance, ce qui permet à la tension au niveau du capteur d'approcher 5V. Alors que la conductivité d'un sol sec est faible en raison d'une résistance élevée, résultant en un signal proche de 0V.

Le branchement du capteur se fait comme suit : On relie la broche Vcc au 5V, GND à la masse et la sortie A4 à une entrée analogique du microcontrôleur, c'est cette dernière qui nous permettra de recueillir l'information (variation de la tension). D0 est une sortie numérique active quand un seuil réglable est dépassé.

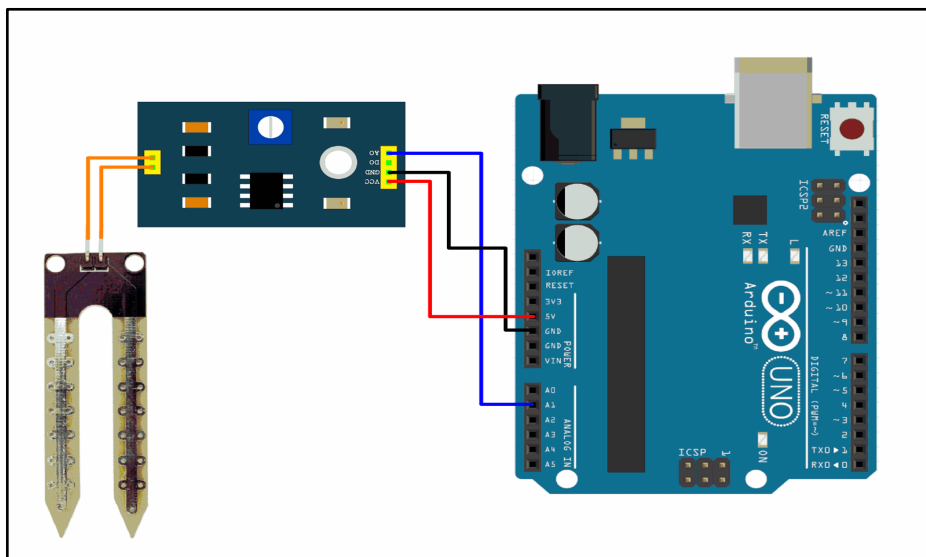


Figure 29 : Montage de capteur d'humidité du sol (YL-69)

Un code de test simple :

```
#define SOL A4  
int min = 656; //valeur retournée hors du sol  
int max = 140; //valeur retournée dans un sol  
completement mouillée  
int pourcentHumSol, humSol;  
void setup(){
```

```
//initialiser la communications série a 9600
bps Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  //Lire la valeur de l'analog A4
  humSol = analogRead(SOL);
  pourcentHumSol =
  //fonction pour definir le
  pourcentage d'humidité
  map(humSol,min,max,0,100);
  delay(10);
  Serial.print(" Hum du Sol: ");
  Serial.print(pourcentHumSol);

  delay(2);
}
```

### IV.2.4. L'affichage sur LCD

Pas toujours nous avons un moniteur série disponible pour analyser les sorties de nos capteurs. Par conséquent, un écran LCD sera ajouté au projet pour la surveillance locale. Le choix s'est porté sur un module LCD de haute qualité à 2 lignes de 16 caractères.

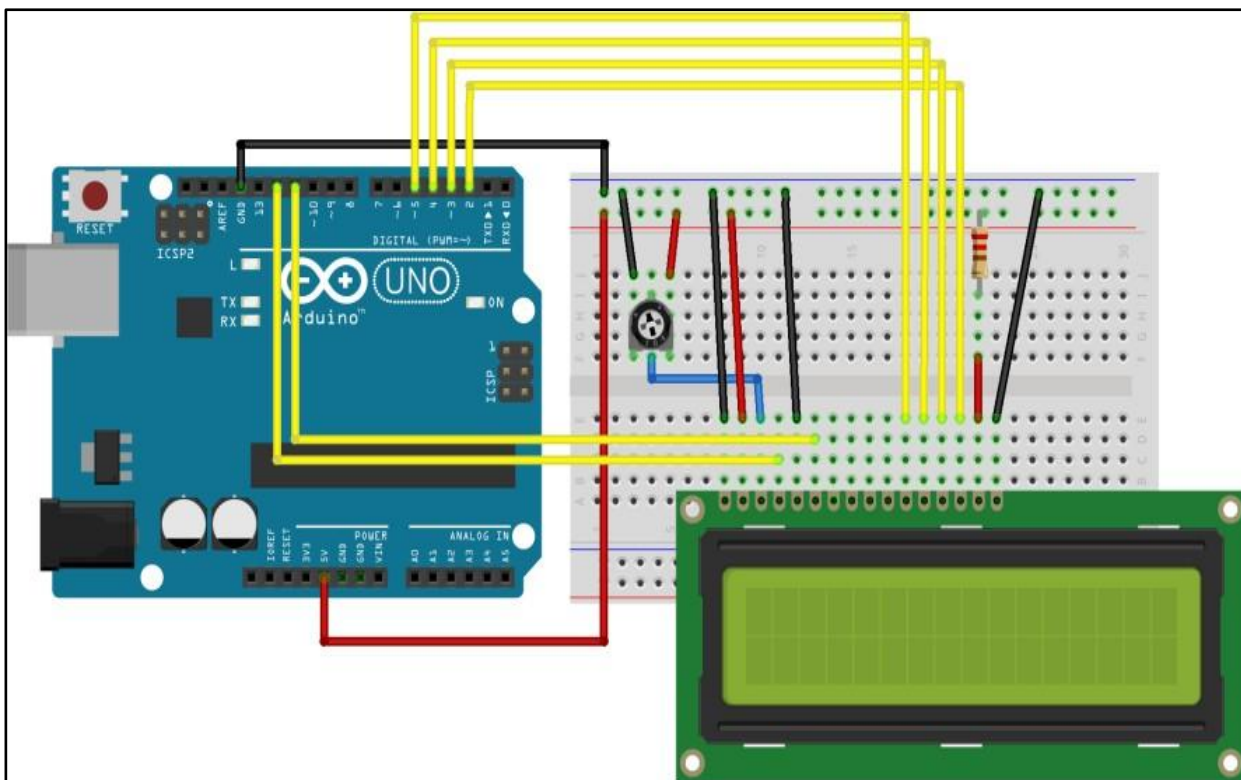


Figure 30 : Montage Arduino et LCD

Code source :

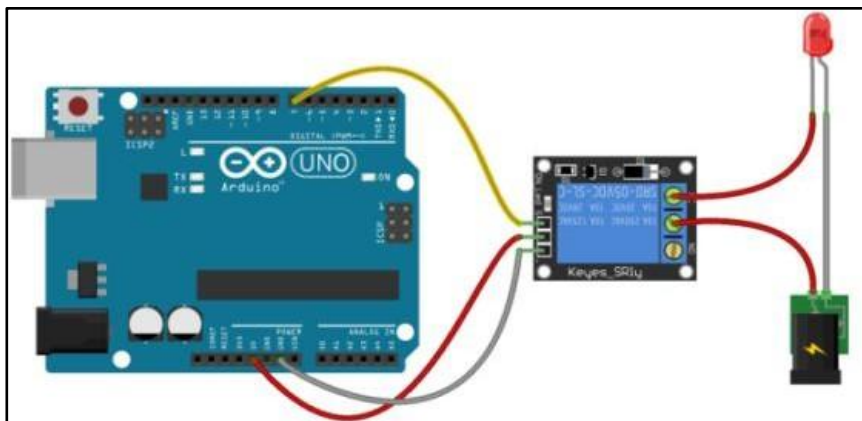
```
#include <LiquidCrystal.h>
void setup() {
  // Définir le nombre de lignes et colonnes
  lcd.begin(16, 2);
  // afficher un message
  lcd.print("hello, world!");
}
void loop() {
  // mettre le cursor sur la colonne 0 et la ligne 1
  lcd.setCursor(0, 1);

  lcd.setBacklight(HIGH); delay(500);
  lcd.setBacklight(LOW); delay(500);
}
```

### IV.2.5. Actionneurs

Jusqu'à présent, nous pouvons lire les données des capteurs et les afficher sur le moniteur série et sur l'écran LCD. Il est temps de faire quelque chose avec de telles données. Pensons aux actionneurs.

En regardant les données fournies par les capteurs, nous connaissons la température et l'humidité de l'air, la luminosité et le plus important comment est le sol. Avec ces données à portée de main, notre programme devrait calculer s'il est nécessaire d'irriguer, en allumant la pompe à eau ou la lampe électrique pour la lumière. Pour cela, nous utiliserons un petit module relais 5V pour l'activation de la pompe et de la lampe. Le circuit du diagramme du module de relais peut être vu ci-dessous :

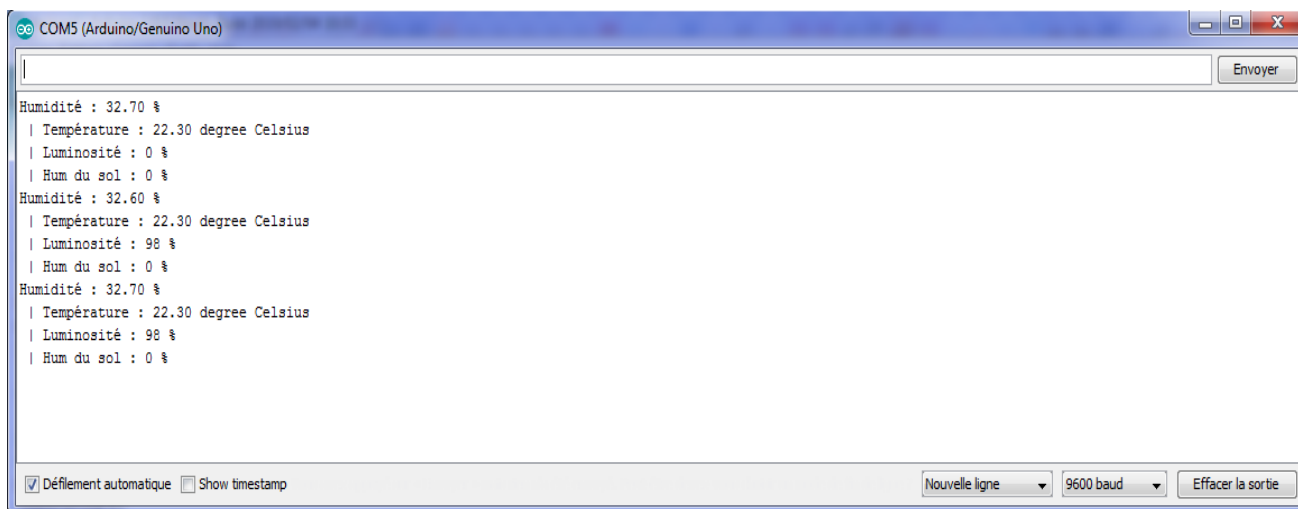


**Figure 31** : Montage Arduino et Actionneur

Pour la sortie, 3 broches : "NO", "Ref", "NC", qui sont : "Normal Ouvert", "Référence" et "Normal Fermé". Nous utiliserons la paire : NO et Ref (centre). Sur le schéma ci-dessus, "NO" est le terminal à connecter à "Live Mains" ou le positif direct de la source d'alimentation (12VDC pour la pompe et 220VAC pour la lampe, l'extracteur, et le vaporisateur). Le "Ref" sera connecté à n'importe quel actionneur comme indiqué sur le schéma ci-dessus.

### IV.2.6. Tests de capteurs ensemble:

Maintenant, tous les capteurs sont prêts et testés individuellement, créons un test spécifique pour lire tous les capteurs en même temps.



**Figure 32 :** Affichage des informations de système

### IV.2.7. SIM800I V2 (Module GSM/GPRS)

Le module GSM/GPRS est basé sur un module SIM800L EVB de SIMCOM, il est compatible avec Arduino et ces clones. Il permet de communiquer en utilisant le réseau GSM. Ce module permet d'envoyer des SMS en envoyant des commandes AT à l'UART. Les commandes AT supportées sont GSM et SIMCOM.

Grâce au message envoyé par ce module, la personne peut déclencher le système même si il est à des kilomètres de celle-ci, ce qui permet la commande des actionneurs à distance.

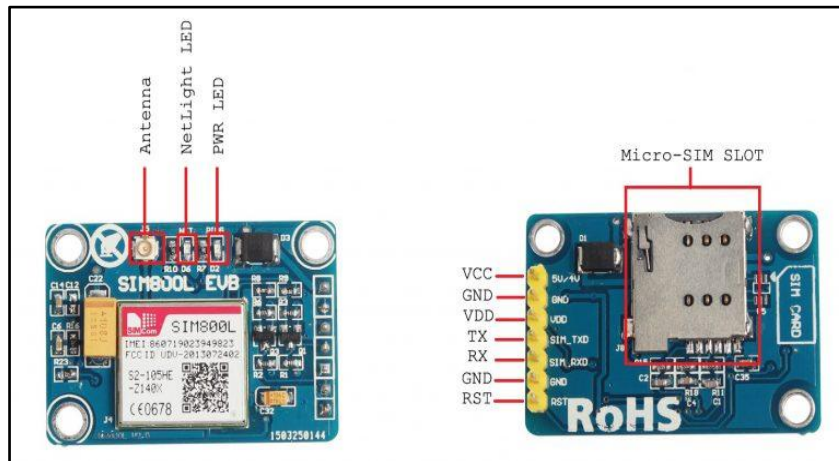
#### IV.2.7.1. Caractéristiques du Module :

- Quad-bande 850/900/1800/1900 MHz
- FM : 76 ~ 109 MHz dans le monde entier bandes avec 50 KHz tuning étape
- Dimensions : 15.8\*17.8\*2.4mm
- Poids : 1.35g
- Tension d'alimentation 4.1 ~ 5DC

#### IV.2.7.2. Description des Broches :

- VCC : Interface d'alimentation (5V)
- GND : Connectez-le a la GND (terre)
- VDD : Interface série TTL UART, utilisée pour faire correspondre la tension du TTL
- SIM\_TXD : Transmetteur du module SIM
- SIM\_RXD : Récepteur du module SIM
- RST : Pour Reset le Module





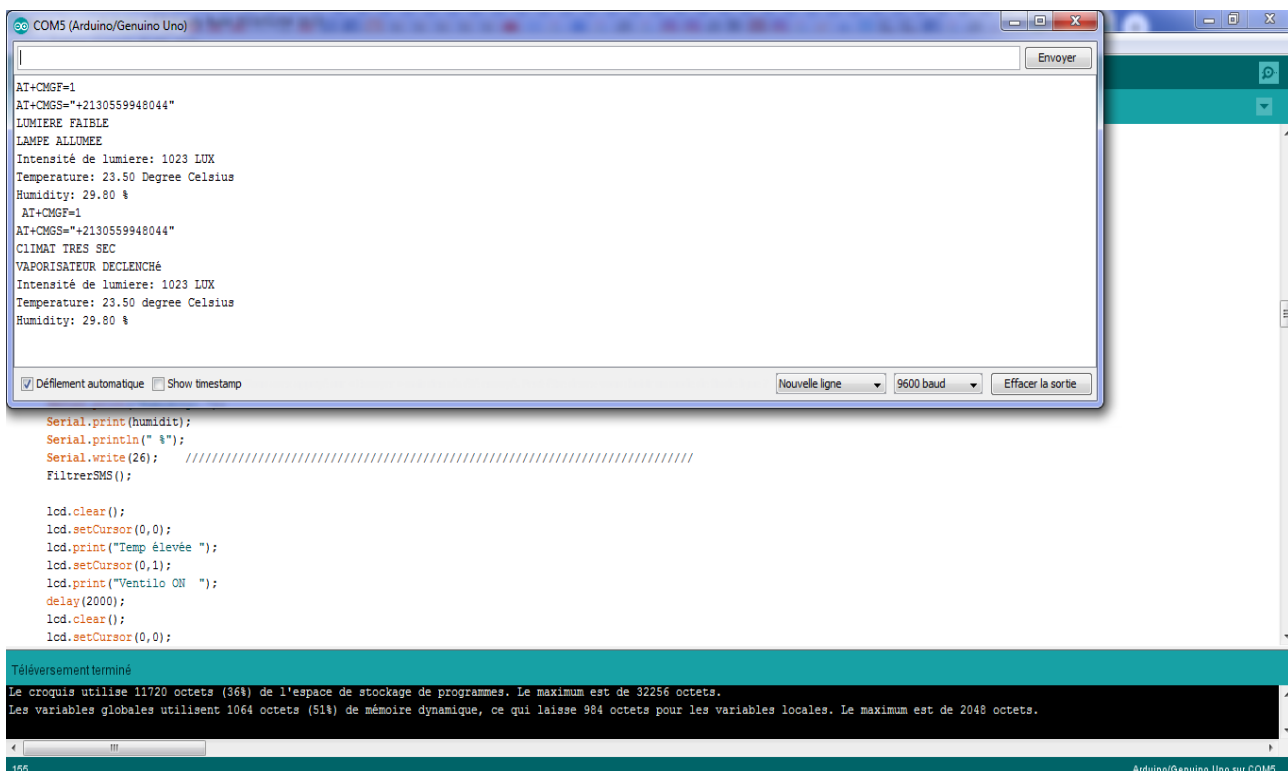
**Figure 33 : Module GSM Sim8001 v2**

### IV.2.7.3. Principe de Fonctionnement :

La communication entre le module Arduino et GSM est serial. Alors que nous sommes censés d'utiliser les séries broches de l'Arduino (Tx et Rx). Nous pouvons connecter la broche Tx du module GSM à la broche Rx d'Arduino et la broche Rx du module GSM à broche Tx de Arduino.

Relier la broche de terre d'arduino avec la broche de terre du module GSM., Nous avons fait 3 connexions et le câblage est terminé. Par la suite Nous pouvons charger des programmes différents pour communiquer avec le module GSM et le faire fonctionner.

L'objectif principal de l'utilisation de ce module est d'assurer la notion de l'IOT, c'est-à-dire de réaliser une serre agricole automatisé et connectée à la fois. Pour le mode automatique et lors d'un déclenchement d'actionneur suite à une alerte envoyée par les capteurs, le Module GSM nous envoie un SMS sous forme de notification contenant l'action déclenché et l'état actuel de notre serre (les valeurs retournées par les capteurs installés) comme montre la figure suivante :



**Figure 34 : Réception d'un SMS contenant l'état de la serre**

Alors qu'on a bien monté la carte Arduino avec le Module GSM, et que la communication est serial, Pour le deuxième Mode qui sert à commander la carte à relais à distance, on a développé une fonction qui s'exécute répétitivement dans le but de filtrer les messages provenant du module ou bien du moniteur série afin de déclencher un actionneur, cette fonction s'appelle FiltrerSMS( ) et voici le code source :

```
void FiltrerSMS() {
  String readString;
  String Q;

  while (Serial.available()) {
    delay(1);
    if (Serial.available() > 0) {
      char c = Serial.read();
      if (isControl(c)) {
        break;
      }
      readString += c;
    }
  }
  Q = readString;

  if (Q == "lon") {
    digitalWrite(light, HIGH);
  }

  if (Q == "loff") {
    digitalWrite(light, LOW);
  }

  if (Q == "son") {
    digitalWrite(spray, HIGH);
  }

  if (Q == "soff") {
    digitalWrite(spray, LOW);
  }

  if (Q == "pon") {
    digitalWrite(motor, HIGH);
  }

  if (Q == "poff") {
    digitalWrite(motor, LOW);
  }

  if (Q == "von") {
    digitalWrite(fan, HIGH);
  }

  if (Q == "voff") {
    digitalWrite(fan, LOW);
  }

}
```

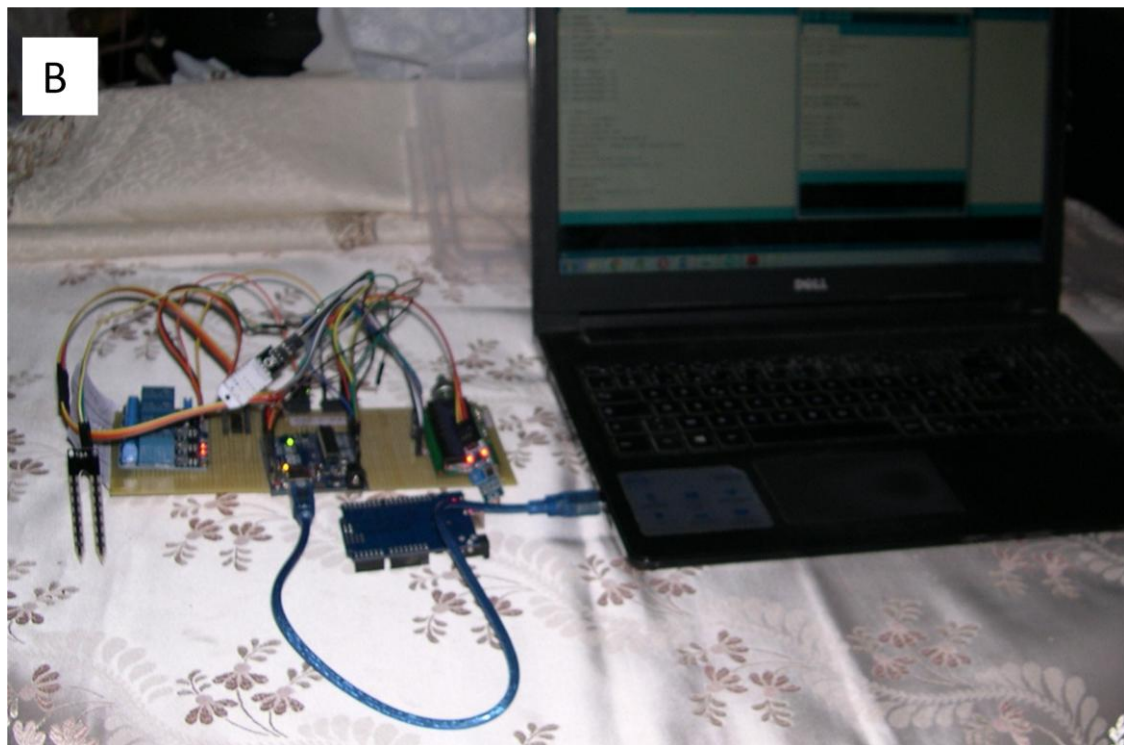
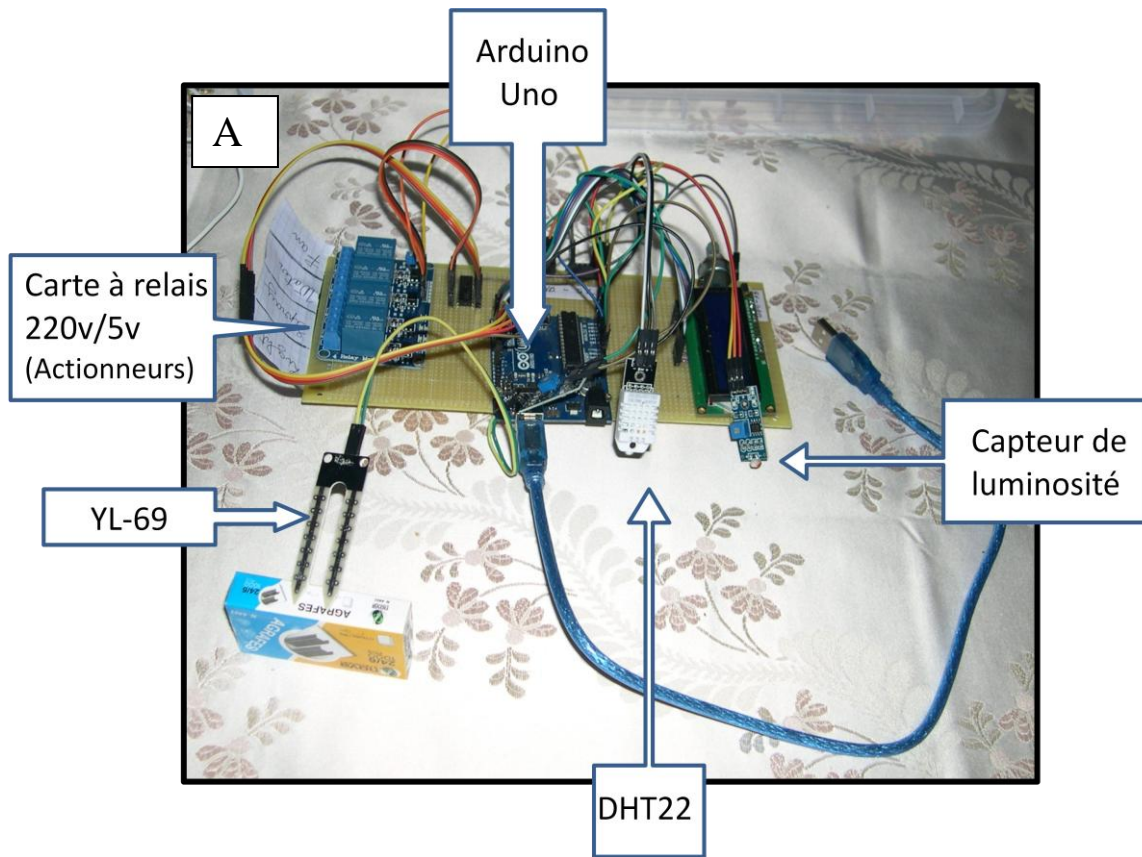


Figure 35 : Maquette expérimentale du projet (A et B)

## **IV.4. Conclusion :**

Nous avons consacré ce chapitre pour la partie développement du système ainsi que pour les étapes de la réalisation de la serre agricole automatisée.

Nous avons présenté en détails la réalisation de notre projet ou nous avons décrit le montage du matériel Arduino et notre programmation pas à pas.

Par la suite nous avons décrit le principe de notre projet ainsi que son environnement de développement.

.

# Conclusion générale

Notre projet consiste à la réalisation d'une serre agricole automatisée «intelligente» pour la production agricole. En plus de sa capacité de s'autogérer, nous avons profité de la technologie d'Internet des objets afin de pouvoir contrôler notre serre. L'agriculteur pourra donc à son tour contrôler des paramètres tels que la température, l'humidité et la luminosité en utilisant son Smartphone, et de n'importe où.

Durant la préparation de notre projet de fin d'étude, nous avons essayé de mettre en pratique les connaissances acquises durant nos cinq années études universitaires et cela dans le but de réaliser un modèle d'agriculture intelligente et de développer une application permettant de faciliter la gestion des serres agricoles.

On a pris le plaisir de travailler sur ce thème, par ce qu'il touche l'avenir du domaine économique algérien. Cette idée est un système qui peut aider à améliorer de l'agriculture en facilitant la gestion des informations effectué par l'application développée.

Notre projet était en relation avec plusieurs autres domaines comme l'automatisme, l'électronique appliquée et l'informatique ce qui nous a permis d'acquérir beaucoup de connaissances scientifiques en le réalisant.

## Problèmes rencontrés

Une telle réalisation n'est pas dénuée de difficultés. Il est à noter que nous nous sommes confrontés à plusieurs problèmes comme l'achat des équipement et outils, vu la non disponibilité de quelques composants et aussi dans la partie réalisation de la carte.

Cependant, nous pouvons dire que malgré ces difficultés, les résultats obtenus à travers cette étude qu'ils soient pratiques ou théoriques, permettent d'ouvrir la porte à d'autres études.

## Perspectives du projet

- Utiliser des panneaux photovoltaïques pour réduire la consommation électrique.
- Utiliser les protocoles sans fil comme (XBEE, WIFI...etc.), pour minimiser les fils et les câbles pour la transmission de l'information.
- Utiliser les capteurs numériques, pour éviter les pertes l'information.
- Utilisation d'une plateforme Android pour un contrôle et une gestion mobile.

A la fin nous souhaitons vivement que ce projet puisse servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies pour le faire intégrer sous des systèmes plus complexes.

## Références

- [1] E. L'hote, «Les 5 secteurs pour entreprendre en 2018,» [En ligne]. Available: <https://blog.compta-clementine.fr/>.
- [2] «Tout savoir sur l'Internet des objets,» [En ligne]. Available: <https://formati.online/internet-objets/>.
- [3] D. Evans, «internet-of-things,» [En ligne]. Available: [www.cisco.com](http://www.cisco.com).
- [4] Arnaud, «L'internet des objets à haute fréquence,» [En ligne]. Available: <https://www.objetconnecte.net/booster-iiot-1807/>.
- [5] «Internet des objets,» [En ligne]. Available: <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-internet-objets-15158/>.
- [6] «4- choses a savoir sur internet des objets,» [En ligne]. Available: <https://www.synox.io/>.
- [7] izihome, «Les objets connectés: avantages et inconvénients,»[Enligne] Available : <http://izihome.fr/objets-connectes-avantages-inconvenients/>.
- [8] N.C.Guillaume Plouin, «Modèles d'architectures de l'Internet des Objets,»[Enligne]. Available: <https://blog.octo.com/>.
- [9] «L'IoT au travail aujourd'hui,» [En ligne]. Available: <https://www.intel.fr/>.
- [10] Renaud, «L'internet des objets et ses applications au quotidien,» [En ligne]. Available: <https://www.objetconnecte.com/>.
- [11] «Solution IoT,» [En ligne]. Available: <http://www.alpwise.com/>.
- [12] B. Yakoub, «Automatisation d'une serre agricole».ENA El- Harrach. 2012
- [13] birdyz, «critères de choix d'une serre,» [En ligne]. Available: <https://www.aujardin.org>.
- [14] «Les insectes de la serre,» [En ligne]. Available: <https://www.tomates-de-france.com/>.
- [15] «Serre,» [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/>.
- [16] «les différents types des erres,»[Enligne].Available:<https://www.ma-serre-de-jardin.com>.
- [17] [En ligne]. Available: <http://www.jardiniers-professionnels.fr>.
- [18] «Le climat et l'effet de serre,» [En ligne]. Available: <https://www.comptepargneco2.com>.
- [19] «Tomate sous serre,» [En ligne]. Available: <http://www.etudier.com>.
- [20] M. HIRECHE, Etude de l'activité antioxydante de la tomate, Chlef Algérie, 2013.
- [21] «La carte Arduino UNO,» [En ligne]. Available: <http://www.microsann.com/>.

- [22] «Présentation de la carte arduino,» [En ligne]. Available: <http://larajtekno.info>.
- [23] X.HINAULT, «wiki\_reference\_arduino,»[Enligne].Available:[http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki\\_reference\\_arduino](http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino).
- [24] mysti2d, «Capteurs,» [En ligne]. Available: <http://www.mytopschool.net>.
- [25] M.Vezien, «Lafonction"acquérir",»[Enligne].Available:<http://si.lycee-desfontaines.eu>.
- [26] R. LII, «les capteurs,» [En ligne]. Available: <https://www.education.pf/>.
- [27] «Liste des capteurs,» [En ligne]. Available: <http://www.lafabriquediy.com>.
- [28] «capteur de lumière,» [En ligne]. Available: <http://www.arobose.com>.
- [29] V.Matic, «Tout sur la serre : choix, emplacement, installation,»[Enligne]  
.Available: <http://blog.equipjardin.com>.
- [30] Khenfouci Yamina, Badaoui Amel:" Approche d'authentification dans les réseaux de capteurs pour la pédagogie", Ecole nationale Supérieure d'Informatique. Pour obtenir le diplôme d'ingénieur d'état en informatique, 2009.





## RESUME

Ce travail consiste à faire l'étude ainsi que la réalisation d'un système pour l'automatisation et le contrôle à distance des serres agricoles. Ce projet est constitué essentiellement de trois parties :

La première partie consiste à concevoir une carte de commande à base du microcontrôleur Arduino Uno. Elle permet de faire le contrôle automatique des paramètres climatiques, et d'envoyer ces données par SMS à l'utilisateur. , la conception

Dans la deuxième partie, nous avons développé un programme qui permet de : visualiser les paramètres climatiques en temps réel et intervenir manuellement sur les actionneurs de la serre.

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

**Mots clés :** serres agricoles - contrôle des paramètres climatiques - microclimat - microcontrôleur - contrôle à distance.

## ABSTRACT

This work consists the study, design and realization of a system for the automation and remote control of agricultural greenhouses. This project consists of three parts: The first part consists of designing a control board based on the Arduino Uno microcontroller, it allows the automatic control of climatic parameters, and sends this data to the user via SMS.

In the second part, we have developed a program which allows: to visualize the climate parameters in real time and to manually control the actuators of the greenhouse.

Finally, we realized a prototype greenhouse that allowed us to test the performance and the good functioning of our system.

**Key words:** greenhouses - control of climate parameters – microclimate – microcontroller - remote control.

## ملخص

يُعتبر هذا العمل دراسة، تصميم وتنفيذ نظام من اجل التحكم الذاتي والتحكم عن بعد في البيوت الزراعية ويتكون هذا المشروع من ثلاثة أجزاء.

الجزء الأول هو تصميم وانشاء لوحة التحكم بالاعتماد على المتحكم المصغر، فإنه يسمح بالتحكم الآلي . على المعلومات الخاصة بالمناخ وكذلك يرسل هذه البيانات وكذلك يرسل هذه البيانات من خلال رسائل نصية قصيرة الى المستخدم.

في الجزء الثاني، قمنا بتطوير البرنامج الذي يمكن من: عرض المعلومات المناخ في الوقت والتدخل اليدوي على المنفذات المتحكم بالبيت الزراعي . وأخيرا قمنا بإنشاء نموذج لبيت زراعي الذي سمح لنا باختبار الأداء وحسن سير المشروع الذي قمنا به.

**الكلمات المفتاحية:** البيوت الزراعية، التحكم في المعلومات المناخية، المناخ المحلي، المتحكم المصغر، التحكم عن بعد،

