الجمهـــوريـــــة الجزائـــريـــــة الديمقـــراطيـــة الشـعبيـــة Populaire
وزارة République Algérienne Démocratique et
التـــعلـــيـــــم العـــــالـــــي والبـــحـــــث العـلمـــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد Ahmed
Universitéd'Oran 2 Mohamed Ben

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industrielle
Spécialité : Génie Industrielle

Thème

Conception d'une Serre Agricole intelligente

Présenté et soutenu publiquement par :

BENZIANE Chaima Yamina **et** BELKAOUSSA Yassmine

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Kacimi Abderrahmane	MCB	IMSI	**Président**
Aouimer Yamina	MAA	IMSI	**Encadreur**
Mekki Ibrahim El Khalil	MCA	IMSI	**Examinateur**

Année 2023/2024

Remerciements

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

Nous tenons à exprimer notre profond remerciement à notre encadrante

Mme : Aouimer Yamina De nous avoir dirigé et suivi et conseillé pour finaliser notre mémoire de fin d'études. Pour sa disponibilité, compétence et son savoir-faire.

Comme je tiens à remercier :Tout le personnel de l'institut de maintenance et sécurité industrielle.

Enfin sans oublier nos honorables membres de jury qui vont évaluer notre travail durant la présentation

Dédicace

Je tiens a dédier ce travail

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

A la femme qui a souffre sans me laisser souffrir, qui n'a épargné aucun effort pour me sandre heureuse :ma mère

A mes chères sœurs Fatima, imen, Bouchra qui n'ont pas cesséede me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur

A mes chers frères Mohamed, Alla, Younes

A ma binôme, ma copine Yasmine Ce mémoire est le résultat de notre collaboration assidue et de notre amitié solide. Nous avons traversé ensemble des années de travail acharné, de découvertes et de souvenirs inoubliables .

A mes très chers amis qui ne cessent de m'encourager dans les moments difficiles merci a vous :Houria, Bouchra, Meriem, Rachid

A toute ma famille

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

CHAIMAA

Dédicace

Au nom du dieu ,je dédie ce modeste travail

A mon père, qui travaille sans relâche jour et nuit pour notre foyer ne sombre pas dans la ruine, cet homme qui n'a jamais refuse, de faire le bien

A mon paradis, a la prunelle de mes yeux. A la source de ma joie et mon bonheur.ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemim.ma moitie. Maman

A mon frère Mohamed pour l'amour qui me réserve

A mes trois sœurs imen,kheira et amira qui on fait de chaque jour un moment de tendresse dans le jardin de mon Cœur

À ma chère binôme qui s'est dévoué corps et âme à ce mémoire, jamais je ne te remercierai assez tu es comme une sœur pour moi

À mes plus proches Imène et Wissam avec qui j'ai passé de merveilleuses moments du ma vie

A Ma chère loulou raghad Celui la plus proche de mon cœur

A mon encadrante Mme aouimer Yamina : un remerciement particulier et sincère pour tous vos efforts fournis

YASSMINE

Résumé :

L'Internet des objets (IoT) a transformé notre mode de vie ces dernières années et continue de le faire aujourd'hui. L'IoT permet de connecter des objets, des capteurs, des actionneurs et d'autres technologies intelligentes, créant ainsi un réseau intégré et interconnecté.

L’agriculture a été l’une des plus grandes bénéficiaires de ce progrès technologique et on le voit bien dans l’automatisation des serres intelligentes.

Dans ce projet, nous avons créé une mini serre compacte et autonome, équipée de capteurs sophistiqués, de systèmes de contrôle automatisés et d'une connectivité intelligente, permettant aux utilisateurs de surveiller et de réguler les conditions de croissance de leurs plantes à distance.

Abstract :

The Internet of Things (IoT) has transformed the way we live in recent years and continues to do so today. IoT connects objects, sensors, actuators and other smart technologies, creating an integrated and interconnected network.

Agriculture has been one of the biggest beneficiaries of this technological progress and we can clearly see this in the automation of smart greenhouses.

In this project, we created a compact and autonomous mini greenhouse, equipped with sophisticated sensors, automated control systems and intelligent connectivity, allowing users to monitor and regulate the growing conditions of their plants remotely.

ملخص:

قد غيرت إنترنت الأشياء الطريقة التي نعيش بها في السنوات الأخيرة وما زالت تفعل ذلك حتى اليوم يربط إنترنت الأشياء بين الأشياء وأجهزة الاستشعار والمحركات والتقنيات الذكية الأخرى، مما يؤدي إلى إنشاء شبكة متكاملة ومترابطة.

لقد كانت الزراعة واحدة من أكبر المستفيدين من هذا التقدم التكنولوجي ويمكننا أن نرى ذلك بوضوح في أتمتة الدفيئات الذكية في هذا المشروع، قمنا بإنشاء دفيئة صغيرة مدمجة ومستقلة، ومجهزة بأجهزة استشعار متطورة وأنظمة تحكم آلية واتصال ذكي، مما يسمح للمستخدمين بمراقبة وتنظيم ظروف نمو نباتاتهم عن بعد.

Liste des figures Et Tableaux

Figure 1**:** L'Internet des Objets 4
Figure 2: Principe de fonctionnement de la RFID.[7] 10
Figure 3: Fonctionnement de la technologie Bluetooth Low Energy.[8] 10
Figure 4: Domaines d'application de l'IoT 14
Figure 5: Agriculture de précision 17
Figure 6: Illustration des techniques utilisées pour le Contrôle de bétail 18
Figure 7: Vue d'une Serres intelligentes équipée d'un système pour maximiser l'efficacité énergétique via l'utilisation de TIC 18
Figure 8: Vue de la serre intelligente équipée d'un ensemble de technologie avancée, l'utilisateur peut gérer la serre via une tablette 20
Figure 9: Systèmes d'irrigation dans la serre intelligente 22
Figure 10: Illustration de technique de ventilation dans la serre intelligente 23
Figure 11: Système de refroidissement par brouillard 24
Figure 12: Arduino MEGA 28
Figure 13: Moteur drivers L298N 28
Figure 14: Carte mémoire 29
Figure 15: Vue du module blutooth 29
Figure 16: capteur d'humidité de sol 30
Figure 17: Capteur d'humidité et température 31
Figure 18: capteur de luminosité 32
Figure 19: Capteur MQ-135 32
Figure 20: Servomoteur 33
Figure 21: Ventilateur 12V 33
Figure 22: néon LED 34
Figure 23: afficheur LCD 34
Figure 24: Vue du module relais électromécanique de 5VDC 35
Figure 25: tube rond en aluminium 35
Figure 26: Décapeur thermique 36
Figure 27: Vue du système d'irrigation utilisé 36
Figure 28: CD ROM 36
Figure 29: Vue du diagramme synoptique du système réalisé au laboratoire 39
Figure 30: Schéma de câblage du DHT11 41
Figure 31: Schéma de câblage le ventilateur avec relais 41
Figure 32: Schéma de câblage de capteur d'humidité du sol 42
Figure 33: Schéma de câblage du LDR 43
Figure 34: Schéma de câblage du MQ135 44
Figure 35: Vue de la chaine de mesure réalisée 44
Figure 36: Vue du système d'évacuation d'air utilisé 45
Figure 37: Vue des paramètres affichés et stocker dans des extensions comme Excel 45
Figure 38: Vue du système d'appoint en éclairage artificiel 46
Figure 39: Le plan de masse de l'IAP (Archive EX IAP, 1971-1979) 47
Figure 40: . Évolution de la température sur le site géographique d'Oran durant l'année 2023-2024. 48

Figure 41: Vue de la variation de l'humidité sur le site géographique d'Oran durant l'année 2023-2024 48
Figure 42: Vue de l'évolution de vitesse du vent sur le site géographique d'Oran durant l'année 2023-2024 49
Figure 43: Vue de l'évolution de rayonnement solaire en W/m² sur le site géographique d'Oran durant l'année 2023-2024 50
Figure 44: Evolution de la quantité du CO2 du sol 51
Figure 45: Evolution de la température à l'intérieur de la serre 51
Figure 46: Evolution l'humidité l'intérieur de la serre 52
Figure 47: Interface d'accueil 53
Figure 48: l'interface de chargement des informations gérées par les capteurs 53
Tableau 1: les caractéristiques de la carte Arduino AT mega2560 27

Liste des abbreviations

IOT : Internet of Things

IdO : internet des objets

M2M: machine to machine

LPWAN : Low Power Wide Area Network

LORAWAN: LoRa Wide Area Network

RFID: Radio Frequency Identification

SMS: Short Message System

CO2: Dioxyde de Carbone

IA : Intelligence Artificielle

PWM : Pulse Width Modulation

ICSP : IN-CIRCUIT SERIAL PROGRAMMING

USB: Universal Serial Bus

SD: Secure Digital

SPI: Serial Peripheral Interface

LCD: Liquid Crystal Display

LDR: Light Dependant Resistor

UPCA: Unité Pédagogique Contrôle Application

Introduction Générale

Imaginez un monde où chaque processus est optimisé pour maximiser l'efficacité, où l'erreur humaine est pratiquement négligeable et où les entreprises et les personnes ont une précision inégalée dans la prise de décisions. Ce monde existe déjà, grâce aux systèmes intelligents. Les technologies avancées ont permis la création de systèmes qui améliorent la vie des gens et qui résolvent les problèmes les plus complexes.

Les systèmes intelligents sont aujourd'hui de plus en plus présents dans le monde, dans de nombreux domaines tels que l'industrie, la santé, la mobilité, et bien sûr l'agriculture. Ces systèmes utilisent souvent des technologies avancées comme l'intelligence artificielle, l'Internet des objets ou la robotique pour améliorer le fonctionnement des systèmes existants ou créer de nouvelles solutions innovantes.

L'agriculture est un domaine où les systèmes intelligents ont déjà commencé à avoir un impact significatif, en particulier avec l'utilisation de la serre intelligente. La serre intelligente permet aux agriculteurs de surveiller et de contrôler les conditions environnementales dans leur serre en temps réel, ce qui peut améliorer considérablement la croissance des plantes et la qualité des produits.

Le contrôle de la température, de l'humidité, de l'éclairage, de l'arrosage et de la fertilisation dans la serre peut être automatisé avec des capteurs et des systèmes de contrôle sophistiqués. Cela permet aux agriculteurs de maintenir un environnement optimal pour les plantes en temps réel, même en leur absence.

Objectifs du projet

Le but est de réaliser un système permettant la gestion d’une serre. Elle permet une surveillance à distance en temps réel et un contrôle précis de la température, de l'humidité, de la lumière et la qualité de l’air. Cette serre est conçue principalement pour établir les conditions nécessaires à la croissance de la plante qui sont collectées à partir des capteurs préalablement placés dans la serre. Notre système contrôlera tous ces paramètres automatiquement, et pourra prendre une décision de déclencher les actions nécessaires. L'objectif ultime est d'optimiser la croissance et le rendement des plantes tout en minimisant les coûts et les impacts environnementaux.

Méthodologie :

Dans notre projet, nous avons proposé un système pour la réalisation d'une serre agricole automatisée via les moyens technologiques. Afin de réduire les efforts des agriculteurs et d'améliorer la productivité en termes de quantité et de qualité.

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

- Le premier chapitre Nous parlerons sur les concepts généraux de l'IoT ainsi que ses différents domaines d'applications.
- Le deuxième chapitre, nous allons expliquer qu'est-ce que c'est l'agriculture intelligente, puis nous verrons en détails les serres agricoles.
- Le troisième chapitre sera consacré à la conception de la serre agricole connectée.
- Le quatrième chapitre est consacré à la Réalisation et discussion des résultats expérimentaux.

Chapitre I :

Etat de l'art de la technologie IoT

I.1. Introduction

Le monde a connu un développement remarquable dans le domaine de l'informatique au cours des dernières années, de sorte que le contrôle des machines est devenu facile et possible à distance via Internet.

L'Internet des Objets (IoT) représente une révolution technologique majeure, transformant notre quotidien en connectant intelligemment des dispositifs divers. Des capteurs intégrés permettent la collecte de données, ouvrant la voie à une automatisation plus poussée dans des domaines tels que l'agriculture, la domotique et l'industrie. Cette convergence de l'informatique et des objets physiques redéfinit la manière dont nous interagissons avec notre environnement, offrant des opportunités novatrices. Dans ce présent chapitre, nous allons parler de l'IOT en évoquant ces différents concepts et utilisations.

I.2. Définition de l'internet des objets

L'Internet des objets ou IdO (en anglais (the) Internet of Things ou IoT). En 1999, Kevin Ashton, informaticien britannique à l'avant-garde de la recherche sur les réseaux RFID, inventait une expression devenue incontournable, "Internet of things" ou IoT, traduit par "Internet des objets", ou IdO en français.[1]

L'Internet des Objets (IoT) est un système global qui intègre des dispositifs physiques, des machines numériques et mécaniques, ainsi que plusieurs composants matériels, tels que des capteurs, des caméras, et des actionneurs, le tout étant contrôlé par un logiciel. L'ensemble des dispositifs et des systèmes connectés à l'Internet ouvre un champ d'application varié qui entraîne des avantages économiques pour une nation. L'IoT est une technologie d'avenir, capable de résoudre divers problèmes et d'apporter des solutions concrètes. Cette technologie couvre de nombreux domaines d'application, comme la surveillance, l'analyse prédictive, les soins de santé personnalisés, l'agriculture, l'exploitation de l'énergie. Dans ce contexte, l'agriculture apparait comme un secteur essentiel qui offre de grandes perspectives d'investissement et de mise en œuvre. [2]



Figure 1: L'Internet des Objets

I.3. Caractéristiques d'un système d'Internet des objets

Voici les principales caractéristiques de l'Internet des objets :

I.3.1. Connectivité

L'une des principales caractéristiques de l'Internet des objets est la connectivité, qui permet aux appareils de communiquer et de partager des informations entre eux. Cette fonctionnalité est essentielle pour la création de nouveaux produits et services. Grâce à la connectivité, ces objets peuvent être contrôlés à distance et échanger des données avec d'autres appareils. Les technologies sans fil telles que le Wi-Fi et le Bluetooth ont permis à l'Internet des objets de se développer rapidement, offrant de nouvelles opportunités pour les entreprises de mieux comprendre les besoins de leurs clients, d'optimiser les processus de production et de réduire les coûts. En somme, la connectivité est cruciale pour l'Internet des objets, car elle permet aux objets de partager des données et de communiquer entre eux, offrant ainsi de nouveaux avantages et services pour les entreprises et les consommateurs.[3]

I.3.2. L'identité des objets et des appareils

L'identité joue un rôle crucial dans l'Internet des objets en permettant d'identifier de manière unique chaque objet connecté. Cela permet aux objets d'être distingués les uns des autres et de garantir la collecte et la transmission précises des données. L'identité de l'appareil IoT est définie par un numéro d'identification unique et un nom, et peut être utilisée pour le contrôle de l'appareil à distance. Par exemple, l'adresse IP d'un appareil peut servir d'identifiant unique pour identifier l'appareil sur un réseau. Cette caractéristique est essentielle pour assurer que les objets connectés fonctionnent de manière optimale et que les données qu'ils collectent sont fiables. En somme, l'identité est un élément clé de l'IoT, car elle permet de distinguer les objets connectés et de garantir leur gestion et leur utilisation efficaces.[3]

I.3.3. Données

La troisième caractéristique de l'Internet des objets repose sur l'interconnexion des dispositifs permettant le partage et la collecte de données. Cette fonctionnalité présente des avantages significatifs, notamment pour les utilisateurs de dispositifs de fitness et de bien-être, mais également pour les entreprises à la recherche d'une meilleure gestion des stocks et du personnel. Les données collectées peuvent être utilisées pour prévoir des événements futurs et pour optimiser les performances des dispositifs. Cependant, pour que ces informations aient un réel impact, une analyse approfondie est nécessaire pour obtenir des renseignements exploitables. En somme, l'aspect collaboratif de l'IoT permet d'exploiter les données de manière cohérente et efficace pour aider les consommateurs et les entreprises à prendre des décisions plus éclairées.[3]

I.3.4. Intelligence

L'une des principales caractéristiques de l'Internet des objets est son intelligence, qui repose sur les capteurs et les dispositifs intelligents interconnectés. Ces dispositifs sont équipés de logiciels complexes et interagissent entre eux pour collecter, traiter et analyser une grande

quantité de données. La qualité de l'IoT est directement liée à l'intelligence des dispositifs qui le composent. Ainsi, pour garantir le fonctionnement optimal de votre appareil IoT, il est recommandé de le mettre régulièrement à jour avec les derniers logiciels et micrologiciels disponibles. En d'autres termes, la maintenance régulière est essentielle pour maintenir l'intelligence fonctionnelle de l'IoT.[3]

I.3.5. Communication

La communication est donc une caractéristique primordiale de l'IoT, qui permet aux appareils de communiquer entre eux et de se connecter à un réseau, même si certains d'entre eux n'y sont pas directement reliés. Cette faculté de communication permet à l'IoT d'être plus efficace et évolutif que les autres technologies existantes. En somme, la communication entre appareils est une caractéristique clé pour garantir un fonctionnement optimal de l'IoT.[3]

I.3.6. Évolutivité

La sixième caractéristique clé de l'IoT est l'évolutivité, qui est de plus en plus importante compte tenu de l'expansion croissante de cette technologie. Elle implique la capacité d'un système à se développer sans altérer ses performances. Pour y parvenir, on peut ajouter des ressources matérielles ou des couches logicielles supplémentaires. En d'autres termes, l'IoT doit pouvoir aborder sans encombre une croissance importante en nombre d'utilisateurs et de données.

L'IoT offre de nombreuses possibilités et peut s'adapter à différents domaines professionnels. Pour cette raison, il est crucial de considérer l'évolutivité lors de la conception de votre système pour garantir une expansion sans compromettre les performances. En somme, une conception évolutive permet à votre système IoT de répondre aux besoins d'une croissance continue de votre entreprise.

Par exemple, si vous êtes une chaîne hôtelière, vous pouvez utiliser l'IoT pour savoir dans quelle chambre se trouvent vos clients et quelles commodités ils ont utilisées. L'IdO n'est pas seulement destiné aux grandes entreprises. Si vous êtes propriétaire d'une petite entreprise, l'IdO pourrait vous aider à augmenter vos ventes en envoyant des offres ciblées à vos clients.[3]

I.3.7. Écosystème commun

Dans l'internet des objets, il existe de nombreux fabricants et produits qui utilisent l'architecture pour prendre en charge leurs propres appareils. Avec l'augmentation du nombre de dispositifs, l'importance de l'architecture est hétérogène ; capacité à prendre en charge diverses technologies, protocoles et dispositifs.

L'architecture IoT est principalement chargée de s'assurer que les appareils fonctionnent ensemble et communiquent entre eux. Elle est également un élément clé pour s'assurer que les dispositifs n'interfèrent pas les uns avec les autres.[3]

I.3.8. Sécurité

La sécurité est une caractéristique clé de l'IoT en raison de l'augmentation des appareils connectés et des cyberattaques. Pour assurer une sécurité optimale, il est important de prendre

en compte la sécurité M2M et IoT lors du développement de produits ou services liés à cette technologie. L'IoT comporte des risques potentiels tels que la collecte et le partage non autorisés de données personnelles, la vie privée, la propriété des données et les risques de piratage.[3]

I.4. Les avantages et inconvénients de l'IoT

I.4.1. Les avantages d'IOT

I.4.1.1. Accès facile

L'IoT offre de nombreuses applications en temps réel et nécessite un smartphone avec une connectivité Internet pour fonctionner. Il permet de rendre notre vie plus intelligente en synchronisant plusieurs dispositifs. L'exemple d'un réfrigérateur connecté à l'IoT peut facilement identifier lorsque vous manquez de produits de base et contacter le supermarché pour une livraison. En fin de compte, l'IoT simplifie notre vie grâce à son accès facile.[4]

I.4.1.2. La technologie sans fil transforme les villes en villes intelligentes

Par exemple, Les appareils IoT sont capables de gérer les lampadaires et de les automatiser pour éviter tout gaspillage d'énergie. Par exemple, l'éclairage public s'allumera automatiquement la nuit et s'éteindra en journée. L'IoT peut également être utilisé pour surveiller les vibrations des bâtiments et des ponts afin de détecter les surcharges. Ces exemples démontrent comment cette technologie sans fil permet de transformer les villes en villes intelligentes.[4]

I.4.1.3. Facilite la communication

L'IoT est essentiellement une communication de machine à machine, ce qui rend l'automatisation plus facile et possible. L'IoT est essentiellement une version avancée du M2M dans laquelle les consommateurs peuvent également communiquer avec ces appareils pour contrôler et automatiser les services. Selon les calculs de Cisco, les connexions M2M prenant en charge les applications IoT représentent plus de la moitié du total de 27,1 milliards d'appareils et de connexions.[4]

I.4.1.4. Amélioration des processus

L'un des principaux avantages des déploiements de l'IoT est l'amélioration des processus, qui peut influencer de manière significative les résultats d'une opération. Par exemple, dans l'agriculture de précision, les capteurs et les systèmes connectés améliorent l'irrigation et permettent une automatisation en fonction des relevés des capteurs pour les conditions du sol et la météo. De même, les services publics tirent également parti de l'IoT pour améliorer la logistique en permettant une localisation rapide et précise de l'endroit où le service est nécessaire, ce qui réduit les déplacements inutiles en camion vers les sites éloignés.[5]

I.4.1.5. Réduction des coûts

La réduction des coûts est l'un des avantages les plus surprenants des projets de l'IoT. Les organisations peuvent améliorer le temps de fonctionnement de leurs systèmes, automatiser leurs processus, réduire les risques de défaillance et de perte de revenus, obtenir des

informations pour une meilleure prise de décision, ainsi que réduire les exigences en termes de ressources et de temps pour le personnel, ce qui entraîne une efficacité accrue et des économies de coûts. Bien que des coûts initiaux soient impliqués dans l'acquisition, la configuration et le déploiement d'un système IoT, l'avantage de l'efficacité et des économies de coûts permet un retour sur investissement rapide.[5]

I.4.2. Inconvénients de IOT

I.4.2.1. La gestion des capteurs

Selon une équipe de l'ETH de Zurich, du fait des smartphones puis du nombre croissant d'objets connectés, en dix ans (2015-2025), 150 milliards d'objets devraient se connecter entre eux, avec l'Internet et avec plusieurs milliards de personnes. La gestion des capteurs, deviendra donc problématique.[6]

I.4.2.2. La consommation électrique

Les objets connectés consomment beaucoup d'énergie. D'ici à 2050, le nombre d'objets connectés en circulation, deviendra considérable, par conséquents, la réponse à leurs besoins énergétiques sera difficile.[6]

I.4.2.3. La gestion des données

L'IOT tend à créer un océan de data gérable uniquement grâce à l'Intelligence Artificiel. Par exemple, sur un avion de ligne, il y a 20 000 capteurs et une simple turbine d'A380, fournit 10G de données à chaque vol, de ce fait, y aura des problèmes de gestion de ces milliards de données.[6]

I.5. Les composants l'IoT

Une solution d'IoT s'articule autour de 5 composants essentiels que sont :

- Les objets (capteurs)
- Le réseau (connectivité)
- Les données
- Les informations
- Les applications d'exploitation.

I.5.1. Les objets pour capter des données de valeur

Les objets sont, selon nous, tous les équipements actifs ou passifs pouvant générer de la donnée exploitable et créatrice de valeur pour les utilisateurs. Les objets sont composés d'éléments passifs : les capteurs, et pour certains d'éléments actifs les rendant capables de traitements d'enrichissement de la données et de transmission de celle-ci.

Les données sont aussi diverses que les métiers. Nous pouvons aussi bien avoir des données de température, d'humidité, de positionnement, de temps de fonctionnement, de niveau, d'alerte…

Prenons le cas d'un simple capteur de température : il doit être relié à un automate ou une carte de communication afin de traiter son signal et de le transmettre à travers un réseau.[7]

I.5.2. Les réseaux pour transmettre les données

Les réseaux sont le maillon prépondérant d'un projet d'IoT, ils doivent répondre à un critère d'usage.

Toutes les technologies ne sont pas adaptées à tous les cas d'usages et leur déploiement. Je propose ici de faire un rapide tour d'horizon de quelques technologies.

I.5.3. Les LPWAN : Sigfox et LoRaWAN

Dans la catégorie des technologies IoT, deux technologies d'origine française populaires sont SIGFOX et LoRaWAN, toutes deux étant des réseaux à longue portée et faible consommation. Bien qu'elles soient regroupées dans la même catégorie, elles ne sont pas identiques. Les réseaux SIGFOX et LoRaWAN permettent d'envoyer des messages de petite taille avec un taux de pénétration élevé. Le réseau LoRaWAN est basé sur une technologie standardisée, utilisant deux bandes de fréquences. Ce réseau est facilement déployable par les opérateurs de téléphonie et les industriels peuvent mettre en place leur propre réseau privé. D'autre part, le réseau SIGFOX est opéré par l'unique opérateur et concepteur, et utilise également les mêmes bandes de fréquence. Chaque module de communication est validé et certifié par l'opérateur. [7]

I.5.4. Le M2M

Avec le M2M (Machine to Machine), il s'agit tout simplement d'utiliser des réseaux télécom existants à savoir de la 2G jusqu'à la 4G. Majoritairement, il s'agit d'abonnements souscrits auprès des opérateurs de téléphonie pouvant donner accès uniquement à des volumes de données.

Le modèle économique actuel, avec un volume de données mensuel limité, commence à évoluer vers un service de type « Pay As You Use » soit un paiement à l'usage.[7]

I.5.5. La RFID

Tout d'abord, il est important de savoir qu'il existe deux technologies de RFID, la RFID active et la RFID passive. Ce qui les distingue est l'objet qui émet le signal.

Dans la RFID passive, le Tag est une simple antenne qui est activée dès lors qu'elle se trouve à portée d'un émetteur. C'est typiquement ce que l'on retrouve dans beaucoup de systèmes antivol dans les magasins. L'étiquette que vous devez couper est un Tag RFID et les portiques de sécurité sont des émetteurs. C'est aussi un système que beaucoup utilisent quotidiennement pour le contrôle d'accès ou les pointeuses mais aussi pour un nouvel usage de consommation : le paiement sans contact.

Pour ce qui est de la RFID active, il s'agit d'objets comprenant un tag et capables d'émettre le signal à proximité d'un autre objet RFID. L'intérêt de de cette technologie est d'étendre la portée du signal à quelques mètres. Reprenons une application que tout le monde

connaît, votre badge télépéage. Il est composé d'une pile, d'une antenne. Lorsque vous passez à proximité d'une barrière, votre badge envoie son identifiant.

Il est important de comprendre que la RFID est une technologie qui ne se suffit pas à elle-même, elle doit absolument être couplée à une autre technologie pour pouvoir collecter et stocker les données. [7]

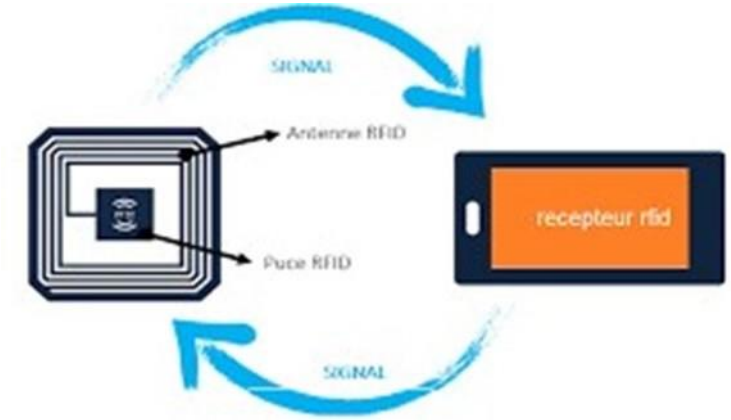


Figure 2: Principe de fonctionnement de la RFID.[7]

I.5.6. Le Bluetooth

Le Bluetooth, est une technologie connue et maitrisée par tous depuis maintenant une dizaine d'années. Il s'agit d'une technologie radio de moyenne portée (environ 10m) qui permet d'envoyer des messages de grande taille et en grande quantité. Cependant, cette connectivité ne se suffit pas à elle-même car elle nécessite une tierce technologie pour transférer et stocker les données. D'autre part, il s'agit d'un moyen de communication disposant d'un grand débit, puisqu'il repose sur la bande de fréquence 2,4 GHz tout comme le Wifi.

Prenons l'exemple de montres de sport connectées. Vous pouvez synchroniser vos activités avec votre téléphone, mais c'est le réseau mobile qui fait le lien avec la plate-forme cloud du fabricant pour stocker et exploiter vos données.[7]

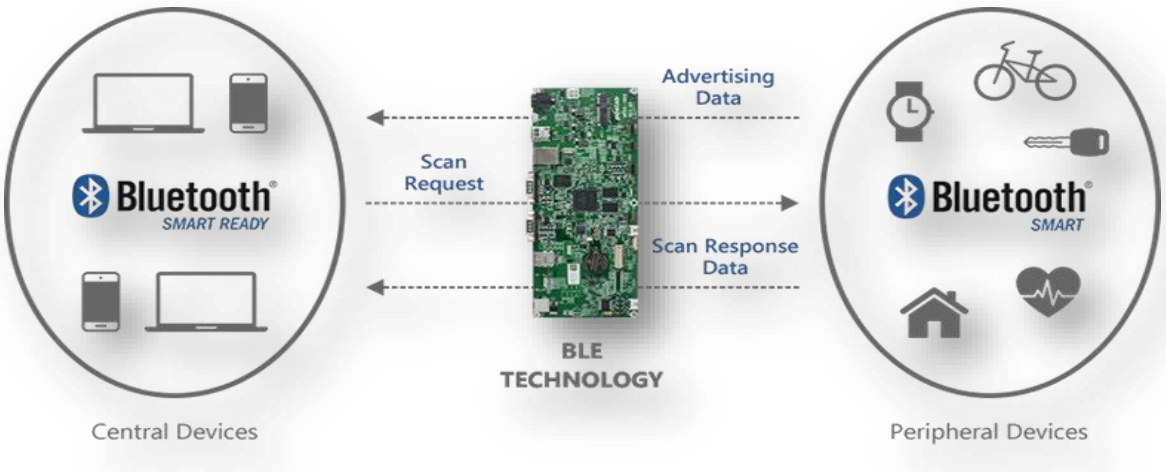


Figure 3: Fonctionnement de la technologie Bluetooth Low Energy.[8]

I.5.7. Les données

Dans un projet d'IoT, les données sont nos diamants bruts. Il s'agit surtout des éléments bruts que nous récoltons depuis les objets ou les outils de process industriels pour l'IoT.

Afin de créer de la valeur pour les utilisateurs de ces données, il est absolument nécessaire de les stocker, archiver et sauvegarder dans des bases de données et de correctement structurer cette dernière. En effet une base de données correctement structurée améliorera la performance des services IoT d'exploitation. [7]

I.5.8. Les informations

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

Un exemple très simple que nous utilisons fréquemment :

Le capteur de votre porte d'entrée donne une donnée : PORTE OUVERTE OU FERMÉE

Nous disposons d'une donnée universelle : L'HEURE

L'information sera de vous ALERTER : « votre porte est ouverte et à cette heure ce n'est pas normal ». Nous avons corrélé deux données, le capteur de porte et l'heure, pour générer une information. [7]

I.5.9. Les applications d'exploitation pour la surveillance et la prise de décision

Les applications d'exploitation sont en principe les interfaces Homme-machine (IHM) dans lesquelles nous pouvons visualiser les données sous forme de tableau de bord.

Nous retrouvons des outils tels que des graphiques, des tableaux de données, des rapports… Cependant pour nous, ces bibliothèques d'objets ne suffisent pas à faire une bonne application d'exploitation. Aussi, nous avons développé, des mécanismes complémentaires tels que l'alerting par mail ou SMS à des équipes d'exploitation afin d'intervenir sur des incidents ou pour des dépassements de seuils. Pour cela, nous avons également mis en place des mécanismes de comparaison entre les mesures reçues et des constantes ou entre un jeu de mesure…

Enfin les applications d'exploitation sont accessibles à travers des appareils mobiles tels que les smartphones et les tablettes. [7]

I.6. Domaines d'applications de L'IoT

L'Internet des Objets, est utilisé, partout, dans tous les domaines possibles, et tout secteur d'activité, On peut donc citer quelques exemples :[9]

I.6.1. Les transports

Depuis la création de l'IoT en 1999, le nombre des véhicules intelligents sont en croissance, presque Tous les véhicules vendus aujourd'hui dans le monde renferment déjà des capteurs et de moyens de communication pour traiter la congestion du trafic, la sécurité, la pollution et le transport efficace des marchandises, etc.

L'objectif est qu'une voiture soit capable de communiquer de façon autonome avec d'autres véhicules ou une centrale de surveillance pour prévenir les accidents et réduire les coûts d'assurance.

Des applications Smartphone (comme Waze) sont déjà très répandues dans le monde pour avertir les usagers de l'application en temps réel sur la présence d'un radar de vitesse mobile, d'accidents ou de ralentissement sur les autoroutes voire de proposer un itinéraire plus rapide à l'aide de Google Maps.

Certaines voitures sont également équipées de la fonction appel SOS.

Si la voiture subit un accident, elle appelle automatiquement les secours, fournit sa localisation et la possibilité de communiquer avec les usagers. Cette option devient même obligatoire dans les voitures neuves commercialisées dans l'union européenne à compter du 1er avril 2018

Les constructeurs automobiles travaillent aussi sur des projets de véhicules autonomes (sans conducteur) capables de se déplacer d'un point A à un point B sans aucune intervention humaine.

I.6.2. La santé

Le secteur de la santé a connu un très grand nombre d'applications permettant à un patient et à son docteur de recevoir des informations, parfois même en temps réels, qu'il aurait été impossible de connaître avant l'apparition d'IoT.

Par exemple, (Porteuse Digital Health) qui est le premier médicament connecté sur le marché grâce à un capteur directement intégré dans l'être humain qui permet après ça le suivi des patients à distance.

Il existe Plusieurs autres dispositifs sont disponibles, fixé autour du poignet et permettent également de suivre l'activité physique quotidienne du patient, mesurer le taux de sucre, compter le nombre de pas, les kms parcourus, le nombre de calories brûlées…,

Le dispositif lui envoie une alerte dans les cas anormaux.

Récemment, Goldman Sachs a publié une étude qui prouve que l'Internet des Objets pourrait faire économiser des milliards de dollars au service de santé américain

I.6.3. La domotique

La domotique regroupe l'ensemble des technologies permettant l'automatisation des équipements d'un habitat.

Elle vise à apporter des fonctions de confort : commandes à distance, gestion d'énergie (optimisation de l'éclairage et du chauffage… etc.), sécurité (comme les alarmes) et de communication (contacts et discussion avec des personnes extérieures)

Les services offerts par la domotique couvrent 3 domaines principaux :

Assurer la protection des personnes et des biens en domotique par la prévenir des risques d'accident (incendie, fuite de gaz, etc.).

Confort de la vie quotidienne surtout pour les personnes âgées ou handicapées

Faciliter les économies d'énergie grâce à la réactivité maîtrisée d'une maison intelligente.

I.6.4. Agriculture

L'agriculture intelligente a pour objet de renforcer la capacité des systèmes agricoles, de contribuer à la sécurité alimentaire en intégrant le besoin d'adaptation et le potentiel d'atténuation dans les stratégies de développement de l'agriculture durable

Cet objectif a été atteint enfin par l'utilisation des nouvelles technologies, telles que l'imagerie satellitaire et l'informatique, les systèmes de positionnement par satellite de comme GPS, aussi par l'utilisation des capteurs qui vont s'occuper de récolter les informations utiles sur l'état du sol, taux d'humidité, taux des sels minéraux, etc. et envoyer ces informations au fermier pour prendre les mesures nécessaires garantissant la bonne production.

I.6.5. L'industrie 4.0

L'Internet des objets a révolutionné le monde de l'industrie manufacturière. Le fait de connecter la chaîne de valeur permet une réduction majeure des inefficacités liées à la gestion des ressources, aux arrêts non planifiés et à la logistique non optimisée. Au début, les premières implémentations des systèmes IoT au sein des manufactures offraient aux opérateurs une transparence et une accessibilité à l'état de la production. Le développement de ces technologies et des disciplines connexes telles que l'intelligence artificielle, a permis au rôle de l'IoT de migrer d'un simple outil de suivi à un outil de gestion automatisée où les programmes informatiques dictent la cadence des machines et suggèrent de nouvelles planifications de production.[10]

I.6.6. La ville intelligente

La ville intelligente est un des cas phares du déploiement des technologies de l'Internet des objets en milieu urbain. Équiper les villes de capteurs et d'équipements autonomes leur permet de gagner en efficacité. Dans un contexte de ville intelligente, plusieurs capteurs sont déployés à différents endroits pour relever un large spectre de données démographiques (liées à l'achalandage, à l'empreinte de carbone, au niveau sonore, etc.). Cette collecte permet de constituer un panorama clair de la dynamique de la ville et de comprendre l'évolution de ses besoins.

Des données factuelles et à jour permettent de gérer davantage les flux d'achalandage, de prévenir les dégagements excessifs de CO2, de mieux organiser les ressources disponibles (p. ex. la gestion intelligente des déchets) et de mieux déployer les ressources humaines à la disposition de la ville.[10]



Figure 4: Domaines d'application de l'IoT.

I.7. Conclusion

Finalement, nous avons fourni une vue d'ensemble de l'IoT, en définissant son concept, en expliquant ses caractéristiques, les avantages et inconvénients, les composant ainsi les domaines d'application.

En somme, l'IoT est une technologie qui vise à améliorer la qualité de vie en automatisant les tâches quotidiennes en fonction des besoins et des attentes de l'utilisateur.

Chapitre II :

Etude théorique sur l'intégration des technologies avancées dans le domaine Agricole

II.1. Introduction

L'agriculture est l'un des piliers de notre économie et de notre subsistance, mais elle est également confrontée à de nombreux défis tels que le changement climatique, la raréfaction des ressources en eau et la pression croissante de la demande alimentaire. Pour répondre à ces défis, L'agriculture intelligente utilise des technologies avancées telles que : Big Data, l'Internet des objets, etc. Elle facilite l'automatisation de l'agriculture, la collecte des données sur le terrain et l'analyse afin que les agriculteurs puissent prendre une décision précise en matière de production de cultures de haute qualité.

L'une de ces technologies est la serre intelligente, qui utilise des capteurs et des systèmes d'irrigation automatisés pour optimiser la croissance des cultures à l'intérieur d'une serre.

Dans ce chapitre, nous parlons de l'agriculture intelligente en générale et des serres intelligentes en particulier.

II.2. Agriculture intelligente

II.2.1. Définition

L'agriculture intelligente est une pratique de production agricole qui consiste à utiliser des technologies telles que l'IdO, la robotique, les drones et l'IA, entre autres, pour gérer les exploitations agricoles, augmenter la production et réduire les impacts environnementaux. L'objectif de l'agriculture intelligente est d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles tout en optimisant le travail humain afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles.

Les exploitations et les sites agricoles qui utilisent des techniques d'agriculture intelligente sont appelés "fermes intelligentes". Ces exploitations utilisent généralement de nouveaux outils tels que des capteurs qui surveillent les conditions météorologiques 24 heures sur 24 et des applications d'inspection mobiles qui aident les agriculteurs à améliorer leurs pratiques agricoles afin d'augmenter leur production tout en favorisant la durabilité et en maintenant la qualité des produits.[12]

II.2.2. Domaines de l'agriculture intelligente

L'agriculture intelligente face au climat englobe divers domaines qui visent à améliorer la productivité des producteurs et renforcer la résilience des exploitations agricoles, Voici quelques-uns des principaux domaines de l'agriculture intelligente :

- **Agriculture de précision**

L'agriculture de précision est une stratégie de gestion moderne qui tire parti des avancées numériques pour optimiser les processus de production dans le secteur agricole. Elle repose sur la mesure des variations des conditions spécifiques des champs et des troupeaux pour adapter les stratégies de fertilisation et d'alimentation en conséquence. Avec l'agriculture de précision, la qualité et la quantité de la production agricole sont optimisées tandis que l'utilisation des intrants tels que l'eau, l'énergie, les engrais et les pesticides est réduite de façon significative.

Cette approche s'appuie sur l'utilisation de technologies de pointe de détection, de navigation par satellite et de l'Internet des objets. De plus en plus répandue en Europe, l'agriculture de précision permet aux agriculteurs d'optimiser leur travail tout en produisant des aliments de manière plus efficace et respectueuse de l'environnement. [13].



Figure 5: Agriculture de précision

- **Gestion des Cultures**

L'évaluation des impacts climatiques permet de définir des stratégies intelligentes adaptées à chaque territoire ou communauté agricole. Par exemple, des pratiques comme la plantation de plantes de couverture, le paillage, ou la construction de systèmes de drainage peuvent être mises en place pour améliorer la productivité et la résilience des cultures.[14]

- **Irrigation :**

L'adoption de techniques d'irrigation intelligentes, telles que l'irrigation goutte à goutte, peut contribuer à résoudre les problèmes de stress hydrique et d'excès d'eau, en favorisant une utilisation efficace de l'eau et en protégeant les cultures contre les inondations.[14]

- **Surveillance et gestion du bétail :**

Il existe des capteurs IoT qui peuvent être attachés aux bêtes afin de surveiller leur santé, enregistrer leurs performances et les localiser. Par exemple, ces capteurs peuvent identifier les animaux malades afin que vous puissiez les séparer du troupeau et éviter la contamination. L'utilisation de drones pour le suivi du bétail en temps réel vous aide également à réduire vos dépenses de personnel.[15]

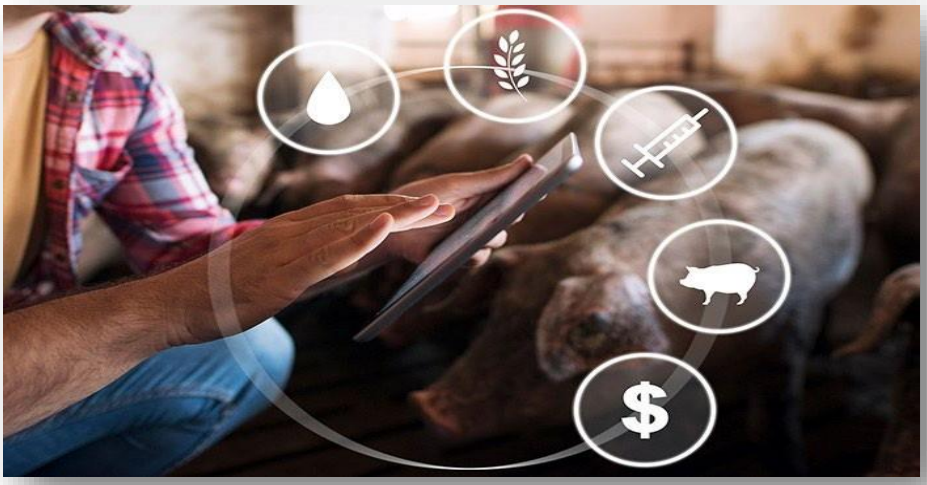


Figure 6: Illustration des techniques utilisées pour le Contrôle de bétail

❖ **Serres intelligentes :**

La serre connectée utilise la dernière technologie de l'Internet des objets pour optimiser la production agricole. Grâce à cela, elle est capable de collecter et d'analyser en temps réel les indicateurs bioclimatiques de l'environnement dans la serre, ce qui permet d'appliquer automatiquement, semi-automatiquement ou manuellement les mesures et actions nécessaires pour maintenir les conditions environnementales idéales pour la croissance des plantes.



Figure 7: Vue d'une Serres intelligentes équipée d'un système pour maximiser l'efficacité énergétique via l'utilisation de TIC.

II.3. Serre intelligente

II.3.1. Définition

Une serre intelligente est un environnement agricole contrôlé et automatisé par des technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, l'Internet des objets (IoT) et la domotique. Ces serres utilisent des capteurs pour surveiller et ajuster en temps réel des paramètres tels que la température, l'humidité, le CO2, etc., afin de créer des conditions climatiques optimales pour la croissance des plantes. Elles intègrent des systèmes de contrôle automatisés pour la ventilation, l'irrigation, le chauffage, et parfois même l'aquaponie, permettant une production agricole plus efficace, durable et rentable, tout en réduisant l'impact environnemental.il existe plusieurs types de serre qui déférent par le format, et les structure et les matériaux telle que : La serre chapelle et La serre tunnel.

II.3.2. Les bénéfices de serre intelligente

Les serres intelligentes offrent plusieurs bénéfices significatifs qui les distinguent des serres traditionnelles. Voici une synthèse des avantages clés des serres intelligentes :

- Environnement de Croissance Stable : Les serres intelligentes fournissent un environnement de croissance stable pour les cultures agricoles, les protégeant des variations climatiques externes.[16]
- Optimisation de la Production : Grâce à un contrôle entièrement mécanisé et précis des données, les serres intelligentes permettent une croissance optimale des cultures, augmentant ainsi les rendements de manière significative.[16]
- Réduction de la Consommation d'Energie : Les serres intelligentes intègrent des technologies avancées pour réduire la consommation d'énergie, ce qui les rend plus efficaces sur le plan énergétique.[17]
- Protection des Plantes : Ces serres protègent les plantes contre les températures extrêmes, les maladies et d'autres facteurs environnementaux nuisibles, assurant ainsi une croissance saine des cultures.[18]
- Automatisation et Connectivité : Les serres intelligentes sont équipées de systèmes automatisés et de connectivité à distance, permettant un contrôle facile des conditions de croissance et une gestion efficace des cultures.[18]



Figure 8: Vue de la serre intelligente équipée d'un ensemble de technologie avancée, l'utilisateur peut gérer la serre via une tablette

II.3.3. Condition environnementales des serres

La progression des plantes dans les serres implique certaines conditions climatiques spéciales. Dans ce qui suit, on présente d'une manière générale ces conditions :

- **Lumière :** La plupart des légumes nécessitent au moins 8 heures de lumière par jour pour produire de manière satisfaisante. Dans des zones très nuageuses ou durant les courtes journées d'hiver, un éclairage supplémentaire devant être nécessaire.[18]
- **Gaz carbonique :** Le dioxyde de carbone (CO2) est un élément essentiel de la photosynthèse, un processus qui permet aux plantes vertes de transformer l'énergie lumineuse en eau et en sucre. Les producteurs souhaitent généralement augmenter le rendement de leur récolte tout en minimisant les coûts, et le CO2 peut aider en améliorant la croissance et la force des plants. L'ajout de CO2 peut entraîner une augmentation de la productivité en favorisant une floraison précoce, en augmentant le rendement en fruits, en évitant la chute prématurée des boutons de roses ou en améliorant la vitalité des tiges et la taille des fleurs.[18]
- **Mouvement de l'air :** La circulation de l'air est également un élément essentiel qui influe sur le développement des plantes en influençant les transferts d'énergie, la transpiration et l'absorption de CO2. Ces facteurs ont un impact sur la taille des feuilles, la croissance de la tige et les rendements. En augmentant la vitesse du vent de 10 à 100 centimètres par seconde, le taux de photosynthèse peut être amélioré jusqu'à 40 %.[18]
- **Humidité :** l'humidité de l'air et celle du sol sont deux facteurs importants pour la croissance des plantes.[18]
- **Température :** Il est important de respecter les normes de température pour le milieu intérieur et extérieur, le sol et l'eau, afin de sélectionner les plantes appropriées pour

votre serre. Les serres sont généralement classées en quatre groupes en fonction de la température hivernale, en tenant compte des conditions climatiques de votre région.[18]

II.3.4. Comment les serres intelligentes régulent-elles les conditions environnementales ?

Les serres intelligentes régulent les conditions environnementales en utilisant des technologies avancées pour surveiller et ajuster automatiquement des paramètres clés tels que la température, l'humidité, la lumière et la ventilation. Ces systèmes intelligents intègrent des capteurs qui collectent des données en temps réel sur ces conditions. En fonction de ces données, des actionneurs sont activés pour modifier l'environnement de culture. Par exemple, si la température devient trop élevée, le système peut déclencher un refroidissement automatique en activant des ventilateurs ou en ouvrant des fenêtres pour maintenir des conditions optimales de croissance. De même, si l'humidité est trop basse, le système peut déclencher l'irrigation pour augmenter l'humidité ambiante. En combinant ces ajustements précis et automatisés, les serres intelligentes créent un environnement idéal pour favoriser la croissance des plantes et maximiser les rendements agricoles tout en réduisant les impacts environnementaux.[21]

II.3.5. Comment installer une serre ?

Pour installer une serre de manière efficace et sécurisée, voici les étapes clés à suivre :

II.3.5.1. Choix de l'Emplacement

Optez pour un endroit bien exposé au soleil, à l'abri du vent et dégagé de tout obstacle qui pourrait bloquer la lumière. Une orientation plein sud est idéale pour profiter de la lumière naturelle.[20]

II.3.5.2. Préparation du Sol

Assurez-vous que le sol est plat et stable. Si nécessaire, préparez une base solide en utilisant du sable ou une dalle en béton pour fixer la serre au sol.[19]

II.3.5.3. Fixation de la Serre

Utilisez des accessoires de fixation adaptés au type de sol sur lequel vous installez la serre. Des ancrages sont essentiels pour assurer la stabilité et éviter que la serre ne s'envole.[20]

II.3.5.4. Assemblage de la Structure

Suivez les instructions spécifiques à votre modèle de serre pour assembler correctement la structure. Veillez à renforcer la structure en fixant les renforts diagonaux et les entretoises.[20]

II.3.5.5. Installation de la Bâche ou du Verre

Une fois la structure prête, procédez à l'installation de la bâche ou du verre en suivant les étapes recommandées par le fabricant. Assurez-vous que la bâche est tendue et fixée correctement.[20]

II.3.5.6. Finalisation et Entretien

Terminez l'installation en vérifiant que tout est solidement fixé et en place. Pensez à entretenir régulièrement votre serre pour assurer sa durabilité et son bon fonctionnement. En suivant ces étapes avec soin, vous pourrez installer votre serre de jardin de manière efficace et profiter d'un environnement optimal pour vos plantes tout au long de l'année.[20]

II.3.6. Les composants et les outils d'une serre intelligente :

Les composants et outils d'une serre intelligente comprennent une variété d'équipements et de technologies essentiels pour surveiller et réguler l'environnement de culture de manière automatisée. Voici les principaux composants et outils d'une serre intelligente :

- **Les capteurs :** Ils mesurent des paramètres tels que la température, l'humidité, la lumière, le CO2, etc
- **Actionneurs :** Ils permettent d'ajuster les conditions environnementales en fonction des données des capteurs.
- **Système de contrôle automatisé :** Ils analysent les données des capteurs et activent les actionneurs pour réguler l'environnement.
- **Systèmes d'irrigation :** Les systèmes d'irrigation dans une serre intelligente offrent des solutions automatisées pour une gestion efficace de l'eau et des nutriments des plantes. Ces systèmes comprennent diverses techniques telles que l'irrigation sub-irrigation «Ebb & Flow», l'irrigation souterraine, l'irrigation par micro-aspersion, et l'arrosage automatisé par gravité. Ils permettent une distribution précise de l'eau et des nutriments directement à la racine des plantes, favorisant ainsi une croissance optimale tout en économisant ces ressources. De plus, l'automatisation de l'irrigation dans les serres intelligentes, grâce à des capteurs et des systèmes de contrôle, permet une gestion personnalisée et efficace de l'eau en fonction des besoins réels des plantes, réduisant ainsi la consommation d'eau jusqu'à 50% et améliorant les rendements agricoles.[22]



Figure 9: Systèmes d'irrigation dans la serre intelligente.

- **Systèmes de ventilation :** ils sont essentiels pour maintenir des conditions optimales de croissance des plantes. Ces systèmes assurent un renouvellement efficace de l'air, contrôlent l'humidité et la température, favorisant ainsi des cultures saines et productives. Ils permettent de réguler le flux d'air entrant et sortant de la serre, assurant ainsi un environnement optimal pour la croissance des plantes.



Figure 10: Illustration de technique de ventilation dans la serre intelligente

- Systèmes de chauffage : les systèmes de chauffage sont d'une importance essentielle pour garantir que les plantes bénéficient des conditions de croissance idéales, particulièrement dans des contextes où les températures peuvent fluctuer. Les serres intelligentes peuvent être chauffées de différentes manières, notamment par des radiateurs à air chaud fonctionnant au gaz naturel, à l'essence ou au diesel. Certains modèles peuvent également utiliser des systèmes électriques contrôlés par thermostat pour délivrer de la chaleur uniquement lorsque nécessaire.[23]
- Systèmes de refroidissement : Les systèmes de refroidissement dans une serre intelligente peuvent inclure plusieurs options telles que la ventilation naturelle, les échangeurs de chaleur, les climatiseurs, par brouillard, les toitures rétractables et les stores automatiques. Ils sont utilisés pour maintenir des températures confortables et des niveaux d'humidité appropriés pour les plantes en fonction de la taille de la serre, des cultures cultivées et des conditions environnementales locales.[24]



Figure 11: Système de refroidissement par brouillard

II.4. Conclusion

A la fin, dans ce chapitre nous avons discuté globalement sur l'agriculture intelligente, puis nous avons introduit en détaille les serre automatisés avec leur bénéfices et leurs conditions environnementales et de quelle manière les serre contrôle elles, ainsi l'installation de la serre et ses principaux composant.

En résumé, la technologie de l'agriculture automatisée et intelligente a un rôle crucial dans le développement durable de l'agriculture et de l'horticulture, en offrant des solutions pour améliorer la productivité et la durabilité des cultures.

Chapitre III :

Conception d'une serre intelligente

III.1. Introduction

Dans cette phase nous allons évoquer les étapes suivi pour la conception d'une mini serre agricole automatisée, de ce fait, cette serre est équipée essentiellement par un ensemble de capteurs et de microcontrôleurs.

Dans ce chapitre nous présentons les déférentes outils utilisé et l'architecture globale du système.

III.2. Les outils utilisés

III.2.1. Microcontrôleur Arduino MEGA

L'Arduino Mega 2560 est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega2560. Elle dispose de 54 broches d'entrée/sortie numériques, dont 15 peuvent être utilisées comme sorties PWM, et de 16 entrées analogiques. La carte comprend également quatre UART (ports série matériels), un oscillateur à quartz de 16 MHz, une connexion USB, un connecteur d'alimentation, une embase ICSP et un bouton de réinitialisation. Elle contient tout ce qui est nécessaire pour soutenir le microcontrôleur, permettant aux utilisateurs de simplement la connecter à un ordinateur avec un câble USB ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une batterie pour commencer.

L'Arduino Méga 2560 est compatible avec la plupart des Shields conçus pour l'Arduino Duemilanove ou Décimal, ce qui en fait une plateforme polyvalente pour une large gamme de projets. Elle est également une mise à jour de l'Arduino Méga, offrant des fonctionnalités et une compatibilité améliorée. [25]

III.2.2. Synthèse des caractéristiques de la carte Arduino AT MEGA 2560 :

Tableau 1: les caractéristiques de la carte Arduino AT mega2560

Microcontrôleur	AT mega2560
Tension de fonctionnement (recommandée)	5V
Tension d'alimentation (limites)	7-12V
Broches E/S numérique	6-20V
Broches d'entrées analogiques	54(dont 14 disposent d'une sortie PWM)
Intensité maxi disponible par broches E/S (5V)	16(utilisables en broches E/S numérique)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	50Ma
Mémoire programme flash	Fonction de l'alimentation utilisée – 500 Ma max si port USB utilisé seul
Mémoire SRAM(mémoire volatile)	256 KB dont 8 KB sont utilisés par le boot loader
Mémoire EEPROM(mémoire non volatile)	8 KB
Vitesse d'horloge	4 KB
Tension de fonctionnement	16 MHz

L'Arduino Mega 2560 est largement utilisée dans diverses applications, notamment la robotique, l'automatisation et les projets IoT, en raison de sa large gamme d'entrées numériques et analogiques, ainsi que de sa compatibilité avec divers Shields et modules.

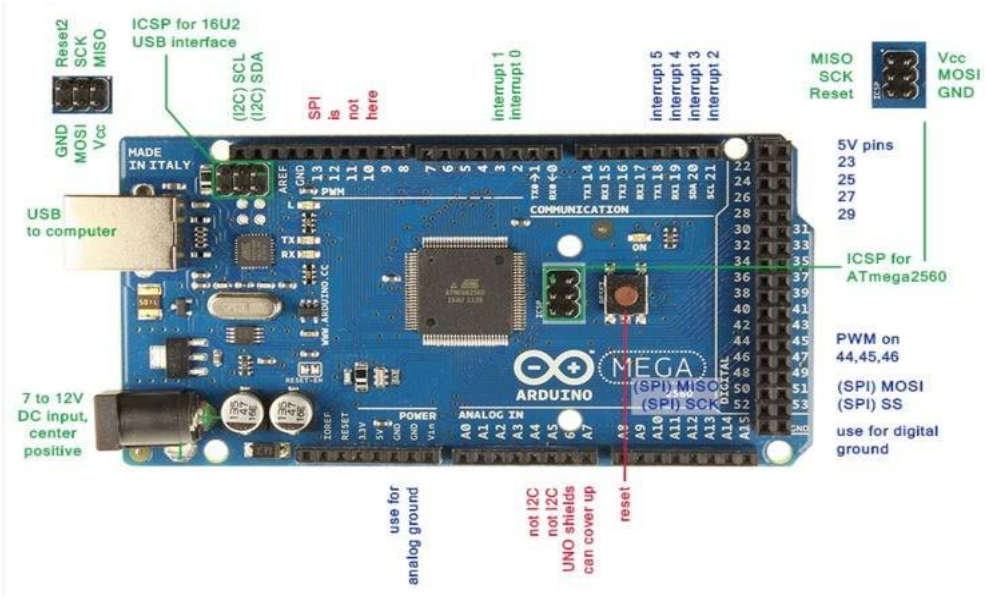


Figure 12: Arduino MEGA

III.2.3. Moteur drivers L298N

Est un driver de moteur à double pont en H qui permet le contrôle de la vitesse et de la direction de deux moteurs à courant continu simultanément. Il peut alimenter des moteurs c.c avec des tensions entre 5 et 35V, avec un courant de crête allant jusqu'à 2A, il est dispose de bornes à vis pour les moteurs A et B, ainsi que pour la masse, le VCC du moteur et une broche 5V qui peut être utilisée en entrée ou en sortie en fonction de la tension utilisée au niveau du VCC des moteurs. [26]

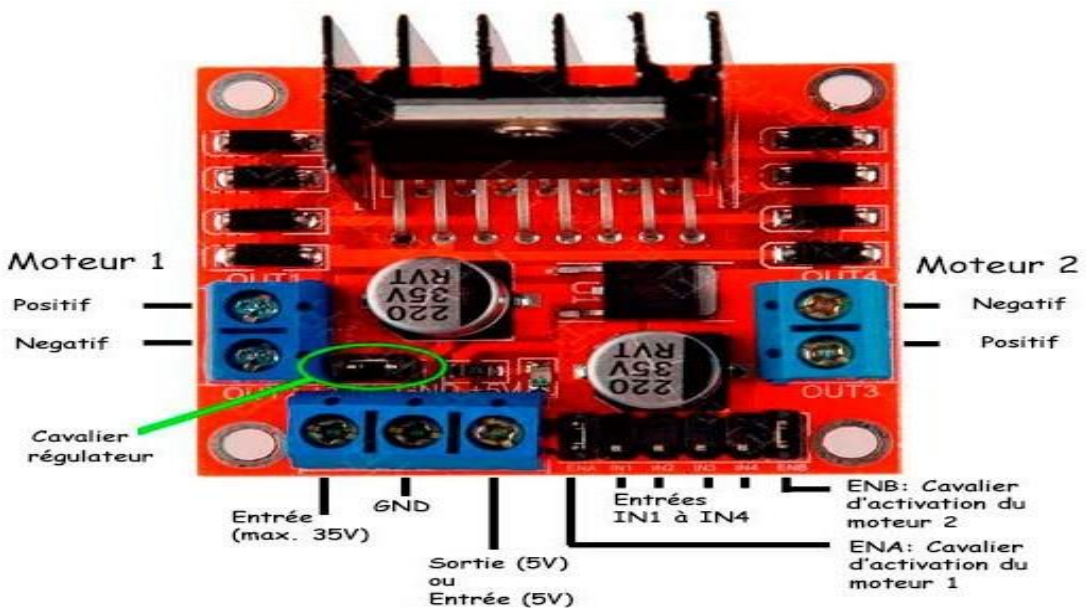


Figure 13: Moteur drivers L298N

III.2.4. Carte mémoire

La carte mémoire Arduino est un module qui permet d'ajouter un espace de stockage pour les projets à microcontrôleur, comme les cartes Arduino. Elle est connectée à l'Arduino via l'interface SPI et nécessite l'ajout d'une carte SD (non incluse). Cette carte SD est utilisée pour stocker des données, des fichiers de programme ou des informations de projet. Elle est très utile pour les projets qui nécessitent une grande quantité de stockage de données, comme les capteurs ou les systèmes de surveillance.

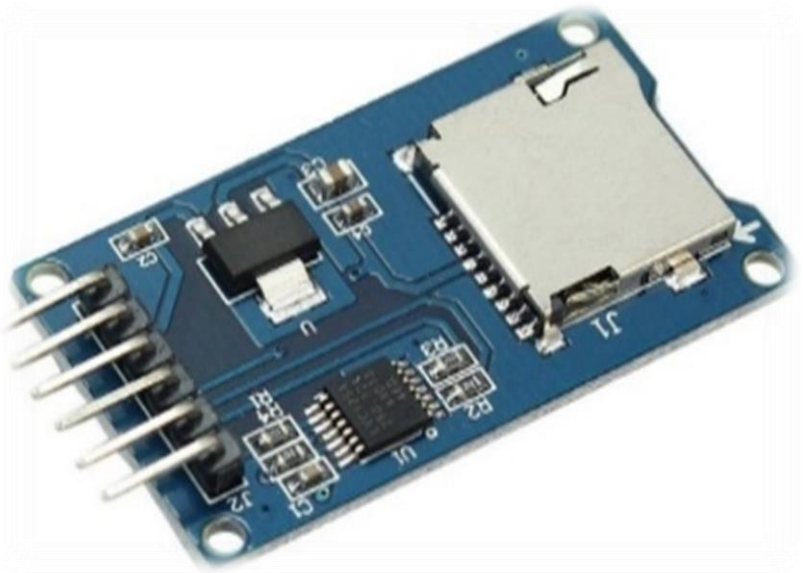


Figure 14: Carte mémoire

III. 2.5. Le protocole de communication :

- **Bluetooth :**

Le module Bluetooth est un composant essentiel pour les communications sans fil en champ proche, offrant une grande flexibilité dans les applications et les configurations, ainsi qu'une grande compatibilité avec divers appareils .

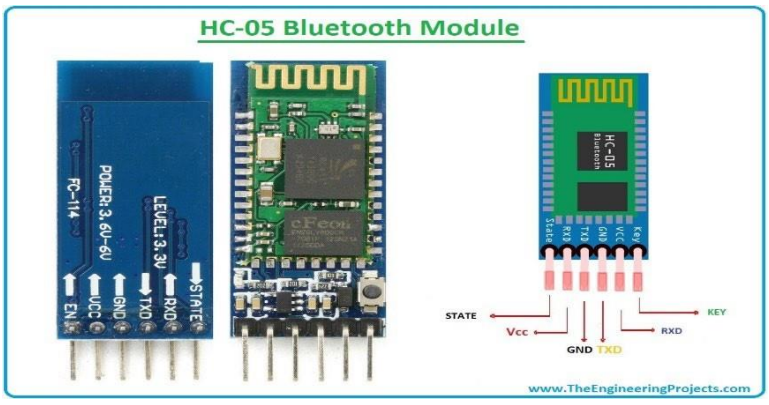


Figure 15: Vue du module blutooth

III.2.6. Les capteurs

Les capteurs sont des dispositifs qui transforment une grandeur physique (comme la pression, la température ou le mouvement) en une grandeur électrique exploitable.

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, un capteur de luminosité, et un capteur de gaz.

- **Capteur d'humidité du sol :**

Les capteurs d'humidité du sol sont des dispositifs conçus pour mesurer la teneur en eau volumétrique (VWC) du sol . Ils utilisent généralement des technologies comme les capteurs capacitifs ou résistifs pour détecter l'humidité du sol .[31]

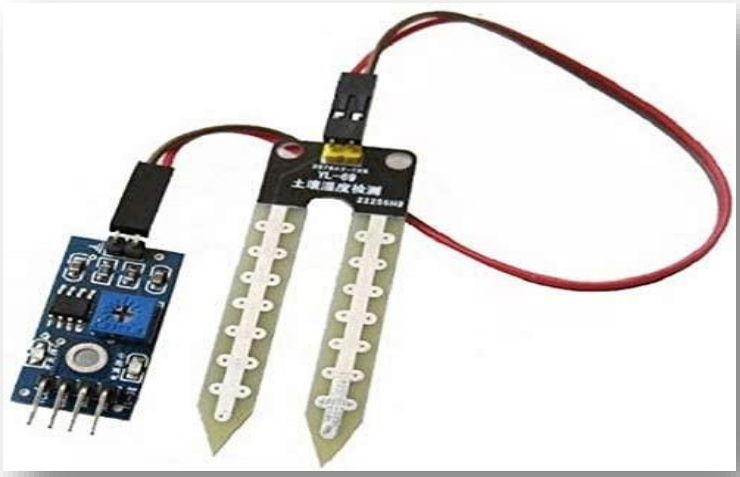


Figure 16: capteur d'humidité de sol

- **Capteur de température et d'humidité :**

Les capteurs de température et d'humidité sont des dispositifs conçus pour mesurer simultanément la température et le taux d'humidité dans un environnement donné. Ils utilisent généralement des technologies comme les capteurs capacitifs ou résistifs pour détecter ces deux grandeurs physiques, ci-dessous nous indiquons les principales caractéristiques du capteur utilisé. [30]

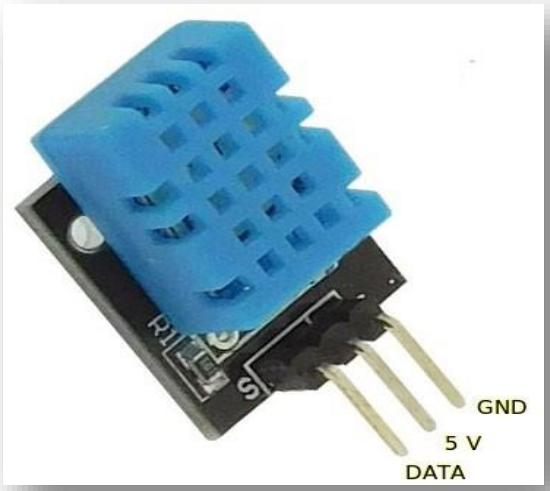


Figure 17: Capteur d'humidité et température

Caractéristiques du capteur :

- **Précision température** : ± 2°C
- **Précision humidité** : ± 5%
- **Plage de température** : 0-50 °C
- **Plage d'humidité** : 20-90% RH
- **Échantillonnage** : 1 fois par seconde (1 Hz)
- **Tension d'alimentation** : 3-5.5V
- **Courant** : environ 2.5mA pendant la conversion et la transmission des données

- **Capteur de luminosité :**

Les capteurs de lumière, connus sous le nom de capteurs de luminosité, sont des dispositifs électroniques sensibles à la lumière qui mesurent l'intensité de l'éclairage de leur environnement. Ils sont largement utilisés dans divers domaines tels que l'automobile, les appareils électroniques et même dans des projets de bricolage basés sur Arduino. Leur fonction principale consiste à détecter les variations de lumière et à réguler automatiquement l'éclairage en fonction de la quantité de lumière ambiante. Par exemple, dans les voitures, les capteurs de luminosité permettent l'allumage et l'extinction en fonction des conditions lumineuses extérieures, assurant ainsi une conduite plus sûre. L'utilisation de ces capteurs est essentielle pour économiser de l'énergie, améliorer le confort visuel et réguler la luminosité. [28]



Figure 18: capteur de luminosité

- **Le capteur de qualité de l'air MQ-135 :**

Le capteur de qualité de l'air MQ-135 est un dispositif sensible à plusieurs polluants atmosphériques courants. Il est capable de détecter des gaz tels que le CO2, l'alcool, le benzène, les oxydes d'azote (NOx) et l'ammoniac (NH3). Ce capteur est utilisé pour mesurer la qualité de l'air en détectant la présence et les concentrations de ces polluants dans l'environnement.[29]

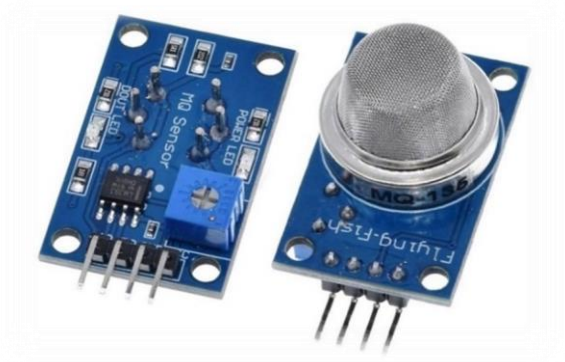


Figure 19: Capteur MQ-135

Caractéristiques du capteur :

- Large champ de détection
- Réponse rapide et haute sensibilité
- Stable et longue durée de vie
- La tension de fonctionnement est de + 5 V
- Détecter / mesurer NH3, NOx, alcool, benzène, fumée, CO2, etc.
- Tension de sortie analogique : 0V à 5V
- Tension de sortie numérique : 0V ou 5V (TTL)
- Durée de préchauffage 20 secondes
- Peut être utilisé comme capteur numérique ou analogique
- La sensibilité de la broche numérique peut être modifiée à l'aide du potentiomètre.
- Courant : environ 2.5mA pendant la conversion et la transmission des données

III.2.7. Les actionneurs

- **Servo :**

Est un type d'actionneur motorisé utilisé pour la radiocommande et la robotique à petite échelle. Les servos sont de petits actionneurs rotatifs, bien que des actionneurs linéaires soient également disponibles. Ils sont conçus pour se déplacer jusqu'à une position spécifique en fonction d'un signal de commande provenant d'une source de contrôle, comme un récepteur de radiocommande. Ils utilisent une combinaison d'un moteur CC, d'un circuit de contrôleur et d'un potentiomètre ou d'un mécanisme de rétroaction similaire pour obtenir un positionnement précis. [27]



Figure 20: Servomoteur

- **Ventilateur :**

Le ventilateur dans une serre est un élément essentiel pour assurer une bonne circulation de l'air et maintenir des conditions optimales pour la croissance des plantes. Dans la réalisation de notre projet nous avons utilisé un ventilateur d'unité.



Figure 21: Ventilateur 12V

- **LED :**

On a utilisé un tube de néon simple de 60 cm.

Les LED néon consomment moins d'énergie, sont plus durables c'est pour ça on a le choisit



Figure 22: néon LED

III.2.8. Autres composants

- **Afficheur LCD :**

Un afficheur LCD (Liquid Crystal Display) est un dispositif d'affichage plat qui utilise les propriétés de cristaux liquides pour moduler la lumière et afficher des informations. Ils sont très répandus dans de nombreux appareils électroniques comme les montres, les calculatrices, les téléphones portables, les ordinateurs, etc.[32]



No	Symbol	Function
1	VSS	Ground
2	VDD	5V +
3	V0	Contrast
4	RS	Register
5	RW	Read/Write
6	E	Enable
7	D0	Data bus
8	D1	Data bus
9	D2	Data bus
10	D3	Data bus
11	D4	Data bus
12	D5	Data bus
13	D6	Data bus
14	D7	Data bus
15	A	Anode (5V+)
16	K	Cathode (GND)

Figure 23: afficheur LCD

- **Le Module à relais**

Un module à relais est un circuit imprimé qui contient un ou plusieurs relais. Il permet d'isoler la partie commande (basse tension) de la partie puissance (haute tension). C'est un composant très utilisé pour faire le lien entre l'électronique et l'électricité. Ce module est souvent utilisé pour commander des appareils électriques tels que les lumières, les moteurs et les pompes, ainsi que pour protéger des circuits électroniques en cas de surcharge ou de court-circuit .[33]

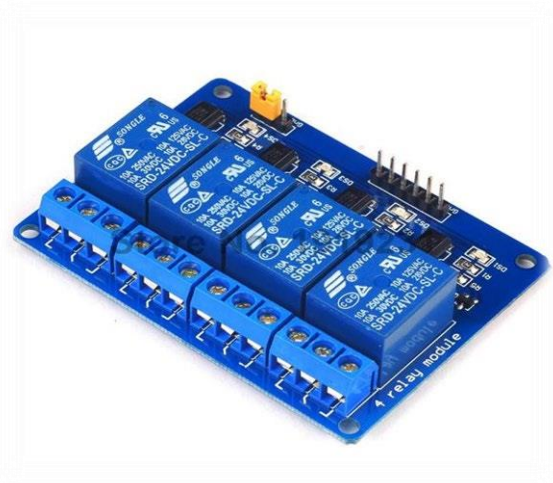


Figure 24: Vue du module relais électromécanique de 5VDC

- **Chauffage :**

Chaque variété de plante préfère une température différente. Le plus important est de s'assurer qu'il n'y a pas une grande différence de température dans votre espace de culture. Pendant la journée, la température doit être comprise entre 25 degrés Celsius et 30 degrés Celsius, et cela dépend de la source de chaleur. Pour notre projet, nous avons choisi d'utiliser un décapeur thermique. Pour cela, nous avons pris un tube en aluminium d'un diamètre de 122mm et d'une longueur de 1000mm. Nous avons ensuite créé de petits espaces tout au long du tube pour permettre une répartition homogène de la chaleur. en suit ,Nous avons fermé une ouverture du tube pendant que nous avons placé le décapeur dans la seconde ouverture comme le montre la figure suivante :



Figure 25: tube rond en aluminium



Figure 26: Décapeur thermique

- **Irrigation :**

Et pour l'irrigation nous avons utilisé deux Pulvérisateur à Piston de 2L



Figure 27: Vue du système d'irrigation utilisé

- **La fenêtre :**

On a utilisé le moteur du CD ROM pour créé un système d'ouverture et de fermeture pour notre fenêtre

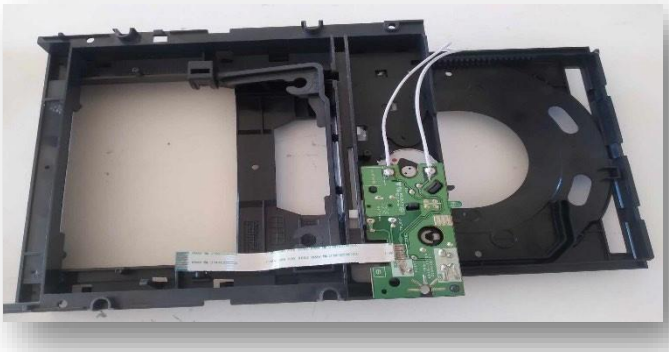


Figure 28: CD ROM

III.3. Conclusion

En somme, la conception d'une serre nécessite une planification minutieuse pour assurer que la structure réponde bien aux besoins des plantes que nous allons cultiver. De la détermination des dimensions, à la sélection des matériaux, en passant par la conception des ouvertures et de la couverture, chaque élément contribue à créer un environnement optimal pour la croissance de plante.

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

Chapitre IV :

Réalisation et discussion des résultats expérimentaux

IV.1. Introduction

La culture en serre, une méthode de production en environnement contrôlé encore largement répandue, peut être très énergivore. Pour mieux comprendre son fonctionnement, ce chapitre examine les principaux facteurs influençant la consommation énergétique de ces opérations. Nous présenterons également le site d'Es-Sénia et les différentes étapes d'installation du système de monitoring développé au laboratoire.

IV.2. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de la serre intelligente se base sur l'utilisation de différents capteurs tels que les capteurs de température, d'humidité, de luminosité, de CO2, ainsi que sur une carte Arduino programmable. Cette dernière permet de réguler les différents processus de la serre tels que la ventilation, l'éclairage, l'arrosage en fonction des besoins des plantes.

Les capteurs mesurent en temps réel différents paramètres du microclimat de la serre, tels que la température et l'humidité. Les données collectées sont transmises à la carte Arduino qui les analyse grâce aux instructions préprogrammées pour déterminer les ajustements à effectuer. Par exemple, si la température de la serre est trop élevée, la carte Arduino envoie une instruction pour activer un système de refroidissement, tel qu'un ventilateur.

Les données collectées par les capteurs sont stockées sur une carte mémoire. Cette fonctionnalité permet d'analyser ultérieurement les données pour évaluer les performances de la serre et apporter les ajustements nécessaires.

Les capteurs et les dispositifs de contrôle sont connectés à un module GSM qui envoie des alertes et des notifications via des messages texte ou des appels téléphoniques en cas de changement de conditions.

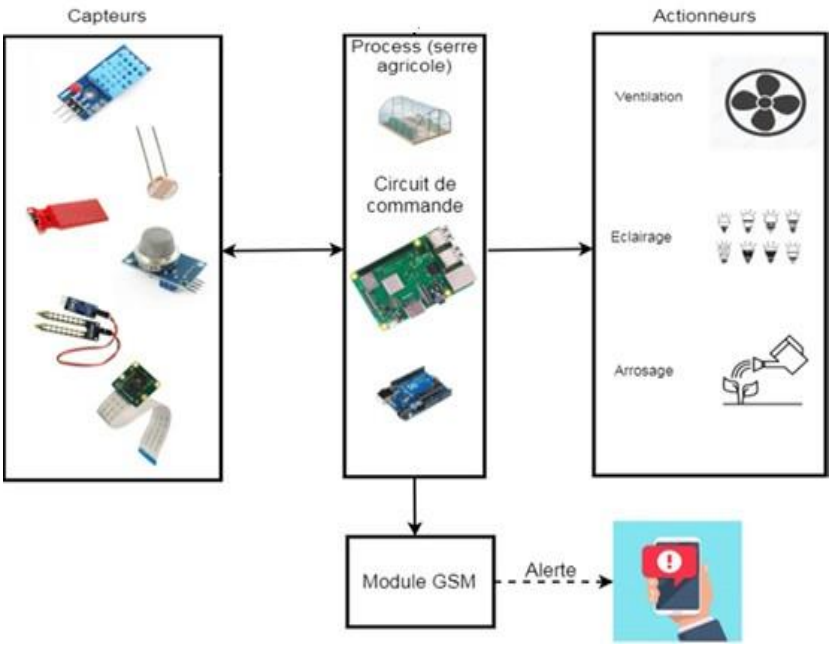


Figure 29: Vue du diagramme synoptique du système réalisé au laboratoire.

Le schéma ci-dessus est constitué de :

- Des capteurs (humidité, température, gaz, luminosité) pour la mesure des paramètres.
- Circuit de commande est un Arduino MEGA qui constitue l'unité de contrôle du système.
- Des actionneurs (arrosage, ventilateur, éclairage) agissant sur les paramètres climatiques de la serre.
- Un module GSM pour l'envoi de messages d'alerte.

IV.3. Etapes d'Installation du système de monitoring

IV.3.1. Système de ventilation et de chauffage

Le module DHT11 fournit une sortie numérique proportionnelle à la température et à l'humidité mesurées par le capteur. La technologie utilisée pour produire le capteur DHT11 garantit une grande fiabilité, une excellente stabilité à long terme et un temps de réponse très rapide.

Le capteur DHT11 est capable de mesurer des températures de 0 à +50°C avec une précision de +/- 2°C et des taux d'humidité relative de 20 à 80% avec une précision de +/- 5%. Une mesure peut être réalisée toutes les secondes. Ce module à trois broches. Il communique avec l'Arduino très simplement au travers d'une de ses entrées (entrée numérique). Les deux autres broches sont pour son alimentation 5 V et la masse (GND).

Pour garder la température ambiante dans la serre, la valeur mesurée par le capteur « DHT11 » est comparée au seuil maximal ,Si elle est supérieure , le ventilateur se déclenche et la fenêtre s'ouvre sinon, si la valeur est inférieure au seuil minimale la ventilateur va s'éteindre et la fenêtre se ferme. En revanche, si la valeur de la température à l'intérieur de la serre en dessous du seuil minimale le séchoir se déclenche pour chauffer la serre à une température désirable.

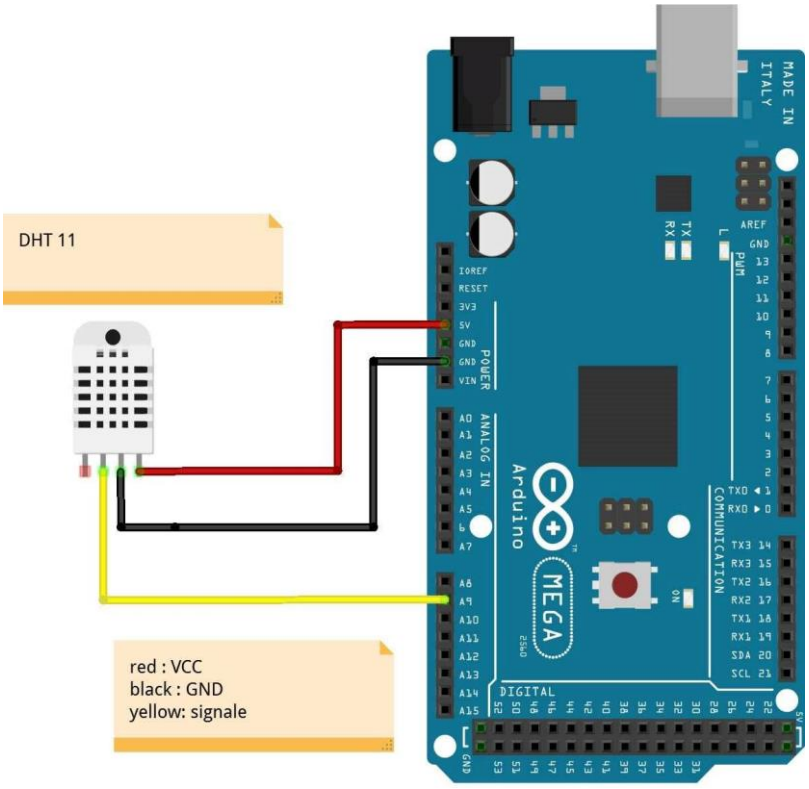


Figure 30: Schéma de câblage du DHT11

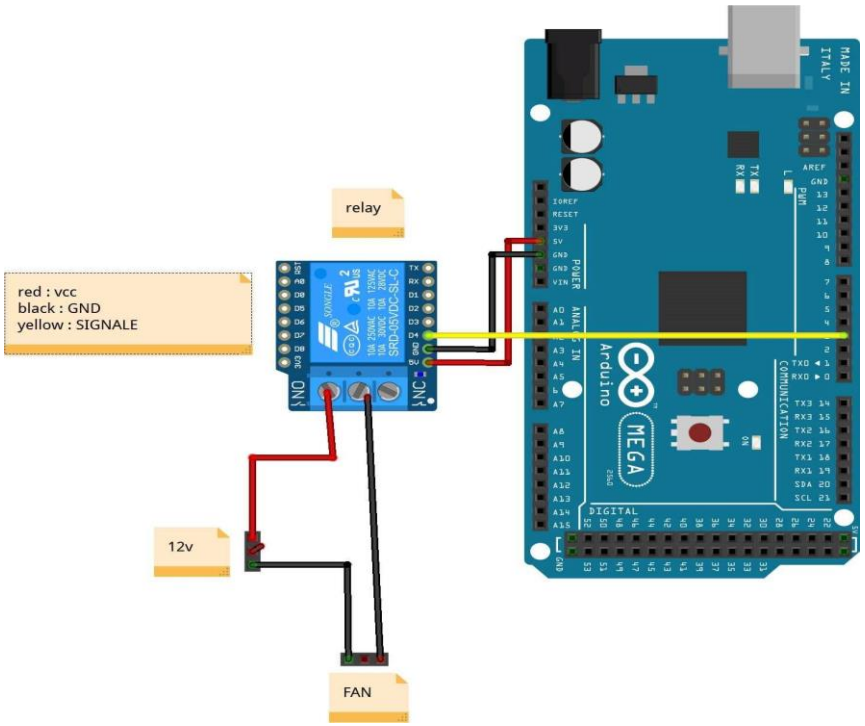


Figure 31: Schéma de câblage le ventilateur avec relais

IV.3.2. Système de l'irrigation

Le capteur d'humidité du sol est une simple carte de dérivation pour mesurer le sol. Les deux sondes concernées comme une variable de résistance. Lorsque le sol est sec, la tension de sortie est plus élevée. Cela fonctionne selon deux modes : Le mode numérique qui détecte simplement la présence d'eau et un signal numérique haut et un mode analogique qui est plus précis. Les applications de ce capteur regroupent les systèmes d'arrosage automatique et plus encore. Il communique avec Arduino très simple à travers ses broches.

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

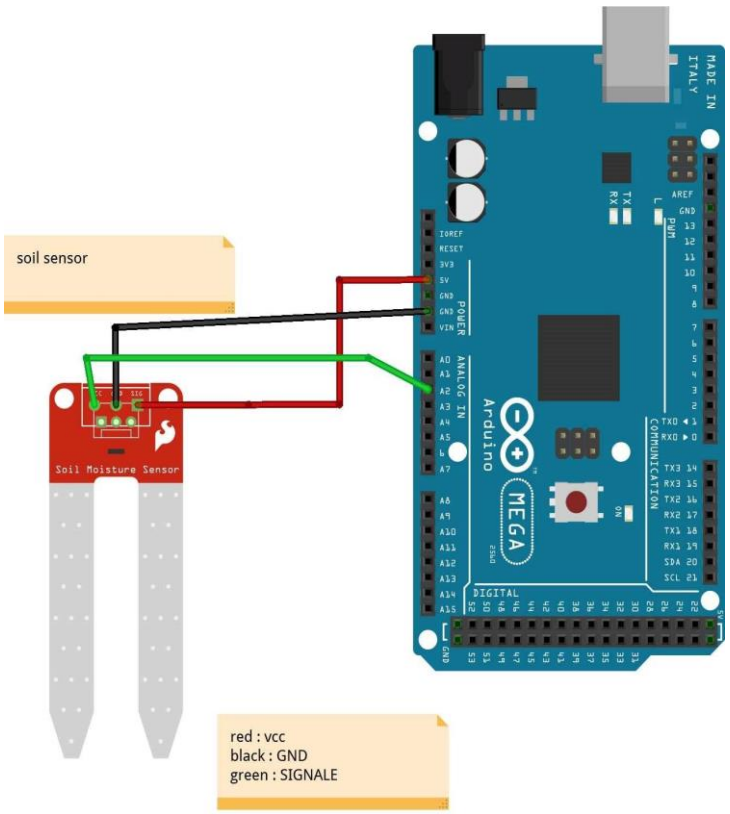


Figure 32: Schéma de câblage de capteur d'humidité du sol

IV.3.3. Système d'éclairage

Un capteur de lumière, tel qu'une photo-résistance (LDR), fonctionne en modifiant sa résistance en fonction de la luminosité ambiante : plus la lumière est intense, plus la résistance diminue. Pour utiliser une LDR avec une carte Arduino, on connectait -la entre l'alimentation 5V et une broche analogique (A3), et on ajoute une résistance fixe entre A3 et la masse (GND). Ce montage crée un diviseur de tension dont le point de jonction est lu par l'Arduino. Lorsque la lumière frappe la LDR, sa résistance change, modifiant ainsi la tension à A3. L'Arduino convertit cette tension en une valeur numérique (0-1023)

Le système de contrôle de l'éclairage dans une serre est essentiel pour maintenir des conditions de luminosité appropriées, afin de répondre aux besoins des plantes.

Le capteur de lumière mesure la luminosité à l'intérieur de la serre. Si luminosité est insuffisante, l'Arduino active le néon via les relais correspondants. Une fois que la luminosité atteint un niveau suffisant, le néon est éteint.

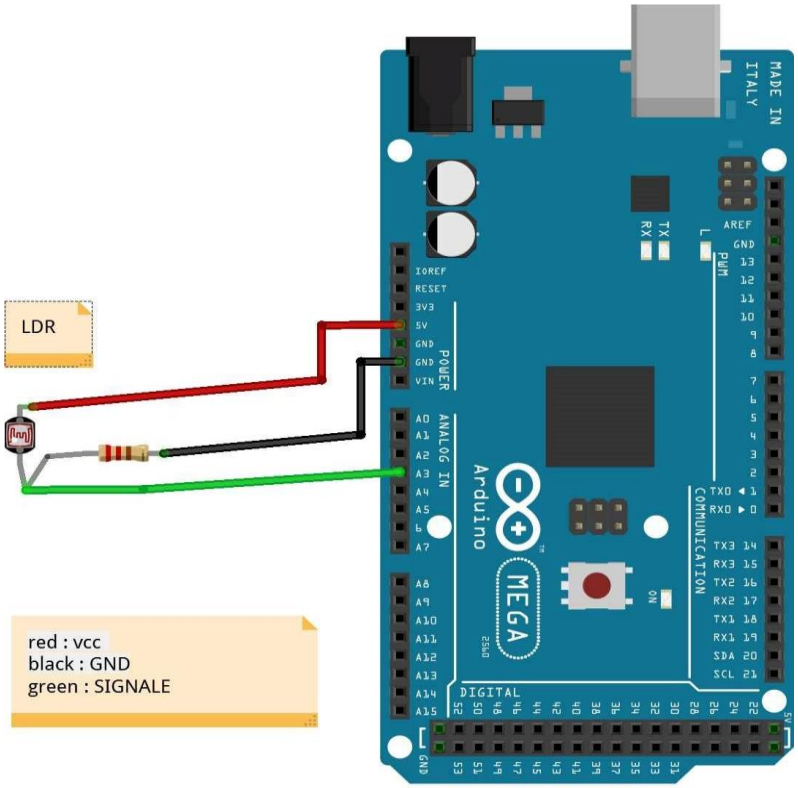


Figure 33: Schéma de câblage du LDR

IV.3.4. Système de contrôle de qualité de l'aire (gaz CO2)

Le capteur de gaz, détecte le CO2 et la fumée en modifiant sa résistance interne en fonction de la concentration de gaz. Pour utiliser ce capteur avec une carte Arduino, on connectait VCC à 5V, GND à la masse, et A8 à une entrée analogique.

La surveillance et la régulation de la concentration de CO2 dans la serre est cruciale pour garantir une croissance optimale des plantes. C'est pourquoi nous avons mis en place un système automatisé de contrôle de la ventilation à travers l'ouverture et la fermeture des fenêtres. Ce système utilise un capteur de gaz pour mesurer la consommation de CO2.

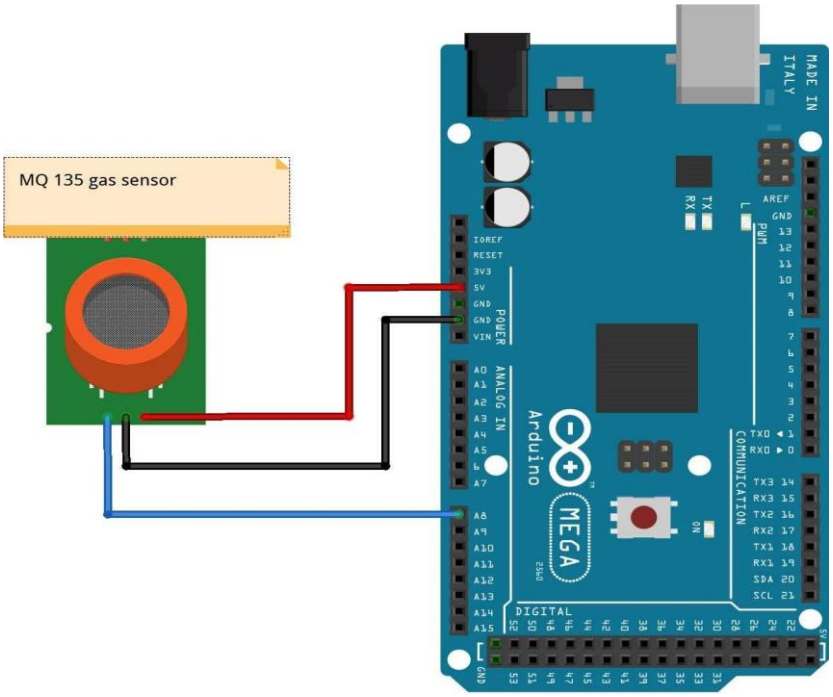


Figure 34: Schéma de câblage du MQ135

IV.4. Présentation du prototype de la serre réalisée au laboratoire

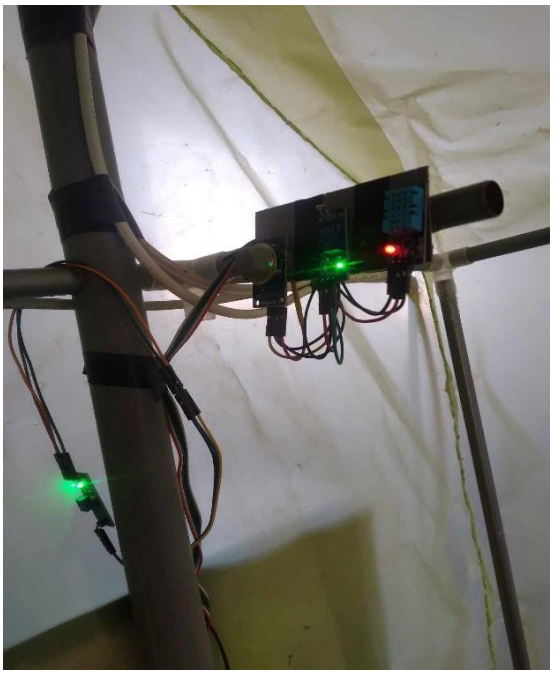


Figure 35: Vue de la chaine de mesure réalisée



Figure 36: Vue du système d'évacuation d'air utilisé



Figure 37: Vue des paramètres affichés et stocker dans des extensions comme Excel



Figure 38: Vue du système d'appoint en éclairage artificiel

IV.5. Analyse des résultats obtenus

IV.5.1. Présentation du site d'installation

Le centre de formation ex-IAP Sénia s'étend sur une superficie de 42 hectares. Il s'agit d'une ancienne école des stagiaires de métiers pétroliers, notamment le métier de la société Sonatrach. Le bon fonctionnement de ces formations est garanti par un programme très riche et rigoureux. Fondamentalement, ce programme vise à maîtriser le raffinage et la pétrochimie, la chimie industrielle, la construction d'usines pétrolières, la maintenance des équipements et la sécurité "prévention et intervention".

Cela fait du Centre ex-IAP, désormais appelé UPCA, une formidable plateforme de travaux pratiques à la taille d'usines industrielles, dont l'Unité d'Enseignement du Génie Chimique.

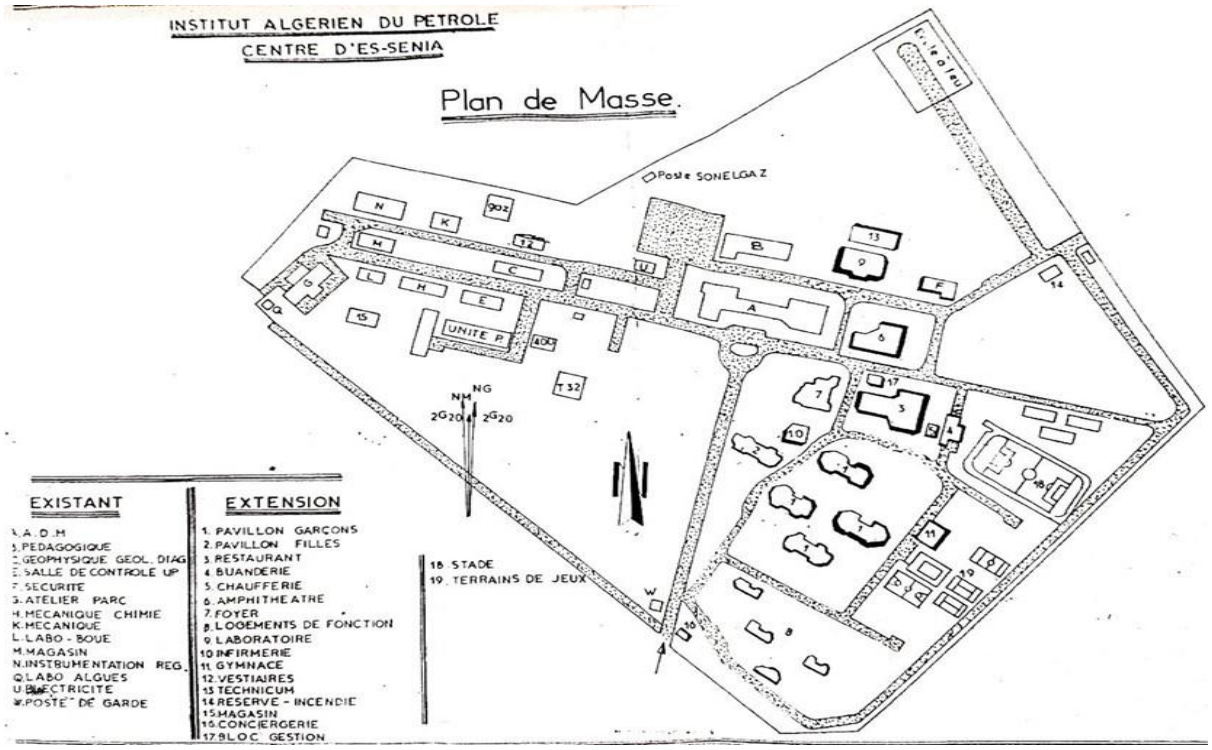


Figure 39: Le plan de masse de l'IAP (Archive EX IAP, 1971-1979)

IV.5.2. Analyse des paramètres climatiques du site d'installation

IV.5.2.1. Variation de la température annuelle

L'analyse de la température du site d'installation de la serre est essentielle, car elle influence grandement la croissance des plantes, en affectant la photosynthèse, la respiration, la morphologie, le taux de croissance et le rendement de production. La plupart des cultures en serre croissent de manière optimale entre 17°C et 27°C, mais peuvent tolérer des températures de 10°C à 35°C sur de courtes périodes.

La figure ci-dessus montre que la température journalière annuelle dans la région d'Oran varie entre 3°C et 36°C. Par conséquent, notre serre devra consommer une quantité importante d'énergie pour le chauffage, car il y a une différence de 14°C pour atteindre la température minimale optimale d'une serre intelligente sur le plan énergétique.

Il est important de noter que chaque plante a une gamme de températures idéale qui lui est propre. Certaines cultures, comme la tomate, le poivron, le concombre et l'aubergine, préfèrent des températures élevées, tandis que d'autres, comme la laitue, sont adaptées à des températures plus fraîches. Pour notre étude expérimentale, nous choisirons plusieurs de ces plantes sans tenir compte des conditions climatiques d'Oran. Nous concentrerons toute notre attention dans ce mémoire sur la programmation et l'intégration de technologies avancées et automatisées pour la serre. Les autres aspects seront discutés dans les perspectives de ce travail.

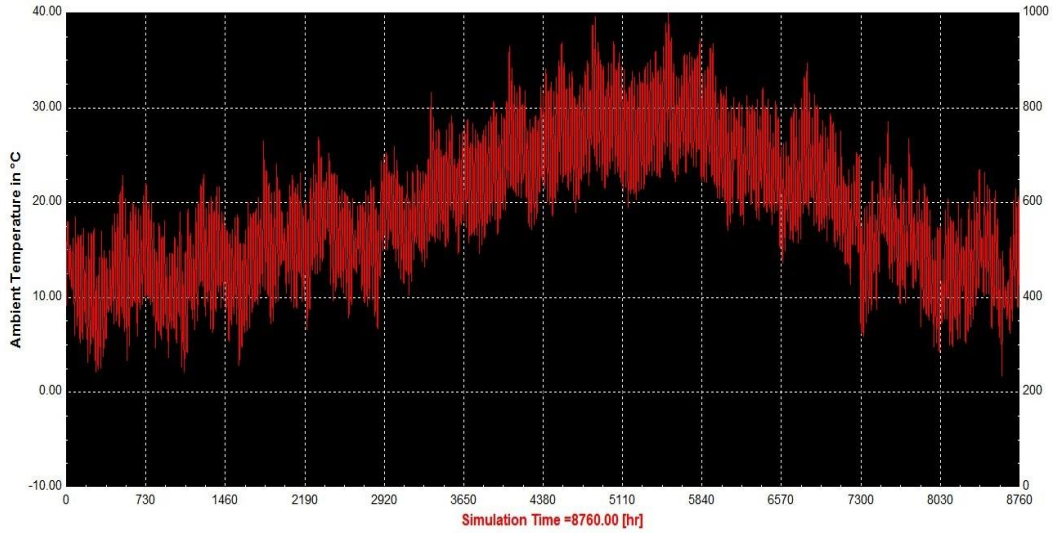


Figure 40: . Évolution de la température sur le site géographique d'Oran durant l'année 2023-2024.

IV.5.2.2. Analyse du facteur humidité à Oran

L'humidité relative mesure le degré de saturation de l'air en vapeur d'eau. Cette capacité varie avec la température. Les légumes cultivés en serre prospèrent généralement dans une plage d'humidité relative comprise entre 60 % et 90 %. Cet aspect peut grandement influencer la croissance des plantes, avec une plage optimale dépendant de la variété cultivée, de son stade de croissance et des conditions ambiantes. Un taux d'humidité trop bas peut entraîner un stress et un dessèchement rapide des plantes par transpiration excessive. À l'inverse, un taux trop élevé peut causer des problèmes tels que la condensation sur les parois de la serre et les feuilles des plantes, ainsi que favoriser le développement de maladies fongiques et bactériologiques. La figure ci-dessous montre que le taux d'humidité à Oran correspond légèrement aux conditions optimales mentionnées dans la littérature, variant entre 50% et 90%.

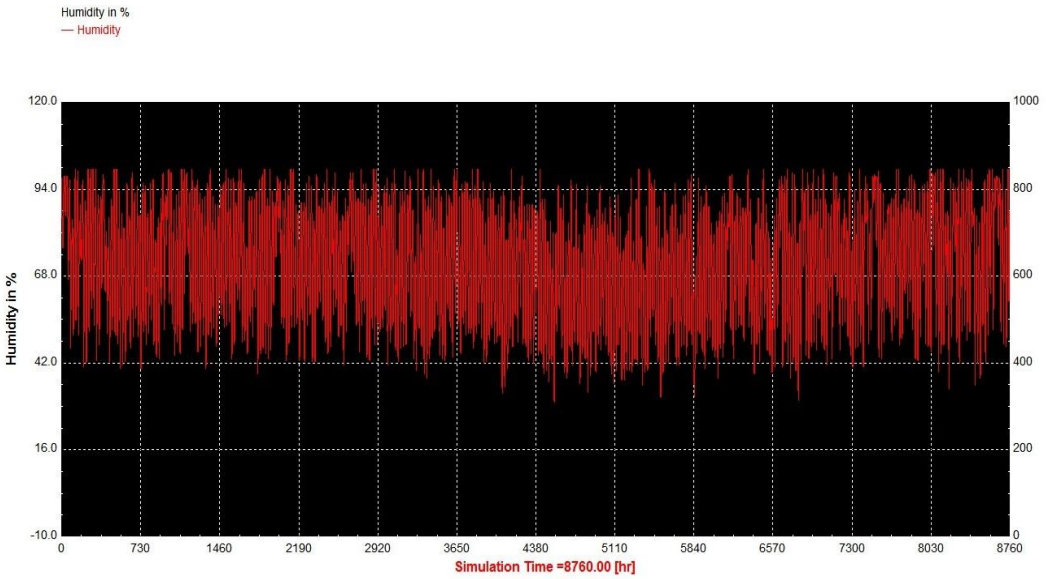


Figure 41: Vue de la variation de l'humidité sur le site géographique d'Oran durant l'année 2023-2024

IV.5.2.3. Analyse de la vitesse du vent à Oran

La vitesse du vent a un double impact sur les serres. Elle peut être bénéfique en facilitant la pollinisation des plantes et en les protégeant contre les insectes. Cependant, il peut aussi être avantageux de protéger la serre du vent pour réduire les pertes thermiques en hiver. Les serres au sol peuvent tirer parti de barrières naturelles, comme les arbres, pour briser le vent, tout en veillant à ne pas obstruer le rayonnement solaire.

Récemment, dans la wilaya de Biskra, au sud-est de l'Algérie, plusieurs investisseurs ont perdu leurs serres, dont la majorité avaient une superficie de 500 m², en raison des vents forts dans cette région. Par conséquent, nous avons mesuré la vitesse du vent dans la région d'Es-Sénia pour identifier les périodes caractérisées par des vents forts et pour dimensionner correctement notre serre. La figure ci-dessous montre que la vitesse du vent varie entre 0 m/s et 14 m/s. Cela nous a conduits à prendre des mesures adéquates pour éviter la destruction de notre serre. Actuellement, notre prototype est mobile, mais nous prévoyons de planter des arbres avant de commencer la construction de notre serre réelle et d'ajouter des barrières métalliques aux supports de la serre, particulièrement sur la face nord-ouest.

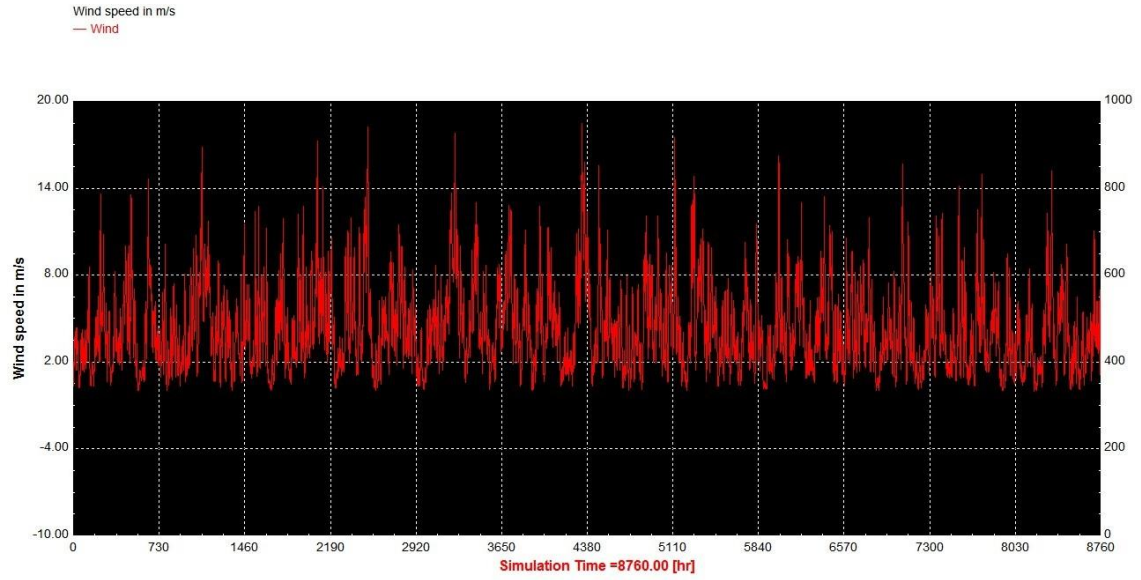


Figure 42: Vue de l'évolution de vitesse du vent sur le site géographique d'Oran durant l'année 2023-2024

IV.5.2.4. Potentiel du rayonnement solaire sur le site d'Oran El-Senia

L'énergie lumineuse est indispensable à la croissance des plantes par le processus de photosynthèse, jouant ainsi un rôle crucial dans la production végétale et influençant significativement les rendements. Deux facteurs clés liés à la lumière régissent la croissance des plantes : sa quantité et sa qualité, notamment sa distribution spectrale. Dans une serre, ces deux paramètres dépendent de divers éléments externes tels que la durée d'ensoleillement, l'angle du soleil et la couverture nuageuse, ainsi que des facteurs internes comme la densité de

plantation, la réflectivité des surfaces avoisinantes, l'architecture et les matériaux utilisés (voir chapitre III).

La quantité de lumière reçue sur une journée par unité de surface est mesurée par le Daily Light Intégral (DLI), exprimé en mol/m² ou W/cm². Chaque culture a une valeur minimale optimale de DLI. Au Québec, la lumière naturelle journalière ne suffit généralement pas à atteindre ces valeurs pendant une grande partie de l'année. En effet, il existe un écart significatif entre la quantité de lumière reçue en hiver et celle reçue en été. Par conséquent, les serres commerciales opérant toute l'année doivent souvent recourir à un éclairage artificiel pour compléter une partie des besoins lors des périodes de faible luminosité. Il convient de noter que la quantité de lumière reçue par rayonnement solaire chaque jour dépend du climat local, de la géographie et de la saison.

Dans notre nous avons relevé le rayonnement annuelle journalière du site géographique d'Es-Sénia, qui se caractérisé par une variation très particulière, dans la période d'hiver il peut atteindre 100W/m² et durant les périodes de l'été il peut avoir un maximum de 1000W/m². Cela veut dire que la région d'Oran est très favorable pour plusieurs types de plantes et une très grandes variétés de légumes et de fruits peuvent être cultivées dans notre région (Fig. 3).

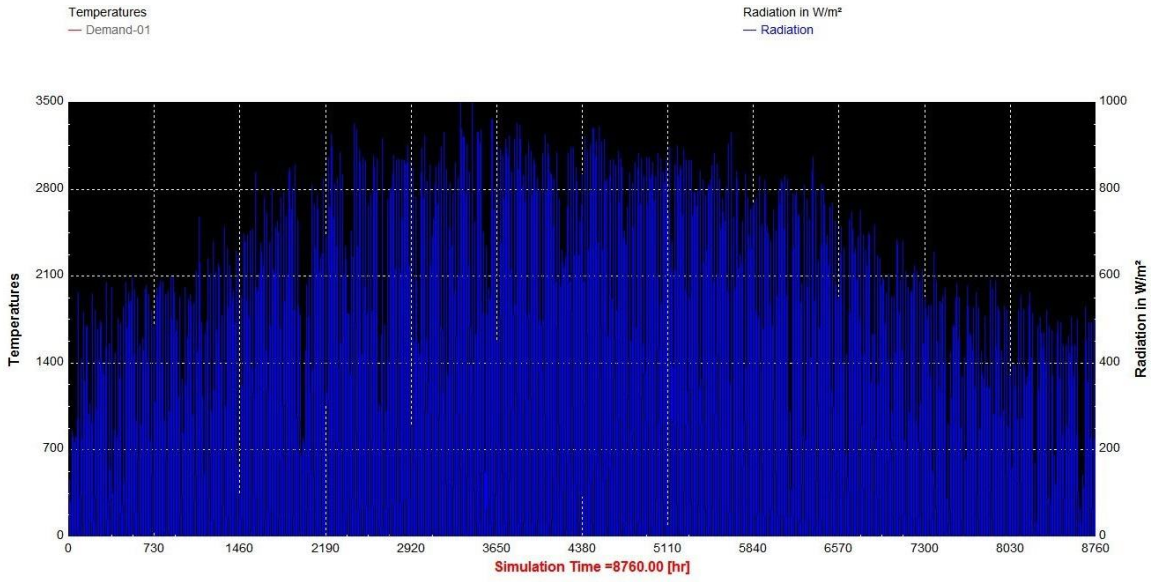


Figure 43: Vue de l'évolution de rayonnement solaire en W/m² sur le site géographique d'Oran durant l'année 2023-2024

IV.6. Validation des résultats expérimentaux

Les résultats de ce travail nous ont permis de visualiser en temps réel l'état de fonctionnement de la serre. Sur la courbe IV.13a, nous constatons que la concentration de CO2 est limitée à 287,27 ppm (parties par million). Cette valeur est légèrement inférieure à la plage normalisée nécessaire pour une serre idéale, qui doit se situer entre 340 ppm et 1000 ppm. Maintenir des niveaux de CO2 adéquats est essentiel pour la photosynthèse et la croissance des plantes, ce qui souligne l'importance de ce paramètre.

La figure IV.13b illustre que la température varie en fonction du climat extérieur ainsi que des conditions contrôlées par notre programme de gestion. Ce programme utilise des algorithmes sophistiqués pour réguler les conditions internes de la serre. Nous observons que la température atteint rapidement 92°F (33,3°C). Pour assurer un bon fonctionnement de la serre et optimiser la croissance des plantes, la température doit être maintenue entre 64°F et 75°F (18°C et 24°C). Une température trop élevée peut stresser les plantes, tandis qu'une température trop basse peut ralentir leur croissance.

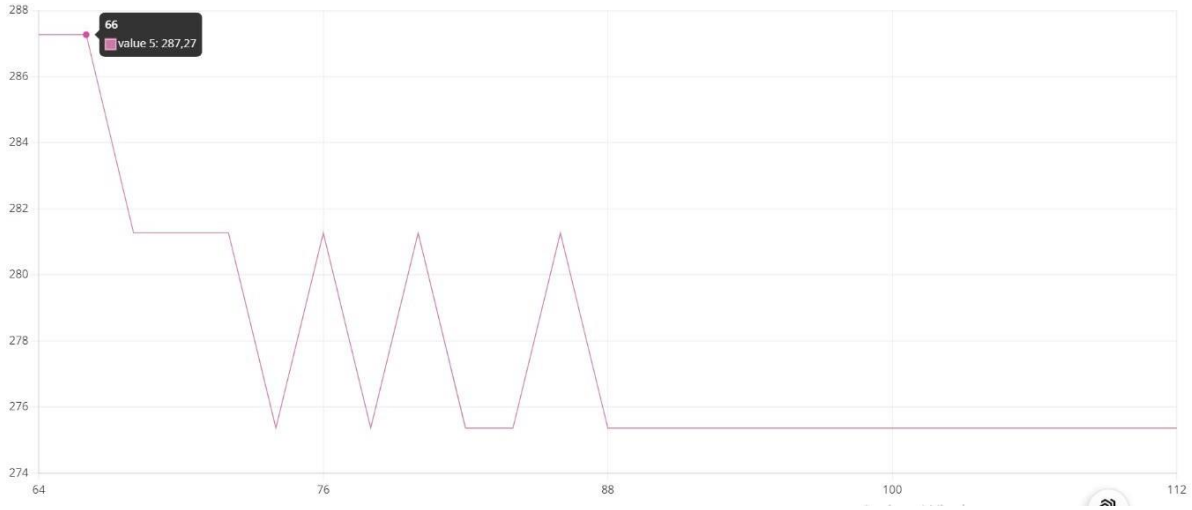


Figure 44: Evolution de la quantité du CO2 du sol

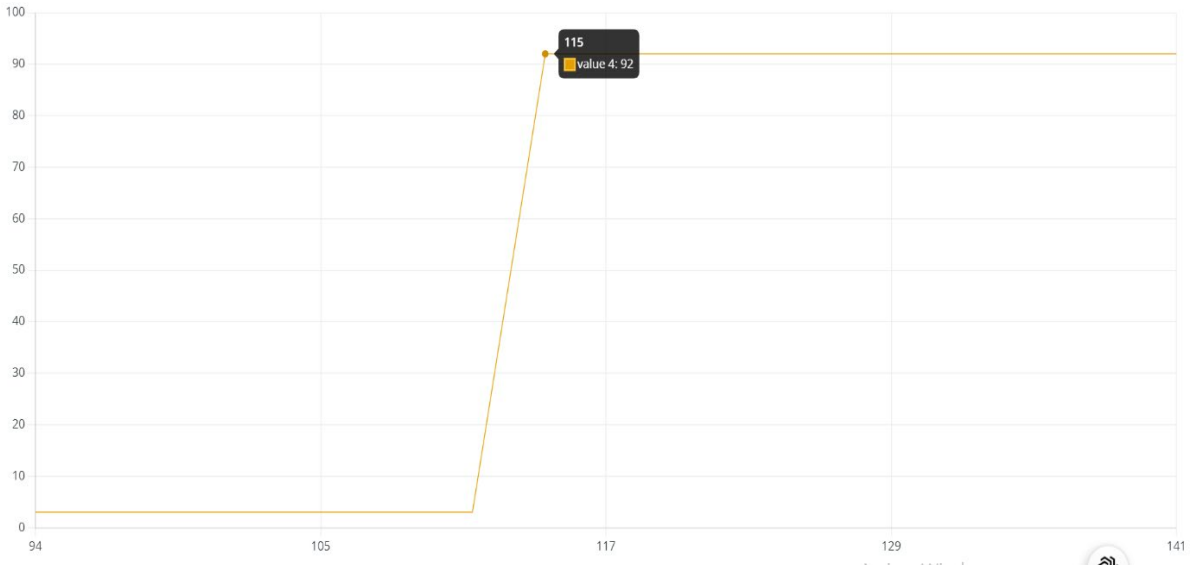


Figure 45: Evolution de la température à l'intérieur de la serre

Lorsque nous avons commencé notre test, le programme a déclenché une requête pour arroser les plantes. À cet effet, nous avons observé que l'humidité au niveau de la serre se maintenait dans les normes. Elle variait entre 66 % et 73 %, ce qui est très bénéfique pour la majorité des plantes de la région d'Oran.

En conclusion, ce travail met en évidence l'importance de surveiller et de réguler précisément les niveaux de CO2 et la température dans une serre pour créer des conditions optimales pour la croissance des plantes. Les outils et les algorithmes développés permettent d'améliorer significativement la gestion de ces paramètres, contribuant ainsi à une agriculture plus efficiente et productive.



Figure 46: Evolution l'humidité l'intérieur de la serre

IV.7. Interfaces de l'application

IV.7. 1. Application « Bluetooth serial monitor »

L'application de moniteur série Bluetooth est un logiciel conçus pour faciliter la connexion sans fil avec une variété de périphériques Bluetooth, notamment les microcontrôleurs, les capteurs et autres appareils électroniques. Elles permettent aux utilisateurs de surveiller, d'envoyer et de recevoir des données série via une interface utilisateur conviviale, simplifiant ainsi le processus de débogage, de contrôle et de développement de projets électroniques.

En utilisant cette application, nous pouvons se connecter aux capteurs et aux dispositifs de contrôle installés dans la serre, tels que des capteurs de température et d'humidité, des actionneurs pour l'arrosage automatique, des systèmes d'éclairage et de ventilation. Ils peuvent alors visualiser les données recueillies par ces capteurs, recevoir des alertes en cas de conditions anormales, et ajuster les paramètres de contrôle à distance pour maintenir un environnement optimal pour la croissance des plantes.



Figure 47: Interface d'accueil

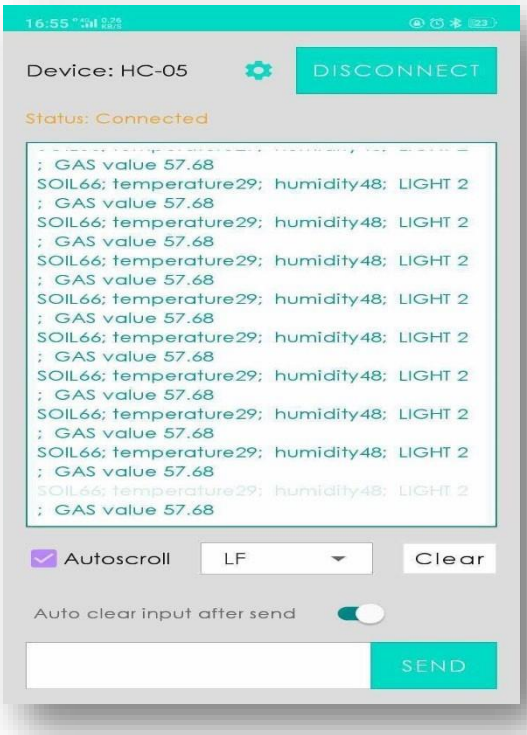


Figure 48: l'interface de chargement des informations gérées par les capteurs

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné notre prototype et effectué des tests. Il en ressort que les conditions climatiques dans la serre sont influencées par les conditions extérieures, rendant la régulation cruciale. Le problème rencontré est que le changement d'un paramètre entraîne des modifications dans d'autres paramètres, rendant leur ajustement simultané difficile. Néanmoins, nous avons identifié les principaux paramètres qui peuvent faciliter le dimensionnement correct de la serre, afin d'éviter les impacts négatifs et de maximiser le profit de l'investisseur.

Conclusion Générale

Afin d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles issus de la culture sous serres, un contrôle climatique optimal est indispensable. Pour atteindre cet objectif, nous avons développé un système de contrôle pour une serre agricole capable de superviser et de percevoir les conditions environnementales du sol ainsi que les situations climatiques à l'intérieur de la serre. Grâce à ses capacités d'actionnement, ce système peut fournir automatiquement des services adéquats, tels que la gestion de l'irrigation, de l'éclairage, et du ventilation .

Les différentes phases du projet, de la conception à la mise en œuvre et aux tests, ont permis de valider le fonctionnement du système. Les capteurs déployés ont fourni des données précises et en temps réel, permettant une gestion fine des conditions de la serre. L'automatisation des systèmes d'irrigation et de ventilation a permis de maintenir des conditions optimales, réduisant ainsi le besoin d'intervention humaine et augmentant l'efficacité opérationnelle.

Ainsi que ,les résultats qui nous avons obtenus ont montré une amélioration notable des performances de la serre, avec une croissance des plantes plus uniforme et des rendements accrus. Grace à le système d'irrigation automatisé qui a permis une utilisation plus efficace de l'eau, tandis que le contrôle automatisé de l'éclairage et de la ventilation a réduit la consommation énergétique.

A la fin , Nous avons apprécié de travailler sur ce sujet, car ce projet est une idée extraordinaire qui nous aide dans nos vies quotidiennes. Ce système ainsi développé constituera une pas pouvant contribuer à améliorer l'économie du pays grâce à une série de compensations agricoles qui évitent la dépendance, la sécurité alimentaire, etc. et Malgré les efforts que nous avons déployés pour réaliser ce travail, nous proposons l'amélioration de notre projet par :

- Utilisation de la carte Raspberry pour remplacer l'ordinateur de contrôle et le module wifi pour relier l'interface de capture avec cette carte.
- Le suivi d'autres paramètres comme la pression et le PH.
- L'utilisation des énergies renouvelables comme l'énergie solaire
- Ajout d'une caméra de bonne qualité afin de fournir plus de données à l'équipe de data scientiste pour la prise de décision.

Bibliographie

Bibliographie :

[1]« Qu'est-ce que l'IOT ? » https://www.requea.com/article-18.html

[2]-Mansaf Alam, Kashish Ara Shakil et Samiya Khan, «Internet of Things (IoT) », Springer Nature, p.6, 2020.

[3]-« Quelles sont les caractéristiques de l'IoT ? »https://www.m2m.fr/iot/caracteristiques-de-liot/

[4]- SALAH, B. (2022). Système intelligent à base de l'internet des objets pour la lutte contre covid-19 (Doctoral dissertation, univ bba).

[5]- Jayna Locke, directrice principale du marketing, Digi International08 juillet 2022 https://fr.digi.com/blog/post/the-benefits-of-iot-real-world-examples

[6]-« Qu'est-ce que l'IoT et pourquoi mener une stratégie d'IoT ? » https://www.digora.com/fr/blog/quest-ce-que-liot-et-pourquoi-mener-une-strategie-diot

[7]-https://rfid-solution.ma

[8]- https://forum.rakwireless.com/t/pairing-bonding-rak4631/4733/4

[9]- https://wikimemoires.net

[10]- https://praedictia.com/

[11]- https://fr.wikipedia.org/

[12]- « Regard sur le Smart Farming ou l'avenir de l'agriculture »

https://safetyculture.com/fr/themes/smart-farming/

[13]-« L'agriculture deprécision et l'avenirde l'agricultureen Europe »

https://www.europarl.europa.eu/

[14]-« Qu'est-ce que l'agriculture intelligente face au climat ? » https://www.rainforest-alliance.org/

[15]-https://www.mutualia.fr/agriculteur

[16]- https://fr.greenhousevendor.com

[17]- https://www.apexenergies.fr/

[18]-(Admin_L, 11 avril 2021)

https://maferme.ma/serre-intelligente-maroc/#SERRE_INTELLIGENTE

[19]-Comment installer et fixer une serre de jardin ? https://www.monamenagementjardin.fr/dossier/comment-installer-serre.html

[20]-https://blog.jardincouvert.com/utiliser-et-entretenir-une-serre-tunnel/comment-installer-une-serre-de-jardin-2/

[21]-https://www.farmgeeker.com/fr

[22]- https://serres-tonneau.com/blog

[23]- https://www.netafim.ma/

[24]- http://fr.kingpengrussia.com/

[25]- (Mega 2560 Rev3)https://docs.arduino

[26]-Drivers de moteur https://fr.rs-online.com/

[27]- (Servo (radio control), March 2023) https://en.wikipedia.org/

[28]- (Capteur de luminosité automobile : rôle et fonctionnement, 10/11/2023) https://www.mister-auto.com/

[29]- (Mesurer la qualité de l'air avec un capteur MQ135 sur Arduino, jeudi 1 novembre 2018) https://fr.vittascience.com/

[30]- (Capteurs de température et d'humidité) https://fr.rs-online.com/

[31]- (Capteur d'humidité du sol) https://fr.wikipedia.org/wiki/

[32]- Les écrans LCD https://zestedesavoir.com/

[33]- (Module Relais) https://www.robotique.tech/

Table des matières

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abbreviations

Introduction Générale 10

Chapitre I :

Etat de l'art de la technologie IoT

I.1. Introduction 4

I.2. Définition de l'internet des objets 4

I.3. Caractéristiques d'un système d'Internet des objets 5

I.3.1. Connectivité 5

I.3.2. L'identité des objets et des appareils 5

I.3.3. Données 5

I.3.4. Intelligence 5

I.3.5. Communication 6

I.3.6. Évolutivité 6

I.3.7. Écosystème commun 6

I.3.8. Sécurité 6

I.4. Les avantages et inconvénients de l'IoT 7

I.4.1. Les avantages d'IOT 7

I.4.1.1. Accès facile 7

I.4.1.2. La technologie sans fil transforme les villes en villes intelligentes 7

I.4.1.3. Facilite la communication 7

I.4.1.4. Amélioration des processus 7

I.4.1.5. Réduction des coûts 7

I.4.2. Inconvénients de IOT 8

I.4.2.1. La gestion des capteurs 8

I.4.2.2. La consommation électrique 8

I.4.2.3. La gestion des données 8

I.5. Les composants l'IoT 8

I.5.1. Les objets pour capter des données de valeur 8

I.5.2. Les réseaux pour transmettre les données 9
I.5.3. Les LPWAN : Sigfox et LoRaWAN 9
I.5.4. Le M2M 9
I.5.5. La RFID 9
I.5.6. Le Bluetooth 10
I.5.7. Les données 11
I.5.8. Les informations 11
I.5.9. Les applications d'exploitation pour la surveillance et la prise de décision 11
I.6. Domaines d'applications de L'IoT 11
I.6.1. Les transports 11
I.6.2. La santé 12
I.6.3. La domotique 12
I.6.4. Agriculture 13
I.6.5. L'industrie 4.0 13
I.6.6. La ville intelligente 13
I.7. Conclusion 14

Chapitre II :

Etude théorique sur l'intégration des technologies avancées dans le domaine Agricole

II.1. Introduction 16
II.2. Agriculture intelligente 16
II.2.1. Définition 16
II.2.2. Domaines de l'agriculture intelligente 16
II.3. Serre intelligente 19
II.3.1. Définition 19
II.3.2. Les bénéfices de serre intelligente 19
II.3.3. Condition environnementales des serres 20
II.3.4. Comment les serres intelligentes régulent-elles les conditions environnementales ? 21
II.3.5. Comment installer une serre ? 21
II.3.5.1. Choix de l'Emplacement 21
II.3.5.2. Préparation du Sol 21
II.3.5.3. Fixation de la Serre 21
II.3.5.4. Assemblage de la Structure 21
II.3.5.5. Installation de la Bâche ou du Verre 21

II.3.5.6. Finalisation et Entretien 22
II.3.6. Les composants et les outils d'une serre intelligente 22
II.4. Conclusion 24

Chapitre III :
Conception d'une serre intelligente

III.1. Introduction 26
III.2. Les outils utilisés 26
III.2.1. Microcontrôleur Arduino MEGA 26
III.2.2. Synthèse des caractéristiques de la carte Arduino AT MEGA 2560 27
III.2.3. Moteur drivers L298N 28
III.2.4. Carte mémoire 29
III. 2.5. Le protocole de communication 29
III.2.6. Les capteurs 30
III.2.7. Les actionneurs 33
III.2.8. Autres composants 34
III.3. Conclusion 37

Chapitre IV :
Réalisation et discussion des résultats expérimentaux

IV.1. Introduction 39
IV.2. Principe de fonctionnement 39
IV.3. Etapes d'Installation du système de monitoring 40
IV.3.1. Système de ventilation et de chauffage 40
IV.3.2. Système de l'irrigation 42
IV.3.3. Système d'éclairage 42
IV.3.4. Système de contrôle de qualité de l'aire (gaz CO2) 43
IV.4. Présentation du prototype de la serre réalisée au laboratoire 44
IV.5. Analyse des résultats obtenus 46
IV.5.1. Présentation du site d'installation 46
IV.5.2. Analyse des paramètres climatiques du site d'installation 47
IV.5.2.1. Variation de la température annuelle 47
IV.5.2.2. Analyse du facteur humidité à Oran 48
IV.5.2.3. Analyse de la vitesse du vent à Oran 49
IV.5.2.4. Potentiel du rayonnement solaire sur le site d'Oran El-Senia 49
IV.6. Validation des résultats expérimentaux 50

IV.7. Interfaces de l’application 52
IV.7. 1. Application « Bluetooth serial monitor » 52
IV.6. Conclusion 54
Conclusion Générale 55
Bibliographie 57
Table des matières